การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย

Feasibility Study of Nuclear Power Plant Project in Thailand

โดย

นายกานต์	ประสงค์เกียรติ	36014025
นายชวาล	คงทรัพย์	36014102
นายชิษณุ	อัมพรายน์	36014119
นายโยธิน	มัชฌิมาดิลก	36014339
นายวัชรพงศ์	ดีวงษ์	36014394
นายวรเดช	พัทยาวรรณ	36014587

วัน เดือน ปี -2 ตค 2541
เลขทะเบียน 038453
เลขเรียกหนังสือ T วน 4ส ก 2539

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Feasibility Study of Nuclear Power Plant Project in Thailand

BY

Mr.KARN	PRASONGKIAT	36014025
Mr.CHAWARN	KHONGSUB	36014102
Mr.CHISANU	AMPRAYN	36014119
Mr.YOTIN	MUTCHIMADILOK	36014339
Mr.WATCHARAPONG	DEEVONG	36014394
Mr.WORADATE	PATTAYAWAN	36014587

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF REQUIREMENT FOR THE DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

==========

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาความเป็นไปได้ของการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในประเทศไทย

Feasibility Study of Nuclear Power Plant Project in Thailand

นักศึกษา

นายกานต์	ประสงค์เกียรติ	รหัสประจำตัว	36014025
นายชวาล	คงทรัพย์	รหัสประจำตัว	36014102
นายชิษณุ	อัมพรายน์	รหัสประจำตัว	36014119
นายโยธิน	มัชฌิมาคิลก	รหัสประจำตัว	36014339
นายวัชรพงศ์	ดีวงษ์	รหัสประจำตัว	36014394
นายวรเดช	พัทยาวรรณ	รหัสประจำตัว	36014587

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิญาณ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
อาจารย์ วิบูลย์	วุฒิญาณ	
ผศ.ดร. แดง	เหรียญสุวรรณ	
ดร. ศรีกริช	หิรัญมาศ	
อาจารย์ สมชาย	สำลีรางค์กูล	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(นาย อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในประเทศไทย

Feasibility of Nuclear Power Plant Project in Thailand

โดย

นายกานต์ ประสงค์เกียรติ

นายชวาล คงทรัพย์

นายชิษณุ อัมพรายน์

นายโยธิน มัชฌิมาดิลก

นายวัชรพงศ์ ดีวงษ์

นายวรเดช พัทยาวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ วิบูลย์ วุฒิญาณ

บทคัดย่อ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการพัฒนาประเทศ เนื่องจากการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจในประเทศ ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามในปริมาณสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดำเนินโครงการเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆในปริมาณที่มาก เพื่อที่จะนำมาผลิตไฟฟ้า สำหรับในประเทศไทย กฟผ.ได้ดำเนินการขยายการผลิต เพื่อให้มีศักยภาพ ในระบบไฟฟ้าภายในประเทศ โดยแหล่งพลังงานที่จะนำมาผลิตกระแสไฟฟ้านั้น พลังงานนิวเคลียร์จะเป็นพลังงานที่ มีบทบาทและความสำคัญมากในอนาคต สำหรับการผลิตไฟฟ้า แต่สำหรับในประเทศไทย ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพลังงานนิวเคลียร์ ยังจำกัดอยู่เฉพาะในกลุ่มบุคคลและยังไม่เป็นที่แพร่หลายกับบุคคลทั่วไป ดังนั้นโครงงานพิเศษฉบับนี้ จึงนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับ การศึกษาความเป็นไปได้ ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในประเทศไทย ซึ่งจะทำการศึกษาในด้านต่างๆคือ ด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาด ด้านวิศวกรรมและความปลอดภัย ด้านการบริหาร ด้านการเงิน และด้านผลกระทบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Electric power is necessary for the country's development. Remarkable economic growth in Thailand has sparked a sharp increase in power consumption. The power load is projected to grown at high rate of increase for the coming decade. To meet the over-increasing power demand and to diversify fuel sources for power generation, EGAT has been proceeding with implementation and expansion of power generation projent with potential energy option has been take into consideration. As a viable alternative of other sources, nuclear power will play an imporatant role in the country's energy mix. But in Thailand the information related to nuclear power is not widespred. So this special project is concerned with "The Feasibility of Nuclear Power Plant in Thailand" and have described about economics,marketing,safty and engineering,organization and management,financial and other effects

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน ทางคณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณแก่ผู้ที่ให้ความช่วยเหลือดังนี้

อาจารย์วิบูลย์ วุฒิญาณ ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์มากมาย รวมถึงการให้กำลังใจในขณะทำงาน

Prof Dr.Felix E.S. Haser ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านเทคนิคที่ทันสมัย

คุณศุภผล รัตนากร และพี่ๆที่กองพลังงานปรมาณู การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ให้ข้อมูลทางด้านต่างๆเป็นจำนวนมาก และเป็นจุดเริ่มต้นทำให้เกิดโครงงานพิเศษฉบับนี้ขึ้นมา

คุณวิโรจน์ ธีระแนว หัวหน้าฝ่ายประชาสัมพันธ์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ให้ความอนุเคราะข้อมูลมากมาย

คุณภาณุ อุทโยภาส สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ให้แนวทางในการทำงาน

ผ.ศ.นเรศร์ จันทร์ขาว และ อาจารย์สุพิชชา จันทรโยธา ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและอุปกรณ์ต่างๆ

พิ่วราภรณ์ ลามศรีจันทร์ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชิงพานิชย์

เจ้าหน้าที่ห้องสมุดสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ ให้ยืมหนังสือได้นานและให้ความอนุเคราะห์ด้านค่าปรับ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือจนรายงานฉบับนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ด้วยความเคารพอย่างสูง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ไทย+อังกฤษ)	I
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XV
บทที่ 1 บทนำ	
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
3. ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	2
4. ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
5. วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ	3
6. ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้นก่อนการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ	
1. ประวัติของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และสถานการณ์ในปัจจุบัน	5
2. โครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย	11
3. ความเป็นมาของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย	16
4. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า	19
5. กรรมวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้า	26
บทที่ 3 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาด	
1 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์	33
1.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน	33
1.2 กำลังผลิตติดตั้ง	37
1.3 การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งาน	40
1.4 การใช้เชื้อเพลิง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.5 แผนพัฒนากำลังผลิต	45
1.6 พลังงานทดแทน	56
1.7 ระบบส่งไฟฟ้า	65
2 การศึกษาด้านการตลาด	68
2.1 ระบบการจำหน่ายไฟฟ้าในปัจจุบัน	68
2.2 อัตราค่าไฟฟ้า	70
2.3 ความสามารถในการผลิตพลังไฟฟ้า	70
บทที่ 4 การศึกษาด้านวิศวกรรมและความปลอดภัย	
1. ฟิสิกส์นิวเคลียร์	74
2. เชื้อเพลิงนิวเคลียร์	87
3 ชนิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และหลักการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	100
4. การสำรวจหาสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	152
5. รังสี	169
6. การกำจัดกากรังสีระดับต่าง ๆ	173
7. ระบบความปลอดภัยในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	197
บทที่ 5 การศึกษาด้านการจัดการและการบริหาร	
1. ทฤษฎีการบริหารและการจัดองค์การ	216
1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหารและการจัดองค์การ	216
1.2 แนวคิดเกี่ยวกับองค์การ	219
1.3 โครงสร้างขององค์การ	221
1.4 งานการบริหารและกระบวนการบริหาร	225
1.5 การจัดองค์การ	228
2. การจัดการกำลังคน	251
2.1 การจัดการกำลังคนในช่วงก่อนดำเนินโครงการ	253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 การจัดการกำลังคนในช่วงความคืบหน้าโครงการ	254
2.3 การจัดการกำลังคนในช่วงจัดหาวัสดุ-อุปกรณ์	255
2.4 การจัดการกำลังคนในช่วงดำเนินการก่อสร้าง	257
2.5 การจัดการกำลังคนในช่วงจัดแบ่งหน้าที่การทำงาน	258
2.6 การจัดการกำลังคนในช่วงดำเนินการและบำรุงรักษาโรงงาน	259
2.7 การจัดการกำลังคนในช่วงงานระบบเชื้อเพลิง	260
2.8 การจัดกำลังคนในช่วงควบคุมโรงงาน	261
2.9 การจัดการกำลังคนในช่วงการพัฒนาและฝึกอบรมบุคลากร	262
3. แผนพัฒนาบุคลากรด้านนิวเคลียร์	273
บทที่ 6 การศึกษาผลกระทบของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	
1. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	278
1.1 ทฤษฎีการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม	278
1.2 โครงร่างด้านสิ่งแวดล้อมและนโยบายของรัฐบาล	283
1.3 การวางแผนด้านสิ่งแวดล้อม	288
1.4 การประเมินด้านสิ่งแวดล้อม	289
1.5 ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม	291
2. กฎหมายและข้อบังคับ	305
2.1 กฎหมายและข้อบังคับที่มีผลกระทบต่อโครงการ	305
2.2 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกฎหมายและข้อบังคับ	306
2.3 หน่วยงานที่ควบคุมและปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย	308
3. อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และผลกระทบ	310
3.1 ทรีไมล์ ไอซ์แลนด์	310
3.2 เชอร์โนบิล	316
4. ความคิดเห็นของประชาชน	327
4.1 ทฤษฎีการออกแบบสอบถาม	327

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 แบบสอบถามที่เป็นชุดคำถามที่กลั่นกรองแล้ว	328
4.3 การวิเคราะห์แบบสอบถาม	346
บทที่ 7 การศึกษาด้านการเงิน	
1. บทนำ	352
1.1 การจัดประสิทธิภาพทางการเงิน	352
1.2 ต้นทุน	354
1.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	359
1.4 วิธีการเบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์	363
1.5 การวิเคราะห์โครงการภาครัฐบาล	373
1.6 ค่าเสื่อมราคา	381
2. การประเมินค่าโครงการด้านการเงินและเศรษฐกิจ	387
2.1 ค่าใช้จ่ายของโครงการ	387
2.2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายและรายได้ของโครงการเชิงตัวเลข	391
ค่าลงทุนหลัก	392
ดอกเบี้ยระหว่างการก่อสร้าง	412
การชดใช้เงินกู้	415
ค่าใช้จ่ายด้านบริหาร	416
ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	422
ราคาสำหรับค่าบริการในการเก็บรักษากากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	427
รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2549-2578	428
2.3 CASH FLOW	429
บทที่8 สรุปผลการศึกษาโครงการ	432
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	กราฟแสดงการผลิตกระแสไฟฟ้า ในวันสูงสุดของกฟผ.	25
รูปที่ 2.2	แสดงส่วนประกอบต่างๆของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ	27
รูปที่ 2.3	โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เขื่อนภูมิพล จ.ตาก	27
รูปที่ 2.4	กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากพลังไอน้ำ	28
รูปที่ 2.5	โรงไฟฟ้าพลังความร้อนพระนครใต้ จ.สมุทรปราการ	28
รูปที่ 2.6	แสดงกระบวนการผลิตไฟฟ้าแบบกังหันแก๊ส	29
รูปที่ 2.7	โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส หาดใหญ่ จ.สงขลา	29
รูปที่ 2.8	ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมน้ำพอง	30
รูปที่ 2.9	โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	31
รูปที่ 3.1	กราฟแสดงพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบกฟผ.	40
รูปที่ 3.2	กราฟแสดงกำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนา ฉบับที่ 7	53
รูปที่ 3.3	กราฟแสดงกำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนา ฉบับที่ 8	54
รูปที่ 3.4	กราฟแสดงกำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนา ฉบับที่ 9	55
รูปที่ 3.5	โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์คลองช่องกล่ำ จ.สระแก้ว	57
รูปที่ 3.6	แผนภาพ ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับพลังงานน้ำ	57
รูปที่ 3.7	รูปกังหันลมที่สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ จ.ภูเก็ต	59
รูปที่ 3.8	แผนภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม ร่วมกับ เซลล์แสงอาทิตย์	60
รูปที่ 3.9	การเจาะสำรวจระดับตื้นที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่	61
รูปที่ 3.10	น้ำพุร้อนจากการเจาะสำรวจระดับตื้นที่ฝาง	61
รูปที่ 3.11	ห้องอบแห้งและห้องเย็น สำหรับรักษาพืชผล ทางการเกษตร	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.12	โรงไฟฟ้าระบบ 2 วงจร	62
รูปที่ 3.13	แสดงการทำงาน ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ	62
รูปที่ 3.14	แสดงการทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่	63
รูปที่ 3.15	สถานีโรงไฟฟ้าพลังงานแบตเตอร์รี่ฝาง จ.เชียงใหม่	64
รูปที่ 3.16	แบตเตอร์รี่ทดลองที่ใช้ในสถานีโรงไฟฟ้าแรงสูง	64
รูปที่ 3.17	ระบบส่งไฟฟ้าในประเทศไทย	65
รูปที่ 3.18	แผนที่แสดงระบบส่งไฟฟ้าของกฟผ.	66
รูปที่ 3.19	กราฟราคาการจำหน่ายไฟฟ้าปีงบประมาณ 2534.2538	68
รูปที่ 4.1	แสดงโครงสร้างอะตอม	75
รูปที่ 4.2	แสดงกราฟ Exponential	79
รูปที่ 4.3	แสดง Emission of gamma ray in radio active change	80
รูปที่ 4.4	แสดงระดับพลังงานของนิวเคลียส	81
รูปที่ 4.5	แสดงปฏิกิริยา Fission	82
รูปที่ 4.6	แสดงเค้กเหลืองและสินแร่ยูเรเนียม	88
รูปที่ 4.7	แสดงวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	89
รูปที่ 4.8	แสดงการทำเหมืองปิด	90
รูปที่ 4.9	แสดงการทำยูเรเนียม235 ให้เข้มข้น	91
รูปที่ 4.10	แสดงแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	92
รูปที่ 4.11	แสดงลักษณะมัดเชื้อเพลิง	92
รูปที่ 4.12	แสดงลักษณะมัดเชื้อเพลิงอีกแบบหนึ่ง	93
รูปที่ 4.13	แสดงปฏิกิริยาการแตกตัว หรือ Fission	94
รูปที่ 4.14	แสดงการจัดวางมัดเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์	95
รูปที่ 4.15	แสดงการขนส่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว	97
รูปที่ 4.16	แสดงการขนส่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วไปโรงงานสกัดเชื้อเพลิง	98
รูปที่ 4.17	แสดงปริมาณยูเรเนียมที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 1000 เมกกะวัตต์	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.18	แสดงปฏิกิริยาลูกโซ่	101
รูปที่ 4.19	แสดงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ PWR	105
รูปที่ 4.20ก	แสดงทิศทางการไหลเข้าออกของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิภายในถังปฏิกรณ์	107
รูปที่ 4.20ข	แสดงทิศทางการไหลเข้าออกของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิระหว่างถังปฏิกรณกับเครื่องผลิตไอน้ำทั้ง 4 ตัว	107
รูปที่ 4.21	แสดงแท่งเชื้อเพลิง	108
รูปที่ 4.22	แสดงการจัดเรียงมัดแท่งเชื้อเพลิงภายในเตาปฏิกรณ์	109
รูปที่ 4.23	แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม	110
รูปที่ 4.24	แสดงตัวถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ภายใน	111
รูปที่ 4.25	แสดงเครื่องผลิตไอน้ำแบบ U-tube	112
รูปที่ 4.26ก	แสดงเครื่องควบคุมความดันด้วยไอน้ำ	113
รูปที่ 4.26ข	แผนผังแสดงการควบคุมความดันของเครื่องควบคุมความดัน	113
รูปที่ 4.27	แสดงระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน	118
รูปที่ 4.28	แสดงวงแหวนรอบอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ และระบบ Annulus air clean up	119
รูปที่ 4.29	แสดงระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์	120
รูปที่ 4.30	แสดงอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์	120
รูปที่ 4.31	แสดงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏกรณ์นิวเคลียร์แบบ BWR	122
รูปที่ 4.32	แสดงเครื่องปฏกรณ์นิวเคลียร์แบบBWR ระบบผลิตไอน้ำโดยตรง	122
รูปที่ 4.33	แสดงเครื่องปฏกรณ์นิวเคลียร์แบบBWR ระบบผลิตไอน้ำทางอ้อม	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.34	แสดงเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบBWR ระบบวงจรคู่	123
รูปที่ 4.35	แสดงเม็ดเชื้อเพลิง มัดเชื้อเพลิงและแท่งเชื้อเพลิง	125
รูปที่ 4.36	แสดงการจัดเรียงมัดเชื้อเพลิงในเตาปฏิกรณ์	126
รูปที่ 4.37	แสดงแท่งควมคุม	127
รูปที่ 4.38	แสดงระบบเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม	128
รูปที่ 4.39	แสดงถังปฏิกรณ์และอุมกรณ์ภายใน	129
รูปที่ 4.40	แสดง Jet pump และการไหลเวียนน้ำออกจาก Jet pump	130
รูปที่ 4.41	แสดงการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ด้วยการควบคุมความดันของไอน้ำ	132
รูปที่ 4.42	แสดงระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน	134
รูปที่ 4.43	อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ชั้นในแบบต่างๆ	135
รูปที่ 4.44	แสดงระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมปฏิกรณ์	136
รูปที่ 4.45	แสดงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบ Candu	140
รูปที่ 4.46	แสดงการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ Candu	139
รูปที่ 4.47	แสดงเชื้อเพลิงและมัดเชื้อเพลิง	142
รูปที่ 4.48	แสดงถังกาแลนเดรีย	143
รูปที่ 4.49	แสดงเครื่องเปลี่ยนเชื้อเพลิง	144
รูปที่ 4.50	แสดงทิศทางการไหลเข้า-ออกของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ	145
รูปที่ 4.51	แสดง Shut down NO.1	148
รูปที่ 4.52	แสดงระบบฉีดสารละลายกาโดลิเนียมไนเตรตของ Shut down system NO.2	148
รูปที่ 4.53	แสดงระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน (SDS-1 และ SDS-2)	149
รูปที่ 4.54	แสดงอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 4.55.1	แสดง Site ที่ได้รับการคัดเลือก 3 Site	158
รูปที่ 4.55.2	แสดงบริเวณ Site ที่ 1	159
รูปที่ 4.55.3	แสดงบริเวณ Site ที่ 2	160
รูปที่ 4.55.4	แสดงบริเวณ Site ที่ 3	161
รูปที่ 4.56	แสดง Lay out ของ Site ที่ ได้รับการคัดเลือก	168
รูปที่ 4.57	แสดงระบบกำจัดกากที่เป็นของเหลว	201
รูปที่ 4.58	แสดงระบบกำจัดกากที่เป็นก๊าซ	203
รูปที่ 4.59	แสดงระบบกำจัดกากที่เป็นของแข็ง	204
รูปที่ 4.60	แสดงถังบรรจุเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว	208
รูปที่ 5.1	สรุปพัฒนาการการบริหารจากอดีตถึงปัจจุบัน	218
รูปที่ 5.2	แสดงแนวคิด 3 มิติ	222
รูปที่ 5.3	แสดงความสำคัญของผู้บริหารในการใช้ทักษะการจัดการ	223
รูปที่ 5.4	แสดงน้ำหนักความสำคัญของงานผู้บริหาร	224
รูปที่ 5.5	แสดงโครงสร้างองค์การตามหน้าที่การงาน	234
รูปที่ 5.6	แสดงโครงสร้างองค์การตามสายงานหลัก	235
รูปที่ 5.7	แสดงโครงสร้างองค์การแบบคณะที่ปรึกษา	236
รูปที่ 5.8	แสดงโครงสร้างองค์การแบบคณะกรรมการบริหาร	236
รูปที่ 5.9	แสดงโครงสร้างองค์การแบบอนุกร	237
รูปที่ 5.10	แสดงโครงสร้างที่มีการแบ่งออกเป็นหน่วยต่างหาก ตามผลิตภัณฑ์	238
รูปที่ 5.11	แสดงโครงสร้างองค์การที่มีการแบ่งออกเป็นหน่วย ต่างหากตามพื้นที่	239
รูปที่ 5.12	แสดงโครงสร้างองค์การแบบผสม	239
รูปที่ 5.13	แสดงการเคลื่อนไหวของบุคคลากรในองค์การ	245
รูปที่ 5.14	แสดงความต้องการกำลังคนโดยรวมของโครงการ	251
รูปที่ 5.15	แสดงตัวอย่างของการพัฒนาทางด้านการจัดกำลังคน	252

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.16	แสดงกราฟสำหรับงานช่วง Pre-project	253
รูปที่ 5.17	แสดงกราฟสำหรับงานช่วง Project implementation	254
รูปที่ 5.18	แสดงกราฟสำหรับงานช่วงจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์	255
รูปที่ 5.19	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วงก่อสร้างโรงงาน	257
รูปที่ 5.20	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วง Commissioning	258
รูปที่ 5.21	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วงดำเนินการและบำรุงรักษา	259
รูปที่ 5.22	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วง Licensing and regulation	261
รูปที่ 5.23	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศเยอรมัน	263
รูปที่ 5.24	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศสเปน	264
รูปที่ 5.25	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศอินเดีย	265
รูปที่ 5.26	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศเกาหลีใต้	266
รูปที่ 5.27	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนบริหารโครงการหลัก	268
รูปที่ 5.28	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนก่อสร้างโรงงาน	269
รูปที่ 5.29	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนจัดสรรหน้าที่	270
รูปที่ 5.30	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนดำเนินการดูแลรักษา	271
รูปที่ 5.31	แสดงตัวอย่างองค์กรควบคุมโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย	272
รูปที่ 6.1	แสดงแนวคิดในรูปแบบจำลองของการพัฒนายั่งยืน	279
รูปที่ 6.2	องค์ประกอบหนักของสิ่งแวดล้อมศึกษา	280
รูปที่ 6.3	ระเบียบขั้นตอนทั่วไปว่าด้วยการรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA REPOART) สำหรับโครงการที่อยู่ภายใต้ความดูแลของหน่วยงานราชการหรือรัฐวิสาหกิจและโครงสร้างร่วมลงทุนซึ่งต้องขออนุมัติจากคณะรัฐมนตรี	284

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.16	แสดงกราฟสำหรับงานช่วง Pre-project	253
รูปที่ 5.17	แสดงกราฟสำหรับงานช่วง Project implementation	254
รูปที่ 5.18	แสดงกราฟสำหรับงานช่วงจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์	255
รูปที่ 5.19	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วงก่อสร้างโรงงาน	257
รูปที่ 5.20	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วง Commissioning	258
รูปที่ 5.21	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วงดำเนินการและบำรุงรักษา	259
รูปที่ 5.22	แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วง Licensing and regulation	261
รูปที่ 5.23	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศเยอรมัน	263
รูปที่ 5.24	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศสเปน	264
รูปที่ 5.25	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศอินเดีย	265
รูปที่ 5.26	แสดงตัวอย่างการจัดองค์กรในประเทศเกาหลีใต้	266
รูปที่ 5.27	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนบริหารโครงการหลัก	268
รูปที่ 5.28	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนก่อสร้างโรงงาน	269
รูปที่ 5.29	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนจัดสรรหน้าที่	270
รูปที่ 5.30	แสดงการจัดองค์การสำหรับส่วนดำเนินการดูแลรักษา	271
รูปที่ 5.31	แสดงตัวอย่างองค์กรควบคุมโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย	272
รูปที่ 6.1	แสดงแนวคิดในรูปแบบจำลองของการพัฒนายั่งยืน	279
รูปที่ 6.2	องค์ประกอบหนักของสิ่งแวดล้อมศึกษา	280
รูปที่ 6.3	ระเบียบขั้นตอนทั่วไปว่าด้วยการรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA REPOART) สำหรับโครงการที่อยู่ภายใต้ความดูแลของหน่วยงานราชการหรือรัฐวิสาหกิจและโครงสร้างร่วมลงทุนซึ่งต้องขออนุมัติจากคณะรัฐมนตรี	284

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 6.4	ระเบียบและขั้นตอนอย่างละเอียดว่าด้วยการรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA REPORT) โดยเจ้าของโครงการ	285
รูปที่ 7.1	รูปแบบทั่วๆไปของแผนภูมิจุดคุ้มทุน	360
รูปที่ 7.2	Pre-irradiation payment schedule สำหรับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์	389
รูปที่ 7.3	ตารางเวลาสำหรับการดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์	390

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	จำนวนโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในโลก	9
ตาราง 3.1	สถิติความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในปีงบประมาณ 2538	33
ตาราง 3.2	สถิติความต้องการไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนา ฉบับที่ 1,2,3 และ 4	34
ตาราง 3.3	สถิติความต้องการไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนา ฉบับที่ 5,6,7 และ 8	35
ตาราง 3.4	สถิติความต้องการไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนา ฉบับที่ 8,9 และ 10	36
ตาราง 3.5	กำลังผลิตติดตั้ง เมื่อสิ้นสุดปีงบประมาณ 2538	37
ตาราง 3.6	กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าแต่ละแห่ง	38
ตาราง 3.7	การผลิตไฟฟ้าสูงสุดแยกตามชนิดของโรงไฟฟ้าในปีงบประมาณ 2538	41
ตาราง 3.8	การผลิตพลังงานไฟฟ้าแยกตามชนิดของเชื้อเพลิงในปีงบประมาณ 2538	41
ตาราง 3.9	การใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า	42
ตาราง 3.10	ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า	42
ตาราง 3.11	การดำเนินงานอ่างน้ำ	44
ตาราง 3.12	แผนพัฒนากำลังไฟฟ้าเดิม (PDP 95.01)	45
ตาราง 3.13	โครงการที่อยู่ระหว่างการก่อสร้าง	49
ตาราง 3.14	โครงการในแผนพัฒนา ฉบับที่ 7 (ปี 2535.2539)	50
ตาราง 3.15	โครงการในแผนพัฒนา ฉบับที่ 8 (ปี 2535.2539)	51
ตาราง 3.16	ราคาขายเฉลี่ย ปีงบประมาณ 2538	69
ตาราง 3.17	การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ปีงบประมาณ 2538	69
ตาราง 3.18	รายได้โดยประมาณจากการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ พ.ศ. 2549.2578	71
ตาราง 3.19	อัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน (2540)	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตาราง 4.1	แสดงสัดส่วนของยูเรเนี่ยมที่พบได้ในธรรมชาติ	76
ตาราง 4.2	แสดงค่า Half-life กับสถานภาพของสารตามธรรมชาติ และที่เกิดจากการผลิตโดยมนุษย์	79
ตาราง 4.3	แสดงผลิตผลจากการแตกตัวที่สำคัญ	95
ตาราง 4.4	เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ชนิดต่างๆ	104
ตาราง 4.5	แสดงบริเวณที่ติดอุปกรณ์ตรวจวัดและสัญญาณที่ทำให้เครื่องหยุดเดิน(PWR)	116
ตาราง 4.6	แสดงบริเวณที่ติดอุปกรณ์ตรวจวัดและสัญญาณที่ทำให้เครื่องหยุดเดิน(BWR)	133
ตาราง 4.7	แสดงบริเวณที่ติดอุปกรณ์ตรวจวัดและสัญญาณที่ทำให้เครื่องหยุดเดิน(CANDU)	147
ตาราง 4.8	ตารางให้คะแนนด้าน Safety	166
ตาราง 4.9	ตารางให้คะแนนด้าน Environment	166
ตาราง 4.10	ตารางให้คะแนนด้าน Economics	167
ตาราง 4.11	ตาราง Ranking ทั้ง 3 ด้าน	167
ตาราง 4.12	ปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งต่างๆใน 1 ปี	198
ตาราง 5.1	สรุปพัฒนาการการบริหารจากอดีตถึงปัจจุบัน	217
ตาราง 5.2	กำลังคนที่ต้องการในงานด้าน Manufactoring	256
ตาราง 5.3	แสดงการกระจายกำลังคนในงานการขุดสำรวจ	260
ตาราง 5.4	ตารางแสดงคำจำกัดความสำหรับตัวอย่างประเทศเกาหลีใต้	267
ตาราง 6.1	มาตราฐานสิ่งแวดล้อม (ENVIRONMENTAL STANDARD REGULATION)	286
ตาราง 6.2	ธาตุจากปฏิกิริยาการแตกตัว ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Some Important Fission Products)	297

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตาราง 6.3	ค่าความเข้มข้นสูงสุดของไอโซโทปของธาตุกัมมันตรังสี (MPC) ที่กำหนดโดยคณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ (ICRP)	298
ตาราง 6.4	รายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ ไอส์แลนด์-2	311
ตาราง 6.5	รายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล หน่วยที่ 4	317
ตาราง 7.1	เงินกู้และดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง	412
ตาราง 7.2	การชดใช้เงินกู้	415
ตาราง 7.3	สรุปค่าใช้จ่ายด้าน Operation & Maintenance	421
ตาราง 7.5	รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าโดยประมาณ	428

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปีที่ผ่านมานั้น นับเป็นอีกปีหนึ่งที่ความต้องการไฟฟ้ายังเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง ซึ่งเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ การขยายตัวของประชากร การพัฒนาชนบทและการปรับปรุงคุณภาพชีวิตสู่ความทันสมัย ทำให้ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีอัตราความเจริญด้านเศรษฐกิจอันดับต้น ๆ ของโลกจึงทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.5ซึ่งนับเป็นการเพิ่มในอัตราสูง

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาภาพรวมของการใช้พลังงานของโลกปรากฏว่าประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งมีประชากรถึง 3 ใน 4 กลับใช้พลังงานเพียง 1 ใน 4 ของพลังงานที่ใช้ ส่วนประเทศที่พัฒนาแล้วจะใช้พลังงานต่อคนสูง เฉลี่ยสูงกว่าประชากรในประเทศที่กำลังพัฒนาประมาณ 6 เท่า ดังนั้น การเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าเพื่อขยายระบบส่งของประเทศที่กำลังพัฒนา จึงยังคงเป็นภารกิจที่มีความสำคัญเร่งด่วน เพราะความต้องการไฟฟ้าที่มีอัตราเพิ่มสูงในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เป็นเครื่องชี้ให้เห็นถึงการขยายตัวทางเศรษฐกิจในระยะเร่งรัดและสังคมที่กำลังปรับตัวไปสู่ยุคทันสมัย ซึ่งจำเป็นที่จะต้องจัดหาพลังงานไฟฟ้ามาตอบสนองความต้องการให้เพียงพออย่างต่อเนื่องตลอดไป

โดยในปีงบประมาณที่ผ่านมา กฟผ. มีกำลังการผลิตทั้งสิ้น 15,725.29 เมกะวัตต์ ซึ่งแยกตามชนิดของโรงไฟฟ้าคือจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน 6,517.50 เมกะวัตต์คิดเป็นร้อยละ 41.49 % จากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม 3,311.6 เมกะวัตต์คิดเป็นร้อยละ 21.06 % จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำ 2.861.06 เมกะวัตต์คิดเป็นร้อยละ 18.19 % จากโรงไฟฟ้าพลังกังหันแก๊ส.ดีเซลและพลังงานทดแทนอื่นๆ อีก 889.13 เมกะวัตต์คิดเป็นร้อยละ 5.66 %และจากบริษัทผลิตไฟฟ้าระยอง จำกัด 2,146.00 หรือคิดเป็นร้อยละ 13.64 % ซื้อเพลิงส่วนใหญ่ในการผลิตไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลซึ่งได้จากธรรมชาติ ซึ่งกำลังจะหมดไปภายในระยะเวลาข้างหน้านี้ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จึงเป็นทางเลือกใหม่ที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าเนื่องจากใช้เชื้อเพลิงน้อยในการผลิตไฟฟ้าที่เท่ากันกับเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล แต่เนื่องจากความรู้เรื่องนิวเคลียร์เป็นเรื่องใหม่สำหรับคนไทยจึงต้องมีการศึกษาอย่างละเอียด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มโครงงานพิเศษจึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการตัดสินใจในการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และเป็นการฝึกการทำการวิเคราะห์ Project Feasibility Study ซึ่งเป็นวิชาเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมก่อสร้างอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1. สามารถทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Project Feasibility Study) ในโครงการขนาดใหญ่ของรัฐที่มีผลต่อประชาชนทั่วไปได้
2. สามารถนำข้อมูลด้านต่าง ๆ มาวิเคราะห์และสรุปได้อย่างเป็นเหตุและเป็นผลตามหลักวิชา Project Feasibility Study

ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

1. ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ,ศึกษาข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์,การตลาด,เทคนิค, การเงิน,การบริหารและผลกระทบต่าง ๆ
2. ข้อมูลที่ได้ศึกษารวบรวมจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือและจากผู้เชี่ยวชาญในด้านนั้น ๆ รวมทั้งจากการอ่านหนังสือต่างประเทศ

ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

การศึกษาแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ 6 ส่วน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การศึกษาข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการ(Pre-Project Feasibility)
2. การศึกษาข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาด - จะทำการศึกษาด้านความต้องการใช้งานไฟฟ้าของประเทศ(Demand)และการผลิตไฟฟ้าป้อนให้แก่ระบบ(Supply), การใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า,การดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ,แผนการพัฒนากำลังการผลิตเพื่อรองรับความต้องการในอนาคต นอกจากนี้ยังศึกษาระบบการจำหน่ายไฟฟ้าในประเทศ การส่งเสริมการจำหน่ายไฟฟ้า การประมาณรายได้จากโรงไฟฟ้าเป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การศึกษาด้านวิศวกรรมและความปลอดภัย - ทำการศึกษาเทคโนโลยีทางนิวเคลียร์ที่ปัจจุบันใช้กันอยู่และเทคโนโลยีในอนาคต ซึ่งมีเรื่องต่าง ๆ ดังนี้ การเลือกสถานที่ตั้ง,รังสีและการกำจัดกาก,ฟิสิกส์นิวเคลียร์,ชนิดของปฏิกรณ์นิวเคลียร์และการทำงาน,เชื้อเพลิงนิวเคลียร์,ระบบความปลอดภัย,การก่อสร้าง เป็นต้น
4. การศึกษาด้านการจัดการและการบริหาร - ทำการศึกษาการจัดการและการบริหารของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ตั้งแต่การเตรียมโครงการก่อนการก่อสร้าง,ระหว่างการก่อสร้างและหลังการก่อสร้าง
5. การศึกษาด้านการเงิน - วิเคราะห์ด้านการเงินออกมาในรูป CASH FLOW เพื่อนำมาเปรียบเทียบความคุ้มค่ากับโรงไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ และใช้ค่าทางเศรษฐศาสตร์อื่น ๆ มาวิเคราะห์ด้วย เช่น Payback of Periods,B/C Ratio เป็นต้น
6. การศึกษาผลกระทบต่าง ๆ - ทำการศึกษาผลกระทบด้านต่าง ๆ ที่เกิดจากตรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เช่น สิ่งแวดล้อม,สังคมและชุมชน,กฎหมาย,ความคิดของประชาชนและเหตุการณ์อุบัติเหตุสำคัญของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

วิธีการในการดำเนินโครงงานพิเศษ

1. เก็บข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย,สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ,ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ,ธนาคารแห่งประเทศไทย เป็นต้น
2. ค้นคว้าจากหนังสือต่างประเทศ จากห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์,หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,ห้องสมุดสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ,ห้องสมุดการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย,ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่,ห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT.)
3. ติดตามการสัมมนาทางวิชาการที่จัดขึ้นตามสถานที่ต่าง ๆ และจากสื่อต่าง ๆ เช่น วิทยุ,โทรทัศน์ ตลอดจนหาข้อมูลจากวารสารทางวิชาการ,บทความต่าง ๆ ในหนังสือ เช่น วารสารวิศวกรรมสาร,วารสารเทคโนโลยี,วารสารกฟผ.,ข่าวสารกฟผ.,ข่าวพปส. เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขอคำปรึกษาและคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ (อาจารย์วิบูลย์ วุฒิญาณ) เป็นระยะ ๆ และขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญต่าง ๆ ตามหน่วยงานข้างต้น เช่น คุณภาณุ อุทโยภาศ (สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ) ผศ.นเรศร์ จันทร์ขาว,อาจารย์ ดร. สุพิชชา จันทรโยธา (ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) คุณศุภผล รัตนากร (กองพลังงานปรมาณู การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย) เป็นต้น

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการขนาดใหญ่ของรัฐได้
2. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ในด้านต่าง ๆ ออกเผยแพร่ต่อสาธารณชนเพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจในการจะดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย
3. มีความรู้ทางด้านนิวเคลียร์เทคโนโลยีและมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

เอกสารอ้างอิง

- IAEA. CODE

-NUCLEAR POWER:Volume 1 : Nuclear Project Plant Design

-NUCLEAR POWER:Volume 2 : Nuclear Power Project Management

-Guidebook on the Introduction of Nuclear Power : Technical Reports Series No. 200

-Guidebook on the Introduction of Nuclear Power : Technical Reports Series No. 217

-ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้นก่อนการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ข้อมูลเบื้องต้นก่อนการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

1.ประวัติของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และสถานการณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบัน

1.1ประวัติโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์แห่งแรกของโลกได้เปิดดำเนินการเมื่อวันที่ 17 ตุลาคม 2499 ที่เซลลาฟีลด์ (Sellafield) ในคัมเบรีย (Cumbria) ทางตะวันตกเฉียงเหนือของอังกฤษ คือ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์คาลเดอร์ ฮอล (Calder Hall) ซึ่งดำเนินการโดย British Nuclear Fuel (BNFL) ซึ่งเพิ่งมีการฉลองครบรอบ 40 ปี ไปเมื่อไม่นานมานี้ ซึ่งนับแต่วันที่เปิดสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้รวม 52,460 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง การเฉลิมฉลองครั้งสำคัญนี้ภายหลังการพิจารณาของคณะกรรมการควบคุมพลังงานนิวเคลียร์แห่งสหราชอาณาจักรเพียงสองเดือนซึ่งคณะกรรมการได้พิจารณาให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์คาลเดอร์ ฮอลและโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชพเพลครอส (Chapelcross) ในสก็อตแลนด์ ซึ่งก่อสร้างในเวลาใกล้เคียงกันให้เดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไปอีกจนมีอายุครบสูงสุด 50 ปี

1.2สถานการณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในโลก

1. **เทคโนโลยี** โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิดใช้น้ำระบายความร้อนทั้ง 3 แบบ คือ แบบความดันน้ำสูง (PWR = Pressurized Water Reactor) แบบน้ำเดือด (BWR = Boiling Water Reactor) และแบบแคนดู (CANDU = Canada Deuterium Uranium) จะยังคงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายต่อไป เพราะการพัฒนามุ่งไปในทิศทางนี้ ประเทศอังกฤษซึ่งเป็นเจ้าตำรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ระบายความร้อนด้วยก๊าซยังล้มเลิกการพัฒนาและหันไปก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบความดันน้ำสูง(PWR)

บรรดาผู้ผลิตอุปกรณ์ชั้นนำต่างพยายามปรับปรุงพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีความปลอดภัยสูงขึ้น และแข่งขันกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนอื่น ๆ ได้มากขึ้น

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์รุ่นใหม่จะเน้นที่การผลิตชิ้นส่วนให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เรียบง่าย สะดวกในการใช้งานและบำรุงรักษา รวมทั้งการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป นอกจากนี้ยังลดการใช้ระบบกลไกควบคุมการทำงานโดยนำระบบกฎธรรมชาติมาใช้แทน เช่น การระบายความร้อนโดยการหมุนเวียนของน้ำเองจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

2. **เศรษฐศาสตร์** โรงไฟฟ้าเรียบง่ายย่อมสิ้นเปลืองวัสดุก่อสร้าง และอุปกรณ์ต่าง ๆ น้อยลงอีกทั้งความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้สิ่งของคุณภาพสูงก็จะลดน้อยลงไปด้วย สิ่งเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ทำให้การก่อสร้างง่ายและรวดเร็วขึ้น ลดระยะเวลาก่อสร้างลงได้ 1-2 ปี และประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้ร้อยละ 10-40 ความเสี่ยงในการลงทุนลดน้อยตามไป ค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จึงมีแนวโน้มไม่สูงกว่าโรงไฟฟ้าถ่านหินมากดังเช่นแต่ก่อนโดยเฉพาะเมื่อคำนึงถึงการติดตั้งอุปกรณ์กำจัดมลสารหรือนำเทคโนโลยีถ่านหินสะอาดมาใช้

ไม่เพียงแต่ด้านลดเงินลงทุนเท่านั้น ต้นทุนเชื้อเพลิงยังลดลงควบคู่กันไปด้วย ในยุคโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เฟื่องฟูนั้น อัตราใช้สอยเชื้อเพลิงอยู่ในระดับ 33,000 เมกะวัตต์-วัน/ตันยูเรเนียม ปัจจุบันสามารถใช้สอยได้สูงถึง 36,000 เมกะวัตต์-วัน/ตันยูเรเนียม แล้วกระนั้นก็ตามพัฒนาการด้านนี้ยังจะดำเนินต่อเนื่องไปอีกโดยมีเป้าหมายอยู่ที่ระดับ 45,000 -60,000 เมกะวัตต์-วัน/ตันยูเรเนียม การสกัดพลังงานความร้อนออกมาใช้เพิ่มได้อีกถึงประมาณหนึ่งในสามเช่นนี้จะลดต้นทุนผลิตไฟฟ้านิวเคลียร์ลงได้มากทีเดียว

3. ความปลอดภัย เมื่อความซับซ้อนและจำนวนกลไกต่าง ๆ ถูกตัดทอนโอกาสที่ระบบใดระบบหนึ่งจะทำงานล้มเหลวอันเนื่องมาจากการขัดข้องของอุปกรณ์ย่อมจะเบาบางลง ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรจะต้องกระทำให้ได้อย่างยิ่ง โดยเฉพาะระบบความปลอดภัย การขยายการควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์รวมทั้งการสำรองขีดความสามารถไว้สูงขึ้นเป็นการเพิ่มความปลอดภัยในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์รุ่นใหม่ได้มาก

4. กากกัมมันตรังสี การค้นคว้าหาวิธีกำจัดได้ดำเนินมาช้านานไม่ยิ่งหย่อนกว่าการพัฒนาเทคโนโลยีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ วิธีที่ยอมรับกันว่าให้ความปลอดภัยสูงเพียงพอได้แก่ การหลอมละลายกากกัมมันตรังสีกับสารเคมีให้เป็นผลึกแก้วเนื้อเดียวกันเลียนแบบโครงสร้างของผลึกแก้วธรรมชาติแถบทะเลคาริเบียนซึ่งคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อมได้ดีนานนับหมื่นปี ผลึกแก้วกากนี้จะถูกบรรจุในภาชนะโลหะอย่างน้อยอีก 1 ชั้น ก่อนที่จะนำไปฝังอุโมงค์ใต้ดินลึกนับพันเมตร โดยมีการตรวจตราอยู่ตลอดเวลา พร้อมที่จะเคลื่อนย้ายหรือจัดการอย่างหนึ่งอย่างใดให้ปลอดภัยได้เสมอ หลาย ๆ ประเทศที่มีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้เริ่มเคลื่อนไหวสรรหาสถานที่แล้ว

5. แร่ยูเรเนียมสำรอง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เดินเครื่องอยู่ทั่วโลกในปัจจุบันกว่า 400 เครื่องรวมกำลังผลิตกว่า 325,000 เมกะวัตต์ เมื่อเทียบกำลังผลิตต่อหน่วยเป็น 1,000 เมกะวัตต์ จะได้ประมาณ 300 เครื่อง โรงไฟฟ้าขนาดนี้จะใช้ยูเรเนียมสิ้นเปลืองปีละประมาณ 100 ตัน หรือเท่ากับ 3,000 ตัน ตลอดอายุใช้งาน 30 ปี ฉะนั้นปริมาณยูเรเนียมสำรองทั่วโลกซึ่งมีอยู่ประมาณ 12 ล้านตัน จะรองรับได้ถึง 4,000 เครื่องหรือกว่า 10 เท่าตัว และอาจจะขยายได้ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8,000 เครื่อง ถ้าหากการนำเชื้อเพลิงใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีแนวโน้มสูง นอกจากนี้ยังมีแนวโน้มว่าจะพบยูเรเนียมเพิ่มเติมอีกเท่าตัว

ยูเรเนียมกระจายอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของโลกหลายทวีปในหลาย ๆ ประเทศ การจัดหาไม่น่าจะเป็นปัญหาใหญ่ สำหรับประเทศไทยเท่าที่ประเมินจากข้อมูลของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีน้อยมาก ไม่คุ้มค่าต่อการพัฒนาขึ้นมาใช้ อย่างไรก็ตามหากมีการสำรวจค้นหาอย่างจริงจัง ดังเช่นการสำรวจน้ำมันและก๊าซธรรมชาติอาจจะพบเพิ่มเติมได้

6. **การยอมรับของประชาชน** การใช้พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเคยเป็นผู้นำมาก่อนยังคงอยู่ในระดับเดิมคือประมาณร้อยละ 20 นั้นเหตุหนึ่งสืบเนื่องมาจากความยุ่งยากและซับซ้อนในกฎและระเบียบการอนุญาตให้ก่อสร้างและเดินเครื่องของสหรัฐเองซึ่งเป็นผลให้เวลาและค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สูงกว่าประเทศอื่นใด การที่ไม่อาจคาดคะเนกำหนดแล้วเสร็จและค่าใช้จ่ายได้แน่นอนตามสมควรทำให้การลงทุนมีความเสี่ยงสูงเกินไปกว่าที่การไฟฟ้าต่าง ๆ จะรับไว้ได้ อีกเหตุหนึ่งหลายปีที่ผ่านมาความต้องการไฟฟ้าในสหรัฐไม่เพิ่มมากพอที่จะต้องเร่งก่อสร้างโรงไฟฟ้าใหม่รองรับตามสภาวะการณ์ของเศรษฐกิจอย่างไรก็ตามผลการหยั่งเสียงประชาชนอเมริกัน (US. Council for Energy Awareness, July 1993) สรุปว่าสหรัฐจำเป็นต้องคิดสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อีกแน่นอน ขณะนี้หน่วยงานควบคุมการใช้พลังงานนิวเคลียร์ของสหรัฐก็ได้ปรับปรุงขั้นตอนและกระบวนการออกใบอนุญาตให้ทันสมัยและเหมาะสมแก่การปฏิบัติทั่วไปแล้ว

ความวิตกกังวลต่อสถานการณ์แหล่งพลังงานและภาวะเลวร้ายของสิ่งแวดล้อมได้เปลี่ยนแปลงทัศนคติของประชากรโลกเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ไปในทางยอมรับมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้จะเห็นได้ชัดจากประเทศที่เคยประกาศชัดเจนว่าจะล้มเลิกการใช้พลังงานนิวเคลียร์

เมื่อหลายปีก่อนชาวสวีเดนได้มีประชามติให้เลิกการใช้พลังงานนี้อย่างสิ้นเชิงในปีพ.ศ. 2553 โดยจะเริ่มต้นลดการใช้ลงในปีพ.ศ. 2538 ท่าทีนี้ได้อ่อนตัวลงในปัจจุบันด้วยภาวะความต้องการพลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ตนเองเผชิญอยู่ ตามกระแสข่าวรัฐบาลสวีเดนได้เลื่อนกำหนดเริ่มต้นลดการผลิตไฟฟ้านิวเคลียร์ออกไปไม่มีกำหนด

ทางด้านประเทศสวิตเซอร์แลนด์ซึ่งมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์อยู่ 5 เครื่องและได้ออกกฎหมายห้ามสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพิ่มเติมก็เริ่มมีทีท่าว่าจะกลับมาพิจารณาทบทวนใหม่

สำหรับประเทศอิตาลีนั้นกลุ่ม Club of Rome ซึ่งเคยประกาศต่อต้านพลังงานนิวเคลียร์เต็มที่ได้กลับท่าทีอย่างตรงข้ามมาสนับสนุนพลังงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชาชนเยอรมันยังคงคัดค้านการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แห่งใหม่แต่ก็ยินยอมให้เดินเครื่องใช้งานโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่มีอยู่เดิม นโยบายการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพิ่มเติมขึ้นอยู่กับพรรคการเมืองที่เป็นรัฐบาล ซึ่งปัจจุบันพรรคนำได้แก่ พรรคคริสเตียนเดโมแครท (Christian Democrats) และพรรคลิเบอรอล (Liberals) ซึ่งเป็นฝ่ายที่ให้การสนับสนุน อย่างไรก็ตามโครงสร้างการบริหารประเทศของเยอรมันนั้นอำนาจการตัดสินใจมักจะขึ้นอยู่กับรัฐบาลท้องถิ่น ซึ่งปัจจุบันรัฐท้องถิ่นส่วนมากบริหารโดยพรรคสังคมนิยม (Socialist) ซึ่งเป็นฝ่ายที่คัดค้าน เนื่องจากชาวเยอรมันให้ความสำคัญสูงสุดแก่การพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ในการพิจารณาเรื่องต่าง ๆ จึงมีแนวโน้มที่รัฐบาลเยอรมันอาจจำเป็นต้องมีการสำรวจประชามติเกี่ยวกับการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในอนาคต

ประเทศออสเตรียก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เครื่องแรกแล้วเสร็จในปีพ.ศ. 2521 แต่ไม่อาจเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าได้เนื่องจากการคัดค้านของประชาชน สัดส่วนการคัดค้านและสนับสนุนพลังงานนิวเคลียร์ของประชาชนใกล้เคียงกันตลอดเวลา เป็นที่น่าสังเกตว่ากลุ่มต่อต้านนี้จะต่อต้านพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ด้วยและยังขยายการต่อต้านข้ามไปยังประเทศเพื่อนบ้านอีก คาดกันว่าหากไม่มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าแห่งใหม่ในอนาคตอันใกล้นี้ประเทศออสเตรียจะต้องพึ่งพากระแสไฟฟ้าจากประเทศใกล้เคียงซึ่งผลิตด้วยพลังงานนิวเคลียร์เป็นส่วนใหญ่เพิ่มมากขึ้น

สถานการณ์ทางเอเชีย ญี่ปุ่นเป็นประเทศที่ก้าวหน้าที่สุดในเทคโนโลยีด้านนี้ ทั้งด้านประเทศผู้ผลิตอุปกรณ์และการใช้ แม้ว่าการผลิตไฟฟ้านิวเคลียร์เทียบกับความต้องการไฟฟ้าทั้งหมดจะอยู่ในสัดส่วนที่ค่อนข้างต่ำเพียงร้อยละ 33 แต่จำนวนโรงไฟฟ้านิวเคลียร์กว่า 50 เครื่องก็ผลิตไฟฟ้าสูงถึงกว่าหนึ่งแสนเจ็ดหมื่นล้านหน่วย สัดส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 40 ในปีพ.ศ. 2543 และจำนวนโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะเพิ่มขึ้นอีกกว่า 10 เครื่องก้าวขึ้นเทียบเคียงประเทศฝรั่งเศส

ประเทศญี่ปุ่นใช้พลังงานนิวเคลียร์มากว่า 30 ปีแล้วนับว่าประสบความสำเร็จสูง ทั้ง ๆ ที่ได้รับความเสียหายอย่างหนักจากระเบิดนิวเคลียร์ในสงครามโลกครั้งที่สอง และอยู่ในเขตแผ่นดินไหว ประเทศญี่ปุ่นมีพื้นที่น้อย ประชาชนหนาแน่นและเป็นประเทศอุตสาหกรรม เช่นเดียวกับเกาหลีและไต้หวันจึงต้องการพลังงานสูง แม้จะมีการต่อต้านบ้างในระยะแรก ๆ แต่ความคิดของประชาชนรวมทั้งส.ส. ทุกฝ่ายที่จะพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อความอยู่รอดจึงต้องยอมรับพลังงานนิวเคลียร์เพราะขาดแคลนทรัพยากรในประเทศตนเอง กลุ่มประชาชนที่ต่อต้านมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเป็นชาวท้องถิ่น ญี่ปุ่นมีประสบการณ์มากพอสมควรเกี่ยวกับการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเข้าใจโดยเฉพาะเรื่องความปลอดภัย และความมั่นคงในพื้นฐานวิชาการ

ประเทศญี่ปุ่นคิดวางแผนการสกัดเชื้อเพลิงใช้แล้วเพื่อนำมาใช้อีกตั้งแต่ตอนเริ่มต้นเมื่อ 30 ปีที่แล้ว ขณะนี้ถึงเวลาเช่นนั้นโดยส่งไปสกัดที่ฝรั่งเศส เมื่อปีพ.ศ. 2535 การขนส่งพลูโตเนียมกลับญี่ปุ่นนั้น มาตรการความปลอดภัยมีเพียบพร้อม ทั้งการโจรกรรมอุบัติเหตุและอื่น ๆ เพียงแต่มิได้แจ้งประเทศในเส้นทางผ่านทราบทั่วไปจึงมีปัญหาการต่อต้านจากสื่อมวลชน (ส่วนใหญ่) และกลุ่มอื่น ๆ บ้าง หลังจากการชี้แจงแล้วเรื่องต่าง ๆ ก็เรียบร้อยและคิดว่าต่อไปจะต้องหาวิธีการสื่อสารที่ดีกว่านี้อย่างไรก็ตามการขนส่งซึ่งใช้เทคนิคสูงก็สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายทุกประการ

ประชาชนมีเพียงความสงสัยว่าพลูโตเนียมที่ขนส่งนี้จะนำไปทำระเบิดได้หรือไม่ คำตอบก็คือไม่ได้เพราะเข้มข้นเพียงร้อยละ 70 แต่การนำไปทำระเบิดต้องให้มีความเข้มข้นร้อยละ 94 ขึ้นไปในอนาคตพลูโตเนียมและยูเรเนียมจะเป็นแหล่งพลังงานของโลกแน่นอน ไม่ใช่การทำระเบิด

ตารางที่ 2.1 จำนวนโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในโลก

<u>โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทั่วโลก</u>

เมื่อ 31 ธันวาคม 2538

ประเทศ	เริ่มเดินเครื่องในเชิงพาณิชย์ (พ.ศ.)	กำลังเดินเครื่อง (โรง)	รวมกำลังผลิต (เมกะวัตต์)	กำลังก่อสร้าง (โรง)	รวมกำลังผลิต (เมกะวัตต์)	ผลิตไฟฟ้า (พันล้านหน่วย)	สัดส่วนของประเทศ (ร้อยละ)
ทวีปยุโรป							
1.ฝรั่งเศส	2505	56	58,493	4	5,810	358.60	76.14
2.อังกฤษ	2499	35	12,908	-	-	81.60	24.91
3.รัสเซีย	2501	29	19,843	4	3,375	99.38	11.79
4.เยอรมนี	2509	20	22,017	-	-	145.70	29.64
5.ยูเครน	2521	16	13,629	5	4,750	65.64	37.83
6.สวีเดน	2515	12	10,002	-	-	66.70	46.55
7.สเปน	2512	9	7,124	-	-	53.10	34.06
8.เบลเยี่ยม	2518	7	5,631	-	-	39.20	55.52
9.บัลกาเรีย	2517	6	3,538	-	-	17.26	46.43
10.สวิตซ์	2511	5	3,050	-	-	23.49	39.92
11.สโลวัก	2524	4	1,632	4	1,552	11.44	44.14
12.เช็ก	2528	4	1,648	2	1,824	12.23	20.10
13.ฟินแลนด์	2520	4	2,310	-	-	18.13	29.91
14.ฮังการี	2526	4	1,729	-	-	13.20	42.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15.ลิธัวเนีย	2528	2	2,370	-	-	10.64	85.59
16.เนเธอแลนด์	2512	2	504	-	-	3.80	4.89
17.สโลวาเนีย	2526	1	632	-	-	4.56	39.46
18.อารุเมเนีย	N.A.	1	376	-	-	-	-
19.โรมาเนีย	-	-	-	2	1,300	-	-
ทวีปอเมริกา							
20.สหรัฐ	2500	109	99,414	1	1,165	673.40	22.49
21.แคนาดา	2514	21	14,907	-	-	92.31	17.26
22.อาร์เจนตินา	2517	2	935	1	692	7.07	11.79
23.บราซิล	2527	1	626	1	1,245	2.50	0.97
24.เม็กซิโก	2533	2	1,308	-	-	8.44	6.00
ทวีปแอฟริกา							
25.แอฟริกาใต้	2527	2	1,842	-	-	11.44	6.48
ทวีปเอเชีย							
26.ญี่ปุ่น	2509	51	39,893	3	3,757	286.90	33.40
27.เกาหลีใต้	2521	11	9,120	5	3,870	63.68	36.10
28.อินเดีย	2512	10	1,695	4	808	6.46	1.89
29.ไต้หวัน	2521	6	4,884	-	-	33.93	28.79
30.จีน	2536	3	2,167	-	-	12.38	1.24
31.คาซัคสถาน	2516	1	70	-	-	0.08	0.13
32.ปากีสถาน	2515	1	125	1	300	0.46	0.88
33.อิหร่าน	-	-	-	1	2,146	-	-
รวมทั้งสิ้น		437	334,422	39	32,594	2,223.56	-

หมายเหตุ

พ.ศ.2537 -งานก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์หยุดดำเนินการชั่วคราว 3 โรง(คิวบา 2 , สหรัฐอเมริกา 1)

-โรงไฟฟ้านิวเคลียร์หมดอายุใช้งาน 2 โรง (ฝรั่งเศส 1 อังกฤษ 1)

-มีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เริ่มเดินเครื่อง 4 โรง (เม็กซิโก 1 ญี่ปุ่น 1 เกาหลีใต้ 1 และจีน 1)

พ.ศ.2538 -โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในอาร์มาเนีย เริ่มเดินเครื่องใหม่หลังจากที่หยุดเดินเครื่องเพื่อตรวจสอบแก้ไข อันเนื่องมาจากแผ่นดินไหว ตั้งแต่ พ.ศ. 2531 เป็นเวลากว่า 6 ปี

-โรงไฟฟ้านิวเคลียร์หยุดเดินเครื่อง2โรง(เยอรมัน 1 แคนาดา 1)ที่แคนาดาเมื่อปรับปรุงเรียบร้อยก็เดินเครื่องใช้งานอีกต่อไป

-มีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เริ่มเดินเครื่อง 6 โรง(อินเดีย 1 เกาหลีใต้ 1 สหราชอาณาจักร 1 ยูเครน 1 และญี่ปุ่น 2)

เรียบเรียงจาก Nuclear Power Reactors in the World ,April 1996 Edition,IAEA

ที่มา:ฝ่ายประชาสัมพันธ์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.โครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย

2.1ประวัติโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ของไทย

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เริ่มสนใจพลังงานนิวเคลียร์ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2510 ในช่วงเวลานั้นได้เตรียมการฝึกอบรมบุคลากรและทำการศึกษาทบทวนความเหมาะสมหลายครั้งซึ่งสรุปได้ว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาดกำลังผลิตประมาณ 500 เมกะวัตต์ เหมาะสมที่จะดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จและเดินเครื่องได้ในปี พ.ศ. 2524 กฟผ.ได้นำโครงการเสนอรัฐบาลพิจารณาแต่จำต้องถอนโครงการกลับและระงับไว้โดยไม่มีกำหนด เนื่องจากความผันผวนทางเศรษฐกิจของประเทศจากวิกฤติการณ์น้ำมันเชื้อเพลิง การค้นพบน้ำมันและก๊าซธรรมชาติในประเทศ รวมทั้งการต่อต้านจากประชาชนโดยในเวลานั้นมีลำดับเหตุการณ์และงานสำคัญของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ดังนี้

ธันวาคม	2509	: ความคิดเริ่มแรกในการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้ายันฮี
มีนาคม	2510	: จัดตั้งคณะอนุกรรมการไฟฟ้านิวเคลียร์
กรกฎาคม	2510	: จัดให้มีการอบรมวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์
พฤศจิกายน	2510	: เริ่มการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์และเทคนิคของโครงการไฟฟ้านิวเคลียร์ครั้งแรก
พฤศจิกายน	2510	: คัดเลือกสถานที่ตั้งสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
สิงหาคม	2511	: ส่งคณะเจ้าหน้าที่ไทย 5 นาย ไปดูงานด้านโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศต่าง ๆ
ตุลาคม	2511	: เสร็จสิ้นการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการครั้งแรก
พฤศจิกายน	2511	: คณะผู้เชี่ยวชาญจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ มาช่วยพิจารณาที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
ธันวาคม	2511	: คณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติอนุมัติให้ใช้สถานที่บ้านอ่าวไผ่ อำเภอศรีราชา เป็นสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
กุมภาพันธ์	2512	: รัฐบาลอนุมัติในหลักการให้ใช้บ้านอ่าวไผ่ เป็นสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
มีนาคม	2512	: ให้บริษัทผู้ผลิตโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เสนอรายละเอียดทางเทคนิคของโรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิถุนายน	2512	: สำรวจแหล่งน้ำจืดในบริเวณใกล้เคียงที่ตั้งโรงไฟฟ้า
กรกฎาคม	2512	: สำรวจด้านธรณีวิทยาขั้นแรก
กุมภาพันธ์	2513	: วางแผนการก่อสร้างสถานีไฟฟ้าย่อย และสายส่งแรงสูงเพื่อรับโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
กรกฎาคม	2513	: ปรับสถานที่ตั้งเพื่อสร้างที่ทำการสนาม
สิงหาคม	2513	: สำรวจด้านอุทกวิทยา
ตุลาคม	2513	: รับรายละเอียดทางเทคนิคของโรงไฟฟ้า จากบริษัทผู้ผลิต
มิถุนายน	2514	: เริ่มการสำรวจปริมาณรังสีในธรรมชาติและสภาพแวดล้อม
กรกฎาคม	2514	: ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ให้ความช่วยเหลือจัดตั้งหลักสูตรวิชานิวเคลียร์วิทยาในระดับปริญญาโท
		: เริ่มทำการสำรวจความหนาแน่นของประชากร
สิงหาคม	2514	: สรุปผลการวิเคราะห์รายละเอียดทางเทคนิคจากบริษัทผู้ผลิตต่าง ๆ
มีนาคม	2515	: คณะผู้เชี่ยวชาญจากทบวงพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศมาพิจารณาสถานที่ตั้ง ครั้งที่ 2
มิถุนายน	2515	: คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย เปิดสอนวิชานิวเคลียร์วิทยาและเทคโนโลยี ในระดับปริญญาโท
กรกฎาคม	2515	: ก่อสร้างสถานีตรวจอากาศในบริเวณที่ตั้ง
พฤศจิกายน	2515	: สำรวจความต้องการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศกำลังพัฒนาร่วมกับทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ
เมษายน	2516	: วิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการครั้งที่ 2
มิถุนายน	2516	: เตรียมข้อกำหนดการของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
ตุลาคม	2516	: สำรวจโครงการทางธรณีวิทยาในขั้นละเอียด
พฤศจิกายน	2516	: สำรวจการเคลื่อนตัวของทรายพื้นทะเล
		: สำรวจ จัดซื้อเวนคืนกรรมสิทธิ์ที่ดิน บริเวณที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
ธันวาคม	2516	: สำรวจนิเวศน์วิทยาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตในทะเล
		: พิจารณาร่างข้อกำหนดการของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ครั้งแรก
มกราคม	2517	: วิเคราะห์ความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์และเทคนิคของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการครั้งที่ 3

มีนาคม	2517	: พิจารณาร่างข้อกำหนดการของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ครั้งที่ 2
เมษายน	2517	: เสนอโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต่อรัฐบาล
สิงหาคม	2517	: ตราพระราชบัญญัติ ขออนุญาต ผลิต มีไว้ในครอบครองหรือใช้พลังงานนิวเคลียร์จากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์
		: เซ็นสัญญาจองบริการยูเรเนียมเข้มข้นกับ ERDA พร้อมจ่ายเงินมัดจำงวดแรก
ตุลาคม	2517	: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ขอเลื่อนโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ออกไปอีกระยะหนึ่ง
มกราคม	2518	: ศึกษาวิจัยเรื่องอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อสิ่งมีชีวิตในทะเล
		: ERDA ประกาศผ่อนผันให้เลื่อนกำหนดการบอกรับยูเรเนียมเข้มข้น ครั้งที่ 1
สิงหาคม	2518	: สำรวจทางสมุทรศาสตร์ ในอาณาเขต 120 ตารางกิโลเมตร
พฤศจิกายน	2518	: กรมประมงได้ให้ความร่วมมือ เข้าร่วมในการสำรวจนิเวศน์วิทยาทางทะเลด้วย
ธันวาคม	2518	: IAEA จัดประชุมเรื่องรูปแบบวิธีพิจารณารายงานการวิเคราะห์ความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์สำหรับประเทศภาคพื้นเอเชีย
กุมภาพันธ์	2519	: ตั้งศูนย์ประชาสัมพันธ์และขยายการประชาสัมพันธ์เพิ่มขึ้น
เมษายน	2519	: ศึกษาวิจัยเรื่อง Biological Fouling
มิถุนายน	2519	: จัดทำ Physical Model
		: ศึกษาเรื่อง Probable Maximum and Minimum Sea Water Level

อย่างไรก็ตาม กฟผ. มองเห็นความจำเป็นที่จะต้องพึ่งพาพลังงานนิวเคลียร์ในอนาคต จึงคงรักษาหน่วยงานนิวเคลียร์ไว้เพื่อติดตามเทคโนโลยีและการพัฒนาอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ทั่วโลก ตลอดจนให้การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่อย่างต่อเนื่อง เพื่อความพร้อมที่จะริเริ่มโครงการได้อีกเมื่อถึงเวลา งานหลักที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ติดตามความก้าวหน้าและฝึกอบรมเทคโนโลยีนิวเคลียร์
2. ป้องกันอันตรายจากรังสี
3. เผยแพร่ความรู้และวิชาการนิวเคลียร์
4. ประเมินศักยภาพแร่ยูเรเนียม
5. พัฒนาความรู้ความเชี่ยวชาญการประกันคุณภาพ

ในปี พ.ศ. 2527 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) ได้ริเริ่มดำเนินการศึกษาความเหมาะสมเชิงเศรษฐกิจเบื้องต้น โดยความช่วยเหลือจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA : International Atomic Energy Agency) ผลการศึกษาชี้แนะให้เห็นว่าประมาณปี พ.ศ. 2547 จึงจะเป็นเวลาที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้านิวเคลียร์ เริ่มด้วยขนาดกำลังผลิต 900 เมกะวัตต์

ในระยะ 10 ปี ที่ผ่านมาอุตสาหกรรมโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ซบเซามากแต่การพัฒนาเทคโนโลยียังคงดำเนินต่อไป และมีความก้าวหน้ามากพอสมควร ในปี พ.ศ. 2538 กฟผ. จึงได้ทบทวนความเหมาะสมอีกครั้งหนึ่งโดยได้รับความช่วยเหลือจากบริษัท New Japan Engineering Consultant (NEWJEC) ทำการศึกษาความเหมาะสมเชิงเศรษฐกิจเบื้องต้น

สำหรับการศึกษาเพื่อเลือกเทคโนโลยีและการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนเข้าใจนั้น ได้รับความช่วยเหลือจากบริษัท Swiss Power Consultant

2.2 การเตรียมการสำหรับประเทศไทย

1). สถานที่ตั้งและโครงสร้างเศรษฐกิจพื้นฐาน

บริเวณที่อาจใช้เป็นที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย มีอยู่หลายแห่งทั้งแถบชายฝั่งทะเล และห่างไกลออกไป บริเวณที่เหมาะสมจะกำหนดไว้เป็นที่ตั้งสำหรับหน่วยแรก ๆ ได้แก่ บริเวณชายฝั่งทะเลภาคใต้ ด้วยสามารถใช้น้ำทะเลระบายความร้อนและอยู่ใกล้ท่าเรือน้ำลึก ซึ่งอาจจะปรับปรุงให้สามารถรองรับการขนส่งอุปกรณ์ชิ้นหนัก ๆ ได้ เงินลงทุนในส่วนท่าเรือและเส้นทางขนส่งอุปกรณ์ไปยังที่ตั้งจึงน่าจะได้เปรียบสถานที่ตั้งห่างไกลออกไป อีกประการหนึ่งในเวลาที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แรกพร้อมเดินเครื่องจ่ายไฟนั้น ความต้องการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคใต้น่าจะสูงเพียงพอรองรับไฟฟ้านิวเคลียร์ได้หมดตามภาวะการเจริญเติบโตของภาคใต้ ซึ่งมีแนวโน้มสูงตามทิศทางการพัฒนาประเทศ

2). การพัฒนาบุคลากร

บุคลากรของประเทศที่มีความรู้และพื้นฐานโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นเชื่อว่ามีพอเพียง ที่จะริเริ่มโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้ การฝึกอบรมเพิ่มเติมทั้งความเข้มของวิชาการและปริมาณ สามารถกระทำได้ทันควบคู่ไปกับการดำเนินโครงการ โดยเฉลี่ยโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต้องการบุคลากรระหว่างก่อสร้างช่วงสูงสุดประมาณ 3,000 คน และเดินเครื่องประมาณ 250 คน

3). กฎหมาย

สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) เป็นหน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ดูแลกำกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศ ขณะนี้ได้จัดตั้งศูนย์กำกับดูแลโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพื่อดำเนินการวางมาตรฐานการเดินเครื่องความปลอดภัยและอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.3บทบาทของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ต่อการพัฒนาประเทศ

1. พลังงานราคาถูก
2. เพิ่มเสถียรภาพค่ากระแสไฟฟ้าจากความไหวเปลี่ยนต่ำต่อราคาเชื้อเพลิง
3. เพิ่มความมั่นคงระบบไฟฟ้าจากการกระจายแหล่งพลังงาน
4. บรรเทาปัญหาสิ่งแวดล้อม โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 1,000 เมกะวัตต์ ใช้แทนโรงไฟฟ้าถ่านหินขนาดเดียวกันจะลดมลสารได้ปีละ

ฝุ่น	6,000	ตัน
SO_2	40,000	ตัน
CO_2	8	ล้านตัน
NO_x	10,000	ตัน

เอื้ออำนวยต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความต้องการผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปริมาณสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ความเป็นมาของการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย

3.1ประวัติความเป็นมาและอำนาจหน้าที่ของ กฟผ.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เป็นรัฐวิสาหกิจ ก่อตั้งโดยการรวมองค์การไฟฟ้า 3 แห่ง คือ การไฟฟ้ายันฮี การลิกไนท์ และการไฟฟ้าตะวันออกเฉียงเหนือเป็น กฟผ. เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2512

กฟผ. มีอำนาจหน้าที่ในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าแก่ประชาชน โดยการผลิตจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และผู้ใช้พลังงานไฟฟ้ารายอื่นตามที่กฎหมายกำหนดรวมทั้งประเทศใกล้เคียง และดำเนินต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนอื่นๆที่ส่งเสริมกิจการของ กฟผ. เพื่อให้สามารถดำเนินการตามวัตถุประสงค์ข้างต้น กฟผ. จึงมีหน้าที่รวมไปถึงการสร้างเขื่อนอ่างเก็บน้ำ โรงไฟฟ้า ระบบส่งพลังไฟฟ้า ตลอดจนสิ่งอื่นอันเป็นอุปกรณ์ประกอบต่างๆ รวมทั้งการวางนโยบายควบคุมการผลิต การส่ง การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า การผลิตลิกไนต์และวัตถุเคมีจากลิกไนต์

นอกจากนั้น กฟผ. สามารถจัดตั้งบริษัทจำกัด หรือบริษัทจำกัด(มหาชน)เพื่อประกอบธุรกิจเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าและธุรกิจอื่นที่เกี่ยวข้องหรือต่อเนื่องกับกิจการของ กฟผ. รวมทั้งเข้าร่วมกิจการกับหน่วยงานอื่น ไม่ว่าจะเป็นของเอกชนหรือของรัฐทั้งในประเทศและนอกประเทศ หรือกับองค์กรต่างประเทศ หรือถือหุ้นในบริษัทจำกัด หรือกระทำการอย่างอื่นบรรดาที่เกี่ยวข้องกับ หรือเนื่องในการจัดให้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ของ กฟผ.

3.2ความรับผิดชอบของ กฟผ. ต่อการบริหารกิจการไฟฟ้าของรัฐ

การบริหารกิจการไฟฟ้าของรัฐ ปัจจุบันอยู่ในความรับผิดชอบของ 3 หน่วยงาน ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง(กฟน.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค(กฟภ.) กฟผ. มีหน้าที่ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า อยู่ในการกำกับดูแลของสำนักนายกรัฐมนตรี กฟน. และ กฟภ. มีหน้าที่ในการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า อยู่ในการกำกับดูแลของกระทรวงมหาดไทย

นโยบายในการดำเนินงานด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศอยู่ในการกำกับดูแลของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ซึ่งรัฐบาลเป็นผู้แต่งตั้ง นอกจากนี้ยังมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารกิจการไฟฟ้า ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการนโยบายแห่งชาติ กระทรวงการคลัง สำนักงานงบประมาณ รวมทั้งกระทรวงที่กำกับดูแลของแต่ละการไฟฟ้าฯ

กิจการด้านไฟฟ้า มีบทบาทที่สำคัญเป็นอย่างมากในการพัฒนาประเทศ เพราะไฟฟ้าเป็นโครงสร้างพื้นฐานทางเศรษฐกิจ (infrastructure) อย่างหนึ่ง ดังนั้นในภาวะที่เศรษฐกิจของประเทศขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการดำเนินการขยายกิจการด้านระบบไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนในแต่ละปีสูงมาก

การดำเนินการด้านไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วนดังนี้

1) *การวางแผนพัฒนาแหล่งผลิตและระบบส่งไฟฟ้า(Management of Power System Planning)* กฟผ.รับผิดชอบในด้านการวางแผนพัฒนากำลังผลิตและระบบส่งไฟฟ้าโดยมีการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย คือ กฟน. และ กฟภ. ดูแลทางด้านระบบจำหน่ายไฟฟ้า การวางแผนพัฒนาระบบไฟฟ้าของ กฟผ. ดำเนินการทำแผนระยะยาว 12-15 ปี และจะสนองความต้องการไฟฟ้า โดยคำนึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปด้วย

2) *การจัดหาและพัฒนาแหล่งผลิตและระบบส่งไฟฟ้า (Management of Supply System)* กฟผ. รับผิดชอบดำเนินการเอง ตั้งแต่งานสำรวจ ออกแบบก่อสร้าง ปฏิบัติการตลอดจนบำรุงรักษาแหล่งผลิตและระบบส่งเพียงพอที่จะสนองความต้องการไฟฟ้ามาโดยตลอด ในขณะที่ กฟภ. และ กฟน.. รับผิดชอบทางด้านการจำหน่ายไฟฟ้า แต่เนื่องจาก กฟผ. มีการลงทุนรายปีสูงมาก ประกอบกับรัฐบาลมีการลงทุนในสาขาบริการอื่นอีกจำนวนมาก รัฐบาลจึงได้เริ่มให้เอกชนเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในกิจการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7 เป็นต้นไป

3) *การวางแผนการผลิตและจ่ายไฟฟ้า(Management of Operation Planning)* กฟผ. รับผิดชอบและดำเนินการเองด้านวางแผน เพื่อปฏิบัติการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆให้มีต้นทุนการผลิตต่ำตลอดเวลา รวมทั้งควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ กฟน. กฟภ. และลูกค้าตรงอย่างมั่นคง ปลอดภัย มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ราคาเหมาะสม โดยได้พิจารณาถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมควบคู่ไปกับการพัฒนาเสมอ

4) *การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Site Management)* ที่ผ่านมาการสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้านั้น กฟผ. ได้เน้นหนักไปในทางพัฒนาและขยายระบบไฟฟ้าเพิ่มเติมให้เพียงพออยู่เสมอ โดยมิได้มีการควบคุมพฤติกรรมและความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีระบบการจัดการทางด้านใช้ไฟฟ้า เพื่อให้มีการใช้ไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะสามารถทำให้ลดความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้บ้าง อันจะเป็นผลให้ กฟผ. กฟน. และ กฟภ. สามารถลดเงินลงทุนในการขยายระบบผลิตและระบบจำหน่ายลงได้และในระยะยาวต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยอาจจะลดลง งานนี้เป็นงานใหม่ซึ่งทั้งสามการไฟฟ้า คือ กฟผ. กฟน. และ กฟภ. ได้รับอนุมัติจากรัฐบาลตามแผนงานการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นโครงการทดลองที่จะดำเนินการตามแผน 5 ปี แล้ว

5) *การจัดการด้านอัตราค่าไฟฟ้า(Tariffication)* เนื่องจากไฟฟ้าเป็นกิจการสาธารณูปโภค การดำเนินการพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าจึงอยู่ในการกำกับดูแลของรัฐบาล ซึ่งจะต้องผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติและคณะรัฐมนตรีในที่สุดโดยจะมีคณะทำงานจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้ง กฟผ. เป็นกรรมการด้วย ดังนั้นการปรับอัตราค่าไฟฟ้าจึงต้องอยู่ภายใต้การพิจารณาของคณะกรรมการกำกับสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้า

ปัจจุบันไฟฟ้าได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินชีวิตทั้งนี้เนื่องจากจำนวนพลเมืองที่เพิ่มขึ้นและการประกอบกิจการต่าง ๆ ก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ

ไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งที่จะต้องมีอยู่ตลอดเวลา ถ้าหากว่าไฟฟ้ามีไม่พอเพียง จะก่อให้เกิดความเดือดร้อนทั่วไป ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนพัฒนาระบบไฟฟ้าไว้ล่วงหน้า เนื่องจากการพัฒนาระบบไฟฟ้า จะมีผลโดยตรงต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม อันจะนำมาซึ่งการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้ายิ่งขึ้น กล่าวคือการที่ภาคเอกชนและภาครัฐบาลได้รับไฟฟ้าอย่างทั่วถึงจะส่งผลให้สามารถประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องใช้พลังงานจากไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ความต้องการของตลาดเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวางแผนการลงทุนของกิจการทุกประเภท การประมาณความต้องการในอนาคตมีความสำคัญต่อการวางแผนการลงทุนในอนาคตเช่นกัน เนื่องจากการลงทุนทางด้านสาธารณูปโภคด้านพลังงานไฟฟ้า เป็นการลงทุนสูงแต่ได้ค่าตอบแทนต่ำ และต้องวางแผนในระยะยาว นอกจากนี้การจัดหาแหล่งผลิตพลังงานยังต้องใช้ระยะเวลานาน (โรงไฟฟ้าพลังความร้อน เช่น โรงไฟฟ้าบางปะกง โรงไฟฟ้าพระนครใต้ ใช้เวลาประมาณ 5 ปี โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เช่น เขื่อนภูมิพล เขื่อนศรีนครินทร์ ใช้เวลาประมาณ 10 ปี)

รัฐบาลจึงตั้งคณะกรรมการขึ้นมาชุดหนึ่งประกอบด้วยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติ กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และอื่น ๆ ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพลังงานของประเทศไทยโดยตรงพิจารณาวางแผนประมาณความต้องการไฟฟ้าในอนาคต

จากนั้นจึงเป็นหน้าที่ของ กฟผ. ที่จะต้องจัดหาแหล่งพลังงานมาบริการให้พอกับความต้องการไฟฟ้าในส่วนที่ กฟผ. เกี่ยวข้อง สำหรับทางด้านเทคนิคเกี่ยวกับความต้องการไฟฟ้านั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พลังไฟฟ้า (มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์) และพลังงานไฟฟ้า (มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง)

1 กิโลวัตต์	=	1,000	วัตต์			
	= ไฟฟ้า	100	วัตต์	จำนวน	10	ดวง
หรือ	= ไฟฟ้า	1,000	วัตต์	จำนวน	1	ดวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
038459

ตัวอย่างที่ 1

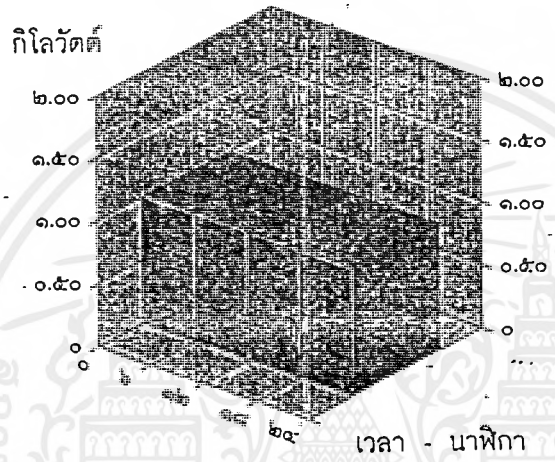
สมมุติว่าเราใช้ไฟฟ้าสูงสุด 1 กิโลวัตต์ ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

ความต้องการไฟฟ้า = 1 กิโลวัตต์

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า = 1 กิโลวัตต์ X 24 ชั่วโมง

รวม = 24 กิโลวัตต์ชั่วโมง

กราฟหมายเลข ๑



ตัวอย่างที่ 2

ใช้ไฟฟ้าสูงสุด 1 กิโลวัตต์ ตลอดเวลา 12 ชั่วโมง

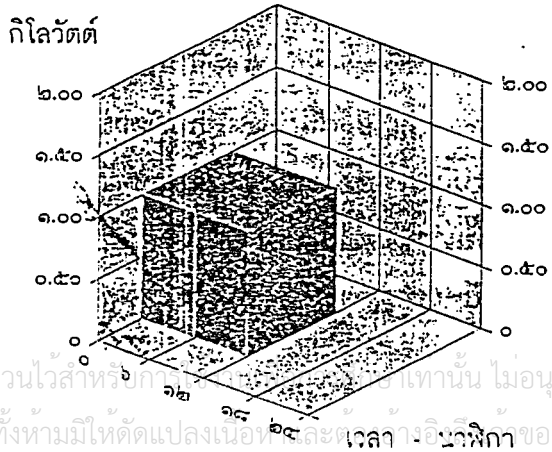
ความต้องการไฟฟ้า = 1 กิโลวัตต์

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า = 1 กิโลวัตต์ X 12 ชั่วโมง

รวม = 12 กิโลวัตต์ชั่วโมง

กราฟหมายเลข ๒ ก.

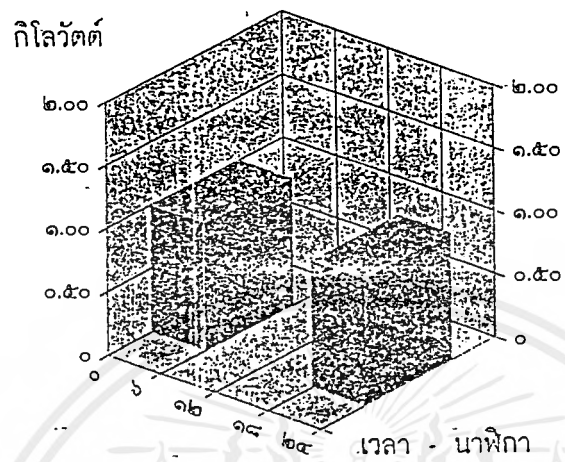
(ใช้ติดต่อกัน ๑๒ ชั่วโมง) ๐.๐๐ - ๑๒.๐๐ น.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟหมายเลข ๒ ข.

(ใช้เวลาต่างกัน) ๐.๐๐ - ๐๖.๐๐ น. และ ๑๘.๐๐ - ๒๔.๐๐ น.



ตัวอย่างที่ 3

การหาความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา 00.00-06.00 น.

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า = 0.25 กิโลวัตต์ X 6 ชั่วโมง

= 1.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง

เวลา 06.00-12.00 น.

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า = 0.5 กิโลวัตต์ X 6 ชั่วโมง

= 3.0 กิโลวัตต์ชั่วโมง

เวลา 12.00-18.00 น.

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า = 1.0 กิโลวัตต์ X 6 ชั่วโมง

= 6.0 กิโลวัตต์ชั่วโมง

เวลา 18.00-24.00 น.

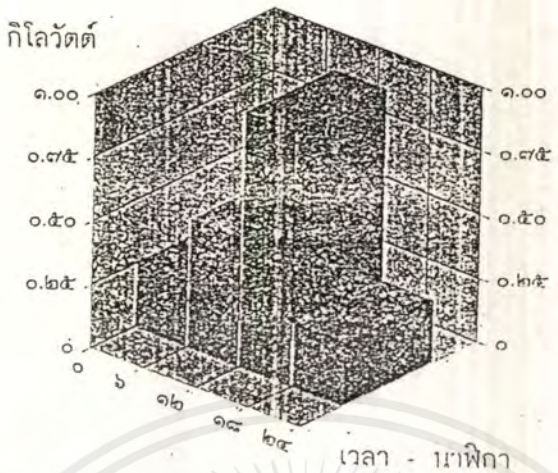
ความต้องการพลังงานไฟฟ้า = 0.25 กิโลวัตต์ X 6 ชั่วโมง

= 1.5 กิโลวัตต์ชั่วโมง

รวมความต้องการพลังงานไฟฟ้า = 12.0 กิโลวัตต์ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟหมายเลข ๓



จากตัวอย่างทั้งสามดังกล่าว ตัวอย่างที่ 1 จะเห็นได้ว่า ถ้ามีความต้องการใช้ไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ ตลอด 24 ชั่วโมง กฟผ. จะต้องหาเครื่องผลิตไฟฟ้าที่อย่างน้อยสามารถผลิตได้ 1 กิโลวัตต์ และสามารถเดินเครื่องอย่างสม่ำเสมอตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ได้ 1 กิโลวัตต์ X 24 ชั่วโมง = 24 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือเรียกกันว่า 24 หน่วย ส่วนตัวอย่างที่ 2 ซึ่งมีความต้องการ 1 กิโลวัตต์สูงสุด ครั้งละ 12 ชั่วโมงเช่น กราฟหมายเลข 2ก. หรือครั้งละ 6 ชั่วโมง 2 ครั้งต่อวันหรือมีความต้องการสูงสุดแต่ละเวลาไม่เท่ากัน (แต่ไม่เกิน 1 กิโลวัตต์) ความต้องการพลังงานเท่ากับ 12 กิโลวัตต์ชั่วโมง

อย่างไรก็ตาม ความต้องการไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาภายใน 24 ชั่วโมงไม่เท่ากัน (คล้ายกับตัวอย่างที่ 3) และที่ไม่เท่ากันนั้นขึ้นอยู่กับ ภูมิอากาศ เช่น อากาศร้อนก็มีการใช้เครื่องปรับอากาศ พัดลมมากขึ้นหรือในตอนมือก็มีการใช้ไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างมากกว่าในตอนกลางวัน นอกจากนั้นยังมีโรงงานอุตสาหกรรม ร้านค้า สถานที่ทำงาน ล้วนแล้วแต่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งพลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ไม่เท่ากัน แต่ กฟผ. มีหน้าที่ที่จะต้องให้บริการอย่างเพียงพอตลอดเวลา

สำหรับประวัติการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์) และพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แต่ละปี รวมทั้งการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคมและประชากรของประเทศ จะนำมาใช้เป็นหลักในการประมาณความต้องการไฟฟ้าที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคตเป็นปี ๆ ไป และกฟผ. จะต้องหาแหล่งผลิตไฟฟ้า ระบบส่ง ตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ มาให้บริการอย่างเพียงพอ ในระยะ 5 ปีต่อจากนี้ กฟผ.จะต้องหาเครื่องผลิตไฟฟ้ามาบริการเพิ่มขึ้นปีละประมาณ 1,000,000 กิโลวัตต์ และต้องผลิตพลังงานเพิ่มขึ้นปีละ 6,588 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคตโดย "คณะกรรมการพิจารณากำหนดนโยบายพัฒนาไฟฟ้า" เท่าที่ผ่านมาอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก นอกจากในบางปีที่โลกมีความผันผวนทางเศรษฐกิจมีผลกระทบกระเทือนถึงประเทศไทย ทำให้ประมาณการคลาดเคลื่อนไป เช่น ในปี 2516-2517 เกิดวิกฤติการณ์ขาดแคลน น้ำมันเชื้อเพลิง และรัฐบาลได้ใช้มาตรการประหยัดพลังงาน ทำให้ประมาณการพลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.93 และร้อยละ 18.50 เหลือเพียงร้อยละ 4.75 และร้อยละ 5.61 ตามลำดับ ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า

สำหรับความต้องการไฟฟ้าที่เป็นจริงในระบบของ กฟผ. ในกราฟหมายเลข 4 กฟผ.จะใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าประเภทใดมาผลิตไฟฟ้าให้พอกับความต้องการ ถ้ามองแบบง่าย ๆ อาจจะถามว่าทำไมไม่เอาเครื่องขนาด 10,000,000 กิโลวัตต์ 1 เครื่องมาติดตั้ง และผลิตไฟฟ้าให้บริการก็ใช้ได้แล้ว แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถจะทำได้เนื่องจาก

ก.ยังไม่เคยมีโรงงานที่ไหนในโลกผลิตเครื่องไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีกำลังผลิตถึง 10,000,000 กิโลวัตต์

ข.ถ้าหากมี ก็จำเป็นที่จะต้องซื้อเครื่องที่ 2 ขนาดเท่ากันมากสำรองเอาไว้หากต้องหยุดเครื่องที่ 1 เพื่อการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา ซึ่งจะเป็นการลงทุนที่ไม่ประหยัด และจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องเสียค่าไฟฟ้าแพงที่สุดในโลก

ถ้าทำอย่างที่กล่าวมาแล้วไม่ได้ ก็ต้องใช้หลักวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ มาประสมประสานกัน หาวิธีการที่ดีที่สุดมาใช้เป็นหลักในทางวิธีการและแนวทางปฏิบัติ เพื่อให้เกิดผลดังนี้

1. ลงทุนอย่างประหยัดที่สุดและให้มีผลตอบแทนมากที่สุด
2. มีผลกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
3. ให้บริการแก่ลูกค้าดีที่สุดในอัตราค่าบริการที่เป็นธรรม

ด้วยหลักการดังกล่าวข้างต้น จึงต้องพิจารณาแหล่งผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภทซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมแตกต่างกันไป มาใช้ผลิตไฟฟ้าให้บริการแต่ละเวลาอย่างประหยัดและเหมาะสม

กราฟหมายเลข 4

การผลิตไฟฟ้าในวันสูงสุดของกฟผ.

(วันที่ 31 กันยายน 2537)

ผลิตไฟฟ้าสูงสุด 10,708.80 เมกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคตโดย "คณะกรรมการพิจารณากำหนดนโยบายพัฒนาไฟฟ้า" เท่าที่ผ่านมาอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก นอกจากในบางปีที่โลกมีความผันผวนทางเศรษฐกิจมีผลกระทบกระเทือนถึงประเทศไทย ทำให้ประมาณการคลาดเคลื่อนไป เช่น ในปี 2516-2517 เกิดวิกฤติการณ์ขาดแคลน น้ำมันเชื้อเพลิง และรัฐบาลได้ใช้มาตรการประหยัดพลังงาน ทำให้ประมาณการพลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.93 และร้อยละ 18.50 เหลือเพียงร้อยละ 4.75 และร้อยละ 5.61 ตามลำดับ ซึ่งเป็นเรื่องที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า

สำหรับความต้องการไฟฟ้าที่เป็นจริงในระบบของ กฟผ. ในกราฟหมายเลข 4 กฟผ.จะใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าประเภทใดมาผลิตไฟฟ้าให้พอกับความต้องการ ถ้ามองแบบง่าย ๆ อาจจะถามว่าทำไมไม่เอาเครื่องขนาด 10,000,000 กิโลวัตต์ 1 เครื่องมาติดตั้ง และผลิตไฟฟ้าให้บริการก็ใช้ได้แล้ว แต่ในความเป็นจริงไม่สามารถจะทำได้เนื่องจาก

ก.ยังไม่เคยมีโรงงานที่ไหนในโลกผลิตเครื่องไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มีกำลังผลิตถึง 10,000,000 กิโลวัตต์

ข.ถ้าหากมี ก็จำเป็นที่จะต้องซื้อเครื่องที่ 2 ขนาดเท่ากันมากสำรองเอาไว้หากต้องหยุดเครื่องที่ 1 เพื่อการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษา ซึ่งจะเป็นการลงทุนที่ไม่ประหยัด และจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องเสียค่าไฟฟ้าแพงที่สุดในโลก

ถ้าทำอย่างที่กล่าวมาแล้วไม่ได้ ก็ต้องใช้หลักวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ มาประสมประสานกัน หาวิธีการที่ดีที่สุดมาใช้เป็นหลักในทางวิธีการและแนวทางปฏิบัติ เพื่อให้เกิดผลดังนี้

1. ลงทุนอย่างประหยัดที่สุดและให้มีผลตอบแทนมากที่สุด
2. มีผลกระทบกระเทือนต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
3. ให้บริการแก่ลูกค้าดีที่สุดในอัตราค่าบริการที่เป็นธรรม

ด้วยหลักการดังกล่าวข้างต้น จึงต้องพิจารณาแหล่งผลิตไฟฟ้าแต่ละประเภทซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมแตกต่างกันไป มาใช้ผลิตไฟฟ้าให้บริการแต่ละเวลาอย่างประหยัดและเหมาะสม

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการผลิตไฟฟ้าในวันสูงสุด

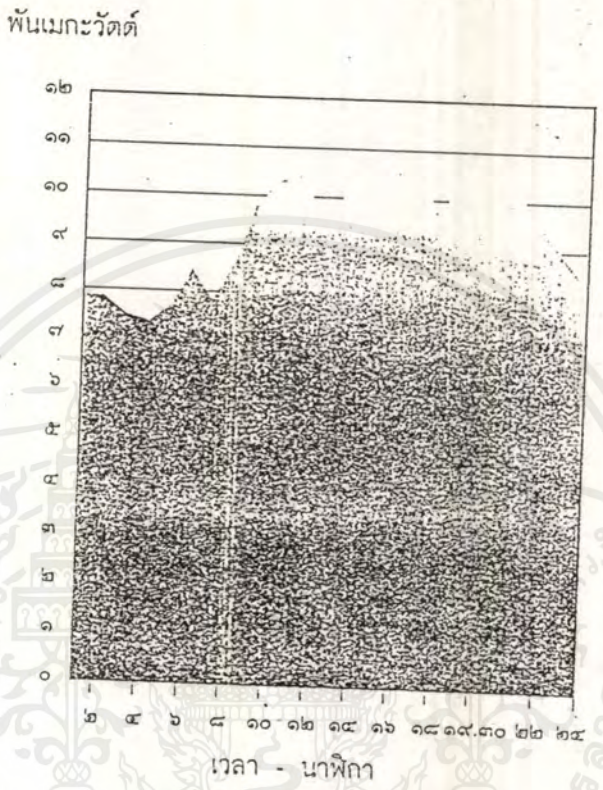
การผลิตไฟฟ้าในวันสูงสุดของกฟผ.

(วันที่ 31 กันยายน 2537)

ผลิตไฟฟ้าสูงสุด 10,708.80 เมกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น	223.06	ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง
โหลดแฟคเตอร์ ร้อยละ	86.79	



ระบบไฟฟ้าในประเทศไทย

ไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ มีทั้งระบบ 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ซึ่งใช้ในบ้านอยู่อาศัยและระบบ 3 เฟส แรงดัน 380 โวลต์ ใช้ในงานอุตสาหกรรม และแรงดันขนาด 11,22,33,69,115,230 และ 500 กิโลโวลต์ สำหรับการส่งจ่ายไฟฟ้าภายในประเทศ

ความถี่ 50 เฮิรตซ์ หมายความว่าใน 1 วินาที จะมีการหมุนครบรอบของขั้วแม่เหล็กเหนือและขั้วแม่เหล็กใต้ 50 ครั้งตัดผ่านขดลวดตัวนำบนสเตเตอร์ ในกรณีที่โรเตอร์มีขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้ว ความเร็วรอบของโรเตอร์จะหมุน 3,000 รอบต่อนาที แต่ถ้ามีขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว ความเร็วรอบจะลดลงเหลือ 1,500 รอบต่อนาที โดยมีความถี่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 กรรมวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้า

ไฟฟ้ามีความสำคัญมากต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศและการดำรงชีวิตของประชาชน ไฟฟ้าเป็นพลังงานแปรรูปที่สะอาดใช้ได้สะดวก สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานอื่น ๆ ได้ง่าย เช่น แสงสว่าง เสียง ความร้อน พลังงานกล ฯลฯ ทั้งยังสามารถส่งไปยังระยะทางไกลได้อย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ไฟฟ้ามีความเร็วใกล้เคียงกับแสง ระยะทาง 100 กิโลเมตร ใช้เวลาเพียง 1 ใน 3,000 วินาที ดังนั้นจึงส่งไปถึงผู้ใช้งานได้ตลอดเวลา

ไฟฟ้าไม่ใช่แหล่งพลังงาน แต่เป็นเพียงพลังงานรูปหนึ่งเท่านั้น แหล่งพลังงานไฟฟ้าที่แท้จริงก็คือ พลังที่นำมาใช้ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตลอดเวลา หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหยุดหมุน การผลิตไฟฟ้าจะหยุดไปด้วย

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันได้ใช้อยู่ คือ

1.ประเภทไม่ใช้เชื้อเพลิง

1.1โรงไฟฟ้าพลังน้ำ จากน้ำในอ่างเก็บน้ำหรือน้ำในลำห้วยที่อยู่ในระดับสูง ๆ

1.2โรงไฟฟ้าพลังงานธรรมชาติ จากต้นพลังงานที่ไม่หมดสิ้น เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น

2.ประเภทใช้เชื้อเพลิง

2.1โรงไฟฟ้าพลังความร้อน(พลังไอน้ำ) ใช้เชื้อเพลิงเช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านลิกไนต์ หรือน้ำมันเตา เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่น้ำเดือดกลายเป็นไอน้ำ นำแรงดันไอน้ำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า

2.2โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส เครื่องยนต์แก๊ส เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในส่งผ่านอากาศไปหมุนเครื่องกังหันแก๊สแล้วต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.3โรงไฟฟ้าระบบความร้อนร่วม เป็นโรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโรงไฟฟ้า 2 ระบบร่วมกัน คือ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ

2.4โรงไฟฟ้าดีเซล เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้น้ำมันดีเซลมาสันดาป

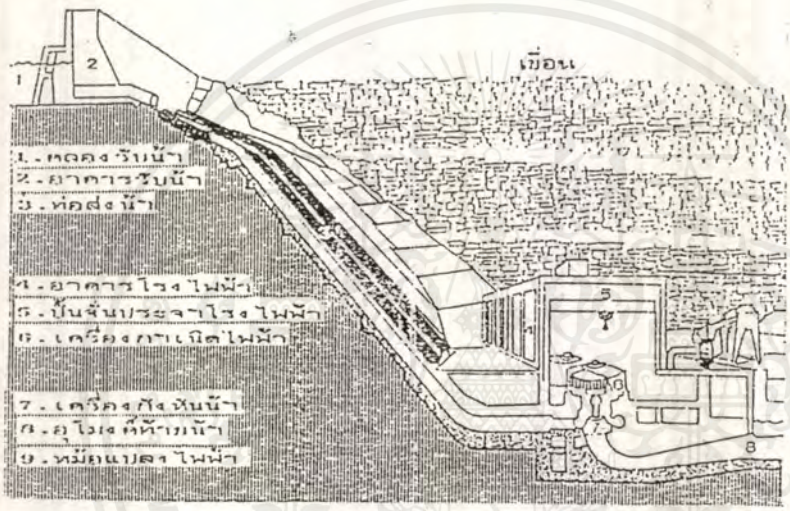
การทำงานของโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ

1)โรงไฟฟ้าพลังน้ำ

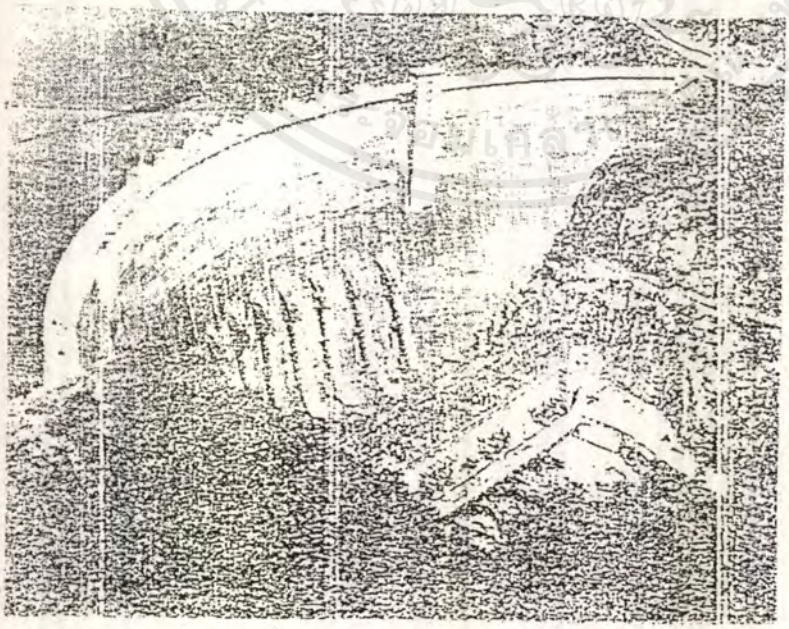
เป็นการนำทรัพยากรน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยน้ำที่มีความเร็วและแรงดันสูงมาหมุนกังหันน้ำ มีขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. น้ำในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งอยู่ในระดับสูงกว่าโรงไฟฟ้าทำให้มีแรงดันสูง
2. ปล่อยน้ำเข้ามาตามท่อส่งน้ำ มายังอาคารโรงไฟฟ้าที่อยู่ต่ำกว่า โดยควบคุมปริมาณได้ตามต้องการ
3. น้ำที่ส่งมาจะไหลเข้าเครื่องกังหันน้ำ ผลักดันใบพัดทำให้กังหันน้ำหมุน
4. เพลาของเครื่องกังหันน้ำต่อกับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้โรเตอร์หมุน เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบต่างๆของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ



รูป 2.3 โรงไฟฟ้าเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก

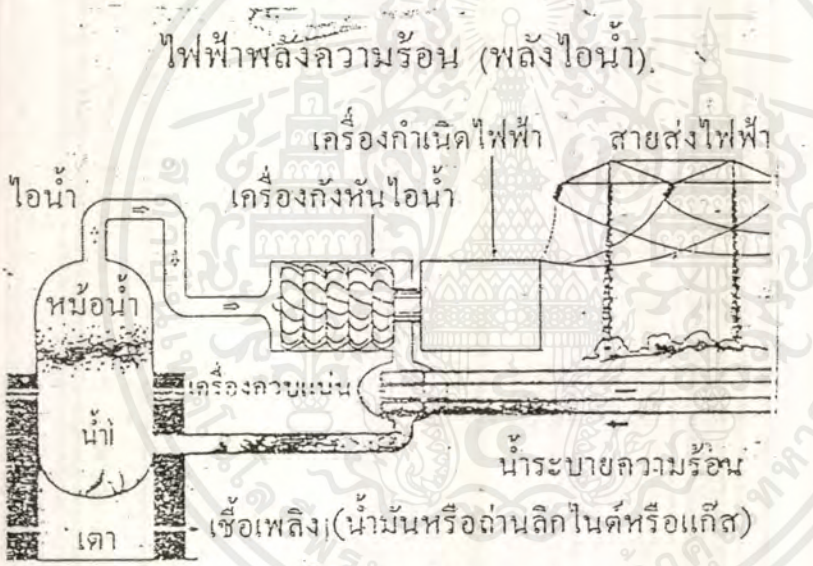
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2)โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ(พลังความร้อน)

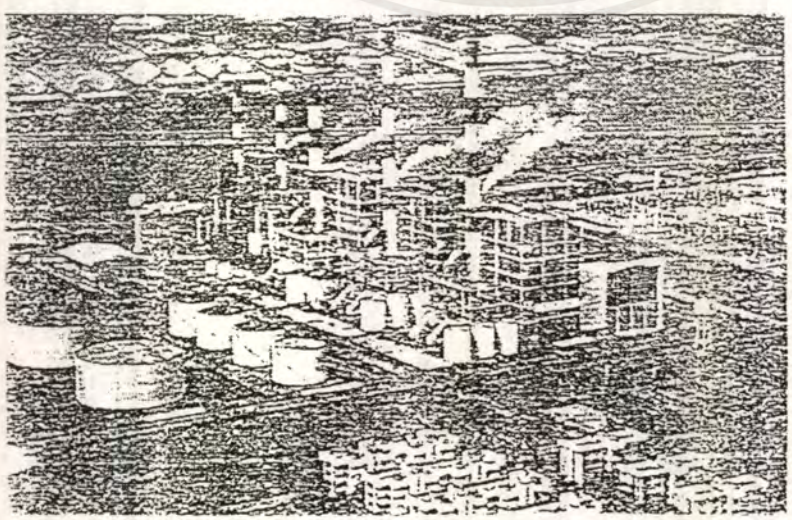
ไฟฟ้าพลังไอน้ำ เป็นการแปรสภาพพลังงานเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวกลาง เชื้อเพลิงที่ใช้ในประเทศไทยปัจจุบัน ได้แก่ น้ำมันเตา ถ่านลิกไนต์ และก๊าซธรรมชาติ มีลำดับการทำงานดังนี้

1. เผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้พลังงานความร้อน
2. นำความร้อนที่ได้ไปต้มน้ำ เพื่อให้กลายเป็นไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันที่ต้องการ
3. ส่งไอน้ำนี้ไปหมุนเครื่องกังหันไอน้ำ ซึ่งมีเพลาต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้โรเตอร์หมุนเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้พลังงานไฟฟ้าออกมาใช้งาน

สำหรับต่างประเทศ นอกจากเชื้อเพลิงที่ประเทศไทยใช้อยู่ยังมีการใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ถ่านหินชนิดคุณภาพดี เช่น แอนทราไซต์ และบิทูมินัส เป็นต้น



รูป 2.4 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากพลังไอน้ำ



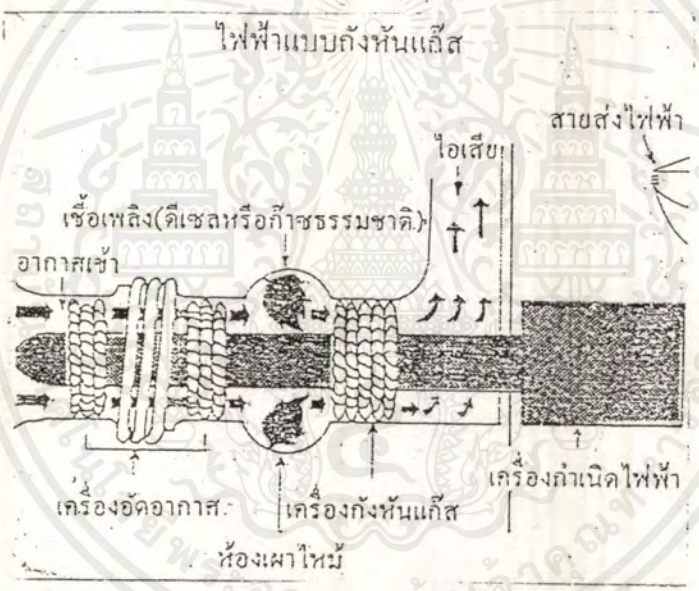
รูป 2.5 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนพระนครใต้ จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

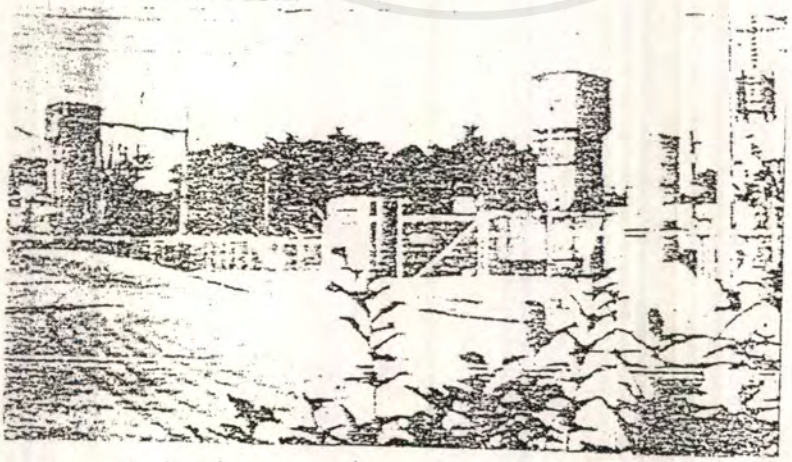
3)โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส

เครื่องกังหันแก๊ส เป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน เปลี่ยนสภาพพลังงานเชื้อเพลิงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

1. อัดอากาศให้มีความดันสูง 8-10 เท่า
2. ส่งอากาศนี้เข้าห้องเผาไหม้ โดยมีเชื้อเพลิงทำการเผาไหม้
3. อากาศในห้องเผาไหม้เกิดการขยายตัว ทำให้มีแรงดันและอุณหภูมิสูง
4. ส่งอากาศนี้ไปหมุนเครื่องกังหันแก๊ส
5. เพลาของเครื่องกังหันแก๊สจะต่อผ่านชุดเกียร์ เพื่อทดรอบก่อนต่อเข้ากับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อให้ความเร็วรอบของโรเตอร์หมุนอยู่ในพิกัดที่กำหนด เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน จึงเกิดการเหนี่ยวนำผลิตแรงดันและกระแสไฟฟ้าออกมาใช้งาน



รูป 2.6 กระบวนการผลิตไฟฟ้าแบบกังหันแก๊ส



รูป 2.7 โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

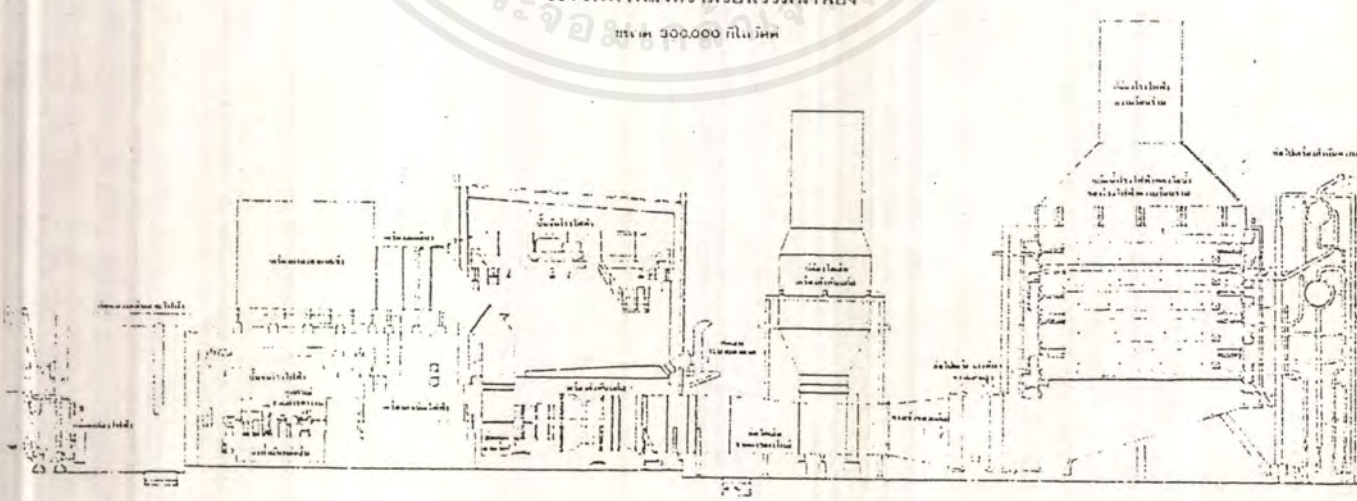
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4)โรงไฟฟ้าระบบความร้อนร่วม

โรงไฟฟ้าระบบความร้อนร่วม เป็นโรงไฟฟ้าที่ประกอบด้วยโรงไฟฟ้า 2 ระบบร่วมกัน คือ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ โดยนำความร้อนจากไอเสียที่ออกจากเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 550 องศาเซลเซียสมาใช้แทนเชื้อเพลิงในการต้มน้ำของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ เพื่อใช้ไอเสียให้เกิดประโยชน์ โดยมีหลักการดังนี้

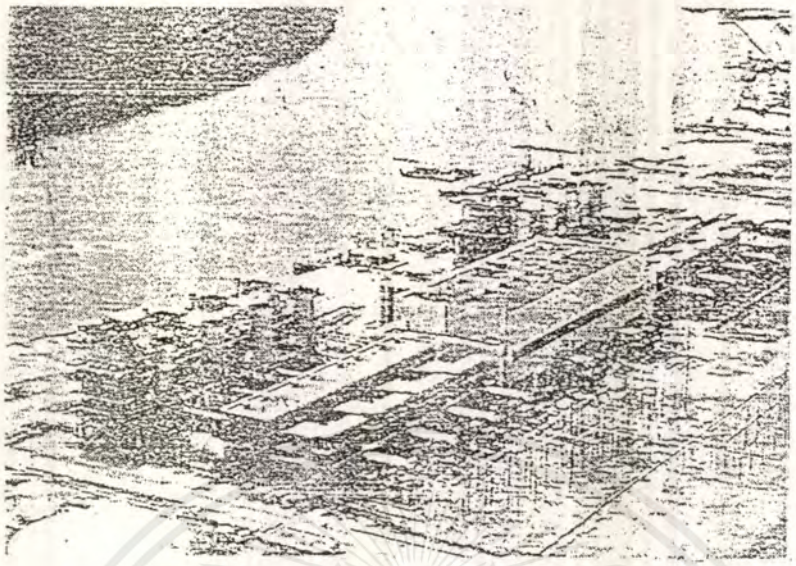
1. นำไอเสียจากเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สหลาย ๆ เครื่องมาใช้ต้มน้ำในโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ
2. ไอน้ำที่ได้จากการต้มน้ำจะไปดันเครื่องกังหันไอน้ำทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมุนผลิตไฟฟ้าออกมาได้เช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั่วไป
3. กำลังผลิตที่ได้จากโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำจะเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังผลิตรวมของเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สที่เดินเครื่องอยู่

การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าระบบความร้อนร่วมนี้จะทำการผลิตร่วมกัน หากเกิดเหตุขัดข้องที่โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำก็ยังคงสามารถเดินเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สได้ตามปกติ โดยการเปิดให้ไอเสียออกสู่อากาศโดยตรง แต่หากเกิดเหตุขัดข้องกับเครื่องกังหันแก๊สเครื่องใดเครื่องหนึ่ง กำลังผลิตที่ได้ก็จะลดลงตามส่วน และถ้าเครื่องผลิตไฟฟ้ากังหันแก๊สทุกตัวหยุดเดินเครื่องโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำที่ใช้ร่วมกันก็จะต้องหยุดเดินเครื่องด้วย



รูป 2.8 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมน้ำพอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.9 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมบางประกง จังหวัดฉะเชิงเทรา

5)โรงไฟฟ้าดีเซล

เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องยนต์ในรถยนต์ทั่วไป โดยอาศัยหลักการสันดาปของน้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดเข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ที่ถูกอัดอากาศจนมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเราเรียกว่าจังหวะอัด ใสขณะเดียวกัน น้ำมันดีเซลที่ถูกฉีดเข้าไป จะเกิดการสันดาปกับความร้อนและเกิดระเบิด จังหวะนี้เรียกว่าจังหวะระเบิด ดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปหมุนเพลาข้อเหวี่ยงซึ่งต่อกับเพลาของเครื่องยนต์ ทำให้เพลาของเครื่องยนต์หมุน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกับเพลาของเครื่องยนต์ก็จะหมุนตาม ทำให้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้

การผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันเป็นการผลิตร่วมกันของโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ เชื่อมโยงระบบส่งไฟฟ้าด้วยสายส่งไฟฟ้า โดยมีศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้า ควบคุมระบบการผลิตและส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ทำให้สามารถเสริมกำลังผลิตไฟฟ้าแก่กันได้

เนื่องจากโรงไฟฟ้าแต่ละประเภทมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำสามารถเดินเครื่องจ่ายไฟฟ้าได้รวดเร็ว มีต้นทุนการผลิตต่อหน่วยต่ำ เพราะไม่เสียค่าเชื้อเพลิงแต่ต้องใช้ประโยชน์จากน้ำในด้านอื่น ๆ อีก จึงมีข้อจำกัดในด้านปริมาณและเวลาที่ใช้ ส่วนเครื่องกังหันแก๊สสามารถเดินเครื่องจ่ายไฟฟ้าได้รวดเร็วแต่เสียค่าเชื้อเพลิงสูงมาก ทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง สำหรับโรงไฟฟ้าพลังความร้นนับแต่เริ่มเดินเครื่องจนกระทั่ง

ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจ่ายไฟฟ้าได้จะต้องใช้เวลาในการต้มน้ำนานหลายชั่วโมง และใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมากทำให้ค่าใช้จ่ายในกาผลิตต่อหน่วยสูง มีข้อดีก็คือสามารถสร้างให้มีกำลังผลิตสูง ๆ ได้

จากคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เมื่อวางแผนจัดการผลิตไฟฟ้าแบบต่าง ๆ อย่างมีระบบแล้วทำให้ต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่อหน่วยไม่สูงเกินไป โดยมีการวางแผนการผลิตเป็นรายปี รายเดือน และแผนฉุกเฉิน ทำให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับในอนาคตความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยยังคงเพิ่มขึ้นในปริมาณสูง เนื่องจากอุตสาหกรรมภายในประเทศกำลังเจริญก้าวหน้า ประกอบกับรัฐมีนโยบายที่แน่นอนในการขยายการพัฒนาไฟฟ้าไปสู่ชนบท ดังนั้น ความต้องการไฟฟ้าในอนาคตจะยังเพิ่มขึ้นอีกต่อไป

นอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนับว่ายิ่งมีราคาสูงขึ้นและมีระยะเวลาการใช้งานจำกัด เช่น ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ถ่านหิน เป็นต้น กฟผ. จึงเตรียมการศึกษาและวิจัยหาพลังงานอื่นๆ มาทดแทน เช่น ลม แสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพและอาจมีความจำเป็นต้องใช้นิวเคลียร์มาผลิตไฟฟ้าในอนาคตด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาด

3.1 การศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์

1.ความต้องการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันและอนาคต

ในช่วงเวลามากกว่า 100 ปี ที่เริ่มมีไฟฟ้าใช้ในประเทศ จนถึงปีสุดท้ายของแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 6(พ.ศ.2534) ความต้องการพลังไฟฟ้าของประเทศมีสูงสุด 8,045 เมกะวัตต์ แต่ในช่วง 5 ปี ของแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7 (พ.ศ.2535-2539)ความต้องการไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นเป็น 13,311 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2539 คือเพิ่มขึ้นอีก 5,266 เมกะวัตต์ หรือเพิ่มเฉลี่ยร้อยละ 10.6 ต่อปี

ตาราง 3.1 สถิติความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในปีงบประมาณ 2538

ประเภทลูกค้า	ปีงบประมาณ 2538 กิโลวัตต์	ปีงบประมาณ 2537 กิโลวัตต์	+เพิ่มขึ้น -ลดลง ร้อยละ
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	7,272,874	6,308,495	+15
การไฟฟ้านครหลวง	5,336,700	4,754,750	+12
ลูกค้าตรง	300,385	276,923	+10
การไฟฟ้าลาว	19,300	11,400	+69
ลูกค้าอื่นๆ	57,580	72,600	-21

การใช้พลังไฟฟ้ารวมเมื่อรวมเวลาเดียวกับที่มีการผลิตพลังไฟฟ้าสูงสุด เพิ่มขึ้นร้อยละ 13 จาก 10,000,053 กิโลวัตต์ ในปีงบประมาณ 2537 เป็น 11,303,407 กิโลวัตต์ ในปีงบประมาณ 2538

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

ปีงบประมาณ 2539 (ณ 30 กันยายน 2539) เป็นปีสุดท้ายของแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7 ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2539 คือ 13,311 เมกะวัตต์ และมีกำลังผลิตติดตั้งในระบบรวม 16,142 เมกะวัตต์

คณะอนุกรรมการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของประเทศ ได้พยากรณ์ไว้เมื่อเดือนเมษายน 2539 ว่าในช่วงเวลา 5 ปี ของแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2540-2544) ความต้องการพลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอีก 8,679 เมกะวัตต์ รวมเป็น 21,000 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ.2544 เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 1,736 เมกะวัตต์ หรือ เฉลี่ยร้อยละ 10.6 ต่อปี ในช่วง 5 ปี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 9 (พ.ศ.2545-2449) ความต้องการพลังงานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอีก 9,233 เมกะวัตต์ รวมเป็น 31,223 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ.2549 เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 1,847 เมกะวัตต์ หรือเฉลี่ยร้อยละ 7.3 ต่อปี และในช่วง 5 ปี ของแผนพัฒนาฯ ฉบับที่10 (พ.ศ. 2550-2554) ความต้องการพลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอีก 11,426 เมกะวัตต์ รวมเป็น 42,649 เมกะวัตต์ ในปี พ.ศ. 2554 เพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 2,285 หรือ เฉลี่ยร้อยละ 6.4 ต่อปี

ตาราง 3.2 **สถิติความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 1,2,3 และ 4**

ปี	เมกะวัตต์	% เพิ่ม	เมกะวัตต์
2505	113.1	-	-
2506	133.1	17.68	20.0
2507	178.1	33.81	45.0
2508	234.6	31.72	56.5
2509	317.7	35.42	83.1
2510	396.6	24.83	78.9
2511	520.7	31.29	124.1
2512	638.2	22.57	117.5
2513	748.4	17.27	110.2
2514	872.7	16.61	124.3
2515	1,028.8	17.89	156.1
2516	1,193.3	15.99	164.5
2517	1,256.0	5.25	62.7
2518	1,406.6	11.99	150.6
2519	1,652.1	17.45	245.5
2520	1,873.4	13.40	221.3
2521	2,100.6	12.13	227.2
2522	2,255.0	7.35	154.4
2523	2,417.4	7.20	162.4
2524	2,588.7	7.09	171.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเพิ่มเฉลี่ย

แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 1	29.46	51.2
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 2	22.40	111.0
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 3	13.61	155.9
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 4	9.40	187.3
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 1 ถึง 4	17.91	130.3

ตาราง 3.3 **สถิติความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 5,6 และ 7**

ปี	เมกะวัตต์	% เพิ่ม	เมกะวัตต์
2525	2,838.0	9.63	249.3
2526	3,204.3	12.91	366.3
2527	3,547.3	10.70	343.0
2528	3,878.4	9.33	331.1
2529	4,180.9	7.80	302.5
2530	4,733.9	13.23	553.0
2531	5,444.0	15.00	710.1
2532	6,232.7	14.49	788.7
2533	7,093.7	13.81	861.0
2534	8,045.0	13.41	951.3
2535	8,876.9	10.34	834.9
2536	9,730.0	9.61	853.1
2537	10,708.8	10.06	978.8
2538	12,267.9	14.56	1,559.1
2539	13,310.9	8.50	1,043.0

อัตราเพิ่มเฉลี่ย

แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 5	10.06	318.4
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 6	10.06	318.0
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7	10.60	1,053.0

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 5 ถึง 7	11053		714.8

ตาราง 3.4 สถิติความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8,9 และ 10

ปี	เมกะวัตต์	% เพิ่ม	เมกะวัตต์
2540	15,310.0	15.02	1,999.1
2541	16,849.0	10.05	1,539.0
2542	18,448.0	9.49	1,599.0
2543	20,148.0	9.22	1,700.0
2544	21,990.0	9.14	1,842.0
2545	23,745.0	7.89	1,755.0
2546	25,506.0	7.42	1,761.0
2547	27,330.6	7.15	1,824.0
2548	29,234.0	6.97	1,904.0
2549	31,223.0	6.80	1,989.0
2550	33,350.0	6.81	2,127.0
2551	35,533.0	6.55	2,183.0
2552	37,794.0	6.36	2,261.0
2553	40,172.0	6.29	2,378.0
2554	42,649.0	6.17	2,477.0

<u>อัตราการเพิ่มเฉลี่ย</u>

แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8	10.56	1,735.8
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 9	7.26	1,846.6
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 10	6.44	2,285.2
แผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 ถึง 10	8.07	1,955.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.กำลังการผลิตติดตั้ง

กำลังผลิตติดตั้งจนถึงวันที่ 30 กันยายน 2539 รวมทั้งสิ้น 15,725.29 เมกะวัตต์ ประกอบด้วย

-โรงไฟฟ้าพลังน้ำ	2,861.06	เมกะวัตต์	(18.19%)
-โรงไฟฟ้าความร้อน	6,517.50	เมกะวัตต์	(41.45%)
-โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม	3,311.60	เมกะวัตต์	(21.06%)
-โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส,ดีเซลและอื่นๆ	889.13	เมกะวัตต์	(5.66%)
-บริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด(มหาชน)	2,146.00	เมกะวัตต์	(13.64%)

ส่วนในปีงบประมาณ 2538 มีกำลังผลิตติดตั้งทั้งระบบรวม 14,671,848 กิโลวัตต์ เป็นกำลังผลิตของ กฟผ. 13,427,148 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 92 ของกำลังผลิตติดตั้งทั้งระบบ รับจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมระยองของบริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด (มหาชน) และโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนศิริธาร ของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน 1,244,700 กิโลวัตต์หรือร้อยละ 8

กำลังผลิตติดตั้งของ กฟผ. แบ่งเป็นประเภทโรงไฟฟ้าพลังความร้อน 6,701,500 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 50 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ 2,690,064 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 23 โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส 928,000 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 7 ที่เหลือเป็นประเภทโรงไฟฟ้าดีเซลและโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน 13,984 กิโลวัตต์

ตาราง 3.5 กำลังผลิตติดตั้งเมื่อสิ้นสุดปีงบประมาณ 2538

ประเภทโรงไฟฟ้า	ปีงบประมาณ 2538 กิโลวัตต์	ร้อยละ	ปีงบประมาณ 2537 กิโลวัตต์	ร้อยละ	+ เพิ่มขึ้น - ลดลง ร้อยละ
พลังงานความร้อน	6,701,500	49.91	6,101,500	47.09	+10
พลังงานความร้อนร่วม	3,093,600*	23.04	4,099,600	31.64	-25
พลังงานน้ำ	2,690,064*	20.04	2,531,064*	19.54	+6
กังหันแก๊ส	928,000	6.91	210,000	1.62	+342
ดีเซล	13,600	0.10	13,600	0.11	-
พลังงานทดแทน	384	-	384	-	-
รวมทั้งสิ้น	13,427,148	100.00	12,956,148	100.00	+4

หมายเหตุ *ไม่รวมกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังน้ำศิริธาร 12,700 กิโลวัตต์ และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมระยอง 1,232,000 กิโลวัตต์

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.6 กำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าแต่ละแห่ง ณ วันที่ 30 กันยายน 2538

ชื่อ	ที่ตั้ง (จังหวัด)	กำลังการผลิตติดตั้ง (กิโลวัตต์)
โรงไฟฟ้าพลังน้ำ		
1. เขื่อนศรีนครินทร์	กาญจนบุรี	720,000
2. เขื่อนภูมิพล	ตาก	547,600
3. เขื่อนสิริกิติ์	อุตรดิตถ์	500,000
4. เขื่อนเขาแหลม	กาญจนบุรี	300,000
5. เขื่อนรัชชประภา	สุราษฎร์ธานี	240,000
6. เขื่อนปากมูล	อุบลราชธานี	136,000
7. เขื่อนบางลาง	ยะลา	72,000
8. เขื่อนจุฬาภรณ์	ชัยภูมิ	40,000
9. เขื่อนท่าทุ่งนา	กาญจนบุรี	38,000
10.เขื่อนสิรินธร	อุบลราชธานี	36,000
11.เขื่อนอุบลรัตน์	ขอนแก่น	25,200
12.เขื่อนแก่งกระจาน	เพชรบุรี	17,500
13.เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล	เชียงใหม่	9,000
14.เขื่อนน้ำพุง	สกลนคร	6,000
15.บ้านสันติ	ยะลา	1,275
16.เขื่อนห้วยกุ่ม	ชัยภูมิ	1,060
17.บ้านขุนกลาง	เชียงใหม่	180
18.บ้านยาง	เชียงใหม่	125
19.ห้วยกุยมั่ง	กาญจนบุรี	100
20.คลองช่องกล่ำ	สระแก้ว	25
รวม		2,690,064

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน

1. แม่เมาะ	ลำปาง	2,625,000
2. บางประกง	ฉะเชิงเทรา	2,300,000
3. พระนครใต้	สมุทรปราการ	1,330,000
4. พระนครเหนือ	นนทบุรี	237,500
5. ขนอม	นครศรีธรรมราช	150,000
6. กระบี่	กระบี่	34,000
7. สุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี	25,000
รวม		6,701,500

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

1. บางประกง	ฉะเชิงเทรา	1,324,600
2. น้ำพอง	ขอนแก่น	710,000
3. ขนอม	นครศรีธรรมราช	674,000
4. พระนครใต้	สมุทรปราการ	335,000
รวม		3,093,600

โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส

1. หนองจอก	กรุงเทพ	488,000
2. ไทรน้อย	นนทบุรี	244,000
3. ลานกระบือ	กำแพงเพชร	140,000
4. หาดใหญ่	สงขลา	42,000
5. สุราษฎร์ธานี	สุราษฎร์ธานี	14,000
รวม		928,000

โรงไฟฟ้าดีเซล

1. ภูเก็ต	ภูเก็ต	10,600
2. แม่ฮ่องสอน	แม่ฮ่องสอน	3,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวม		13,600
โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน		
1.พลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง	เชียงใหม่	300
2.กังหันลมแหลมพรหมเทพ	ภูเก็ต	42
3.พลังงานแสงอาทิตย์		
-คลองช่องกล่ำ	สระแก้ว	20
-แหลมพรหมเทพ	ภูเก็ต	8
-สันกำแพง	เชียงใหม่	14
รวม		384
รวมกำลังการผลิตทั้งสิ้น		13,427,148

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

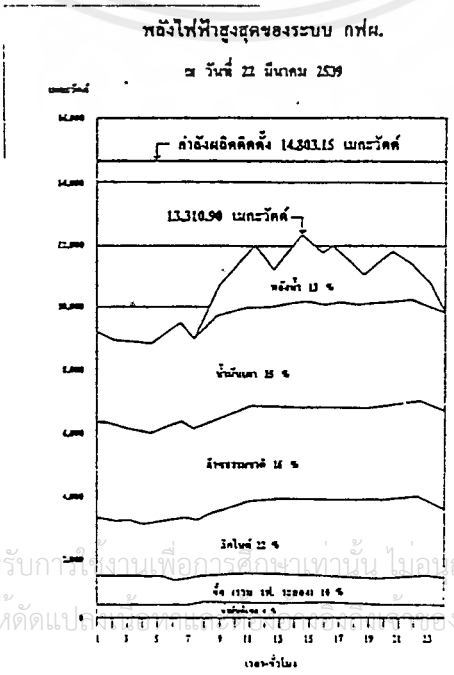
3.การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้งาน

การผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบในปีงบประมาณ 2539 (ณ. 30 กันยายน 2539) เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 22 มีนาคม 2539 คือ 13,311.90 เมกะวัตต์ซึ่งจะผลิตพลังไฟฟ้าแยกตามเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตดังแผนภาพต่อไปนี้

รูปที่ 3.1 กราฟแสดงพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ.

พลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ กฟผ.

ณ วันที่ 22 มีนาคม 2539



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในปีงบประมาณ 2538 มีการผลิตและการซื้อพลังงานไฟฟ้า มียอดรวม 78,880.37 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปีงบประมาณ 2537 จำนวน 9,229.24 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมงหรือร้อยละ 13 โดยเป็นการผลิตจากก๊าซธรรมชาติร้อยละ 34 จากน้ำมันเตาร้อยละ 18 จากพลังน้ำร้อยละ 8 และเป็นการผลิตจากน้ำมันดีเซลรวมกับพลังงานทดแทนร้อยละ 8 ส่วนที่เหลือร้อยละ 10 เป็นการรับซื้อจากแหล่งผลิตภายในและภายนอกประเทศโดยในจำนวนนี้กว่าร้อยละ 90 ของการซื้อพลังงานไฟฟ้าเป็นการซื้อจากบริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด(มหาชน) ที่ กฟผ. รับซื้อพลังงานไฟฟ้าเป็นปีแรก

ตาราง 3.7 การผลิตพลังไฟฟ้าสูงสุดแยกตามชนิดของโรงไฟฟ้า ในปีงบประมาณ 2538

แหล่งผลิต	ปีงบประมาณ 2538 (26 พฤษภาคม 2538) กิโลวัตต์	ร้อยละ	ปีงบประมาณ 2537 (23 กันยายน 2537) กิโลวัตต์	ร้อยละ	+เพิ่มขึ้น -ลดลง ร้อยละ
พลังความร้อน	6,236,000	50.33	5,194,700	48.51	+20
ความร้อนร่วม	2,761,300	22.51	3,398,400	31.73	-19
พลังน้ำ	2,043,200	16.656	1,808,500	16.89	+13
กังหันแก๊ส	242,000	1.97	149,700	1.40	+62
ซื้อ	985,400	8.03	157,500	1.47	+526
รวมทั้งสิ้น	12,267,900	100.00	10,708,800	100.00	+15

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

ตาราง 3.8 การผลิตพลังงานไฟฟ้าแยกตามชนิดของเชื้อเพลิง ในปีงบประมาณ 2538

ผลิตจาก	ปีงบประมาณ 2538 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง	ร้อยละ	ปีงบประมาณ 2537 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง	ร้อยละ	+เพิ่มขึ้น -ลดลง ร้อยละ
ก๊าซธรรมชาติ	26,634.80	33.77	30,391.31	43.63	-12
น้ำมันเตา	21,366.98	27.09	19,290.21	27.70	+11
ลิกไนต์	14,046.30	17.81	14,064.63	20.19	-3
ซื้อ	7,712.87	9.78	844.89	1.21	+813
น้ำมันดีเซล	2,433.80	3.08	1,627.72	2.34	+50
พลังงานทดแทน	1.04	-	0.89	-	+6
รวมทั้งสิ้น	**78,880.37**	**100.00**	**69,651.13**	**100.00**	**+13**

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 การใช้เชื้อเพลิงและการดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ

ในปีงบประมาณ 2538 การผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ของกฟผ.ยังคงใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก โดยใช้จากทุกแหล่งรวมกัน 308,381 ล้านลูกบาศก์ฟุต หรือใช้เฉลี่ยวันละ 845 ล้านลูกบาศก์ฟุต เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาร้อยละ 8 เป็นการใช้กับโรงไฟฟ้าของกฟผ. 246,431 ล้านลูกบาศก์ฟุต ส่วนที่เหลืออีก 61,950 ล้านลูกบาศก์ฟุต ใช้กับโรงไฟฟ้าระยอง ของบริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด(มหาชน)

เชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน ในปีที่ผ่านมามีการใช้น้ำมันเตารวม 5,169 ล้านลิตร เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 10 ใช้น้ำมันดีเซล 671 ล้านลิตร เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 36 และถ่านหินลิกไนต์ในปีนี้มีการใช้ 12.79 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 4

สำหรับค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในปีงบประมาณนี้มีค่าใช้จ่ายรวมกัน 41,935 ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากปีก่อนร้อยละ 9 โดยร้อยละ 42 เป็นค่าน้ำมันเตา ร้อยละ 37 เป็นค่าก๊าซธรรมชาติ ร้อยละ 11 เป็นค่าถ่านลิกไนต์ และอีกร้อยละ 10 เป็นค่าน้ำมันดีเซล

ตาราง 3.9 การใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้า

ชนิดเชื้อเพลิง		ปีงบประมาณ 2538	ปีงบประมาณ 2537	+เพิ่มขึ้น -ลดลง ร้อยละ
ก๊าซธรรมชาติ	(ล้าน ลบ.ฟุต)	*308,381.00	284,586.81	+8
น้ำมันเตา	(ล้านลิตร)	5,169.11	4,710.71	+10
ลิกไนต์	(ตัน)	12,791,477.51	12,288,155.84	+4
น้ำมันดีเซล	(ล้านลิตร)	670.80	484.69	+36

หมายเหตุ *ใช้ผลิตในส่วนของ กฟผ. 246,430.55 ล้าน ลบ.ฟุต

ใช้ผลิตในส่วนของบริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด(มหาชน) 61,950.45 ล้าน ลบ.ฟุต

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

ตาราง 3.10 ค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

ชนิดเชื้อเพลิง	ปีงบประมาณ 2538 ล้านบาท	ร้อยละ	ปีงบประมาณ 2537 ล้านบาท	ร้อยละ	+เพิ่มขึ้น -ลดลง ร้อยละ
ก๊าซธรรมชาติ	15,373.03	36.66	17,492.05	45.46	-12
น้ำมันเตา	17,480.50	41.69	13,059.72	33.94	+34
ลิกไนต์	4,579.57	10.92	4,474.05	11.63	+2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันดิเซล	5,501.56	10.73	3,453.82	8.97	+30
รวมทั้งสิ้น	41,934.66	100.00	38,479.64	100.00	+9

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

การดำเนินงานเหมืองลิกไนต์

ถ่านลิกไนต์ ทรัพยากรธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่ กฟผ. ได้นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะเครื่องที่ 1-13 กำลังผลิตรวม 2,625,000 กิโลวัตต์ และโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่เครื่องที่ 1 และ 3 กำลังผลิตรวม 34,000 กิโลวัตต์ ปัจจุบันมีการใช้ลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 18 ของปริมาณไฟฟ้าที่ กฟผ. ผลิตได้ทั้งหมด ผลการดำเนินงานของเหมืองลิกไนต์ทั้ง 2 แห่ง ในรอบปีงบประมาณ 2538 มีดังนี้

เหมืองแม่เมาะได้ทำการเปิดหน้าดินจำนวน 94.24 ล้านลูกบาศก์เมตร ผลิตถ่านลิกไนต์ส่งโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะทั้ง 13 เครื่องรวมปริมาณ 12.53 ล้านตัน ปัจจุบันกำลังดำเนินการติดตั้งระบบสายพานลำเลียงถ่านชุดที่ 4 เพื่ออำนวยความสะดวกในการขนส่งถ่านให้แก่โรงไฟฟ้าซึ่งคาดว่าจะติดตั้งแล้วเสร็จประมาณเดือนมีนาคม 2539

เหมืองกระบี่ ได้ดำเนินการเปิดหน้าดินจำนวน 0.12 ล้านลูกบาศก์เมตร ผลิตถ่านลิกไนต์ส่งให้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่ จำนวน 2 เครื่อง รวมปริมาณ 0.26 ล้านตัน ปีนี้เป็นปีสุดท้ายที่เหมืองกระบี่จะเปิดทำการ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนกระบี่หมดอายุการใช้งานประกอบกับปริมาณสำรองถ่านในแอ่งนี้ก็ใกล้หมดลงเช่นกัน รวมปริมาณถ่านลิกไนต์ที่ส่งให้แก่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนกระบี่ ตั้งแต่เริ่มเปิดเหมืองมาในปี 2507 ตลอดระยะเวลา 12 ปี มีปริมาณทั้งสิ้น 7.99 ล้านตัน

การดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ

จากสภาพน้ำฝนในปี 2537 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี มีผลทำให้เขื่อนต่างๆ มีต้นทุนสำหรับใช้ในกิจกรรมต่างๆอยู่ในเกณฑ์สูง โดยเฉพาะเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์น้ำต้นทุนรวมกันก่อนฤดูแล้ว 12,730 ล้านลูกบาศก์เมตร จึงสามารถระบายน้ำเพื่อสนับสนุนการปลูกพืชฤดูแล้วได้ถึง 7,214 ล้านลูกบาศก์เมตร สำหรับเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนเขาแหลม มีน้ำต้นทุนรวมกันก่อนปลูกพืชฤดูแล้งจำนวน 9,530 ล้านลูกบาศก์เมตร ได้ระบายน้ำตลอดช่วงฤดูแล้วจำนวน 5,793 ล้านลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณน้ำฝนปี 2538 อยู่ในเกณฑ์ดีเช่นเดียวกันโดยมีฝนตกตั้งแต่เดือนพฤษภาคมเรื่อยมาจนเข้าเดือนสิงหาคมและกันยายน อิทธิพลจากหย่อมความกดอากาศต่ำและร่องความกดอากาศต่ำที่พาดผ่านทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีปริมาณน้ำฝนมากขึ้น ส่งผลให้อ่างเก็บน้ำของภาคดังกล่าวมีน้ำไหลเข้าอ่างในเกณฑ์สูง โดยเฉพาะเขื่อนสิริกิติ์ในเดือนสิงหาคมมีน้ำไหลเข้าอ่าง 3,300 ล้านลูกบาศก์เมตร และเดือนกันยายนอีก 2,614 ล้านลูกบาศก์เมตรจนทำให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเต็มอ่าง และต้องระบายออกทางประตูระบายน้ำล้นจำนวน 856 ล้านลูกบาศก์เมตร

เมื่อสิ้นปีงบประมาณ 2538 ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำของทุกเขื่อนรวมกันทั้งสิ้น 51,503 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือเท่ากับร้อยละ 83 ของความจุอ่างเก็บน้ำมากกว่าปีที่ผ่านมา 361 ล้านลูกบาศก์เมตร ดังนั้น ปริมาณน้ำใช้งานได้ในปีงบประมาณ 2539 จึงมีถึง 28,529 ล้านลูกบาศก์เมตร เชื่อได้ว่าเป็นปีที่ดีอีกปีหนึ่งที่มีปริมาณน้ำใช้งานอย่างเพียงพอ

ตาราง 3.11 การดำเนินงานอ่างเก็บน้ำ

การดำเนินงาน	ปีงบประมาณ 2538	ปีงบประมาณ 2537	+เพิ่มขึ้น -ลดลง ร้อยละ
ความจุอ่างเก็บน้ำ(ล้านลูกบาศก์เมตร)	62,330	62,330	-
ปริมาณน้ำในอ่าง(ล้านลูกบาศก์เมตร)	51,503	51,142	+1
ปริมาณน้ำเข้าอ่าง(ล้านลูกบาศก์เมตร)	39,119	41,315	-5
ปริมาณน้ำที่ปล่อย(ล้านลูกบาศก์เมตร)			
ปล่อยผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	36,796	20,948	+76
ปล่อยโดยไม่ผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	4,285	3,553	+26
ปล่อยเพื่อการชลประทานโดยเฉพาะ	254	262	-3
ปล่อยเพื่อใช้ประโยชน์อื่น	1,120	964	+16
ระเหยและสูญหาย	2,911	2,327	+25
รวม	41,081	24,501	+68
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิต(ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)	6,685	3,431	+95
อัตราการใช้น้ำผลิตไฟฟ้า(ลูกบาศก์เมตร/กิโลวัตต์ชั่วโมง)	5.50	6.11	-10
น้ำสูบขึ้นเก็บที่อ่างบน(ล้านลูกบาศก์เมตร)	2,323	2,252	+3

ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 แผนพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้า

กฟผ ได้จัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าทั้งระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว เพื่อสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และเป็นไปในทิศทางที่สอดคล้องกับนโยบายรัฐบาลที่ได้กำหนดไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

ตามการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าชุดเดือนเมษายน 2539 (รายละเอียดอยู่ที่หัวข้อความต้องการใช้ไฟฟ้า) ซึ่งเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับผลการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าชุดที่ใช้เป็นฐานในการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าเดิม(แผน PDP 95-01) หากดำเนินตามแผนเดิมจะทำให้กำลังผลิตไฟฟ้ามีไม่เพียงพอกับความต้องการ ตั้งแต่ปี 2540 เป็นต้นไป กฟผ. จึงได้ดำเนินการปรับแผนอย่างเร็วเพื่อแก้ไขปัญหากำลังผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอในระยะสั้นโดยเร่งด่วนไปก่อน

ตาราง 3.12 แผนพัฒนากำลังไฟฟ้าเดิม (PDP95-01)

1.**แผนหลัก** คือ แผนที่ไม่รวมการรับซื้อไฟฟ้าจากประเทศลาว สาระสำคัญของแผนดังกล่าวมีดังนี้

แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (ปี 2539-2554)

(แผนหลัก)

ชื่อโครงการโรงไฟฟ้า	ชนิดของเชื้อเพลิง	เครื่องที่	กำลังผลิต (เมกะวัตต์)	รวม (เมกะวัตต์)	กำหนดแล้วเสร็จ	
พลังน้ำเทิน-หินบุน	พลังน้ำ	1	184	184	มีนาคม	2541
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่1	-	1	700	700	เมษายน	2542
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่1	-	2	700	700	พฤศจิกายน	2542
พลังงานความร้อนกระบี่	น้ำมัน/ก๊าซ	1	300	300	มกราคม	2543
พลังน้ำห้วยเฮาะ	พลังน้ำ	1	126	126	มกราคม	2543
โรงไฟฟ้าเอกชน(เพิ่ม)	-	1	700	700	ตุลาคม	2543
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่ 2	-	1-2	1,400	1,400	เมษายน	2544
พลังงานความร้อนหงสา	ลิกไนต์	1	304	304	กรกฎาคม	2544
พลังงานความร้อนหงสา	ลิกไนต์	2	304	304	มกราคม	2545
พลังงานความร้อนกระบี่	น้ำมัน/ก๊าซ	2	300	300	มกราคม	2545
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่ 2	-	3-4	1,400	1,400	เมษายน	2545
พลังงานความร้อนร่วมราชบุรี ชุด4	ก๊าซ	1	600	600	มกราคม	2546
พลังงนความร้อนร่วมแห่งใหม่ ชุด1	ก๊าซ	1	600	600	เมษายน	2546
โรงไฟฟ้าเอกชน	ก๊าซ	-	600	600	มกราคม	2547
โรงไฟฟ้าเอกชน	ก๊าซ	-	600	600	มกราคม	2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการโรงไฟฟ้า	ชนิดของเชื้อเพลิง	เครื่องที่	กำลังผลิต (เมกะวัตต์)	รวม (เมกะวัตต์)	กำหนดแล้วเสร็จ	
พลังน้ำเขื่อนคีรีธาร(สูบกลับ)	พลังน้ำ	1-3	220	660	เมษายน	2547
พลังความร้อนร่วมแห่งใหม่ ชุด2	ก๊าซ	1	600	600	เมษายน	2547
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2547
กังหันแก๊สภาคใต้	ดีเซล	1	200	200	มกราคม	2548
พลังความร้อนแห่งใหม่	ถ่านหิน	1	1,000	1,000	มกราคม	2548
โรงไฟฟ้าเอกชนภาคใต้	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	300	300	มิถุนายน	2548
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2548
พลังความร้อนแห่งใหม่	ถ่านหิน	2	1,000	1,000	มกราคม	2549
พลังน้ำเขื่อนจุฬาภรณ์(สูบกลับ)	พลังน้ำ	1-4	200	800	มิถุนายน	2549
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2549
โรงไฟฟ้าเอกชนภาคใต้	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	300	300	มกราคม	2550
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	ถ่านหิน	3	1,000	1,000	มกราคม	2550
พลังน้ำเขื่อนราชบุรี(สูบกลับ)	พลังน้ำ	1-4	230	920	เมษายน	2550
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2550
กังหันแก๊สแห่งใหม่	ดีเซล	1-3	200	600	มกราคม	2551
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน	1	1,000	1,000	มีนาคม	2551
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	เมษายน	2551
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2551
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน	2	1,000	1,000	มกราคม	2552
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน	3	1,000	1,000	เมษายน	2552
กังหันแก๊สภาคใต้	ดีเซล	2	200	200	เมษายน	2552
โรงไฟฟ้าเอกชน	น้ำมัน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2552
โรงไฟฟ้าเอกชนภาคใต้	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	300	300	มกราคม	2553
พลังความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน	4	1,000	1,000	มกราคม	2553
กังหันแก๊สแห่งใหม่	ดีเซล	4-5	200	400	เมษายน	2553
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2553
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน	5	1,000	1,000	มกราคม	2554
โรงไฟฟ้าเอกชน	น้ำมัน/ก๊าซ	-	1,000	1,000	เมษายน	2554

กำลังผลิตติดตั้งถึงกันยายน 2538	=	14,657.9	เมกะวัตต์
รวมกำลังผลิตที่เพิ่มขึ้น(ถึงปี 2554)	=	40,291.0	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าที่ปลดออกจากระบบ(ถึงปี 2554)	=	2,733.1	เมกะวัตต์
รวมกำลังผลิตถึงปี 2554	=	52,215.8	เมกะวัตต์

2. **แผนทางเลือกทดแทน** คือแผนที่รวมการซื้อไฟฟ้าจากประเทศลาว สาระสำคัญของแผนมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้า (ปี 2539-2554)

(แผนทางเลือกทดแทน)

ชื่อโครงการโรงไฟฟ้า	ชนิดของเชื้อเพลิง	เครื่องที่	กำลังผลิต (เมกะวัตต์)	รวม (เมกะวัตต์)	กำหนดแล้วเสร็จ	
พลังน้ำเหิน-หินบุน	พลังน้ำ	1	184	184	มีนาคม	2541
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่1	-	1	700	700	เมษายน	2542
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่1	-	2	700	700	พฤศจิกายน	2542
พลังงานความร้อนกระบี่	น้ำมัน/ก๊าซ	1	300	300	มกราคม	2543
พลังน้ำห้วยเฮาะ	พลังน้ำ	1	126	126	มกราคม	2543
โรงไฟฟ้าเอกชน(เพิ่ม)	-	1	700	700	ตุลาคม	2543
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่ 2	-	1-2	1,400	1,400	เมษายน	2544
พลังงานความร้อนหงสา	ลิกไนต์	1	304	304	กรกฎาคม	2544
พลังงานความร้อนหงสา	ลิกไนต์	2	304	304	มกราคม	2545
พลังงานความร้อนกระบี่	น้ำมัน/ก๊าซ	2	300	300	มกราคม	2545
โรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่ 2	-	3-4	1,400	1,400	มีนาคม	2545
ซื้อไฟฟ้าจากโครงการในลาว	-	-	600	600	มกราคม	2546
ซื้อไฟฟ้าจากโครงการในลาว	-	-	600	600	เมษายน	2546
พลังงานความร้อนร่วมราชบุรี	ก๊าซ	4	600	600	มกราคม	2547
ซื้อไฟฟ้าจากโครงการในลาว	-	-	400	400	มีนาคม	2547
พลังน้ำเขื่อนศิริธาร(สูบกลับ)	พลังน้ำ	1-3	220	660	เมษายน	2547
โรงไฟฟ้าเอกชน	ก๊าซ	1	600	600	เมษายน	2547
โรงไฟฟ้าเอกชน	ก๊าซ	-	600	600	กรกฎาคม	2547
พลังความร้อนร่วมแห่งใหม่ ชุด1	ก๊าซ	1	600	600	ตุลาคม	2547
กังหันแก๊สแห่งใหม่	ดีเซล	1	200	200	มกราคม	2548
พลังความร้อนร่วมแห่งใหม่ ชุด2	ก๊าซ	1	600	600	เมษายน	2548
ซื้อไฟฟ้าจากโครงการในลาว	-	-	400	400	มิถุนายน	2548
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน	-	1,000	1,000	กรกฎาคม	2548
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน	-	1,000	1,000	มกราคม	2549
พลังความร้อนแห่งใหม่	ถ่านหิน	1	1,000	1,000	เมษายน	2549
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2549
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	300	300	มกราคม	2550
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	ถ่านหิน	2	1,000	1,000	มกราคม	2550
พลังน้ำเขื่อนจุฬาภรณ์(สูบกลับ)	พลังน้ำ	1-4	200	800	เมษายน	2550
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2550
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	ถ่านหิน	3	1,000	1,000	มกราคม	2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการโรงไฟฟ้า	ชนิดของเชื้อเพลิง	เครื่องที่	กำลังผลิต (เมกะวัตต์)	รวม (เมกะวัตต์)	กำหนดแล้วเสร็จ	
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน	-	1,000	1,000	เมษายน	2551
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2551
พลังความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน/ถ่านหิน	1	1,000	1,000	มกราคม	2552
พลังความร้อนแห่งใหม่	ถ่านหิน	4	1,000	1,000	มีนาคม	2552
กังหันแก๊สภาคใต้	ดีเซล	1	200	200	เมษายน	2552
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2552
โรงไฟฟ้าเอกชน	ถ่านหิน/ก๊าซ	-	300	300	มกราคม	2553
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน/ถ่านหิน	2	1,000	1,000	มีนาคม	2553
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน/ถ่านหิน	3	1,000	1,000	เมษายน	2553
โรงไฟฟ้าเอกชน	น้ำมัน/ถ่านหิน	-	1,000	1,000	ตุลาคม	2553
พลังงานความร้อนแห่งใหม่	น้ำมัน/ถ่านหิน	4	1,000	1,000	มกราคม	2554
โรงไฟฟ้าเอกชน	น้ำมัน/ถ่านหิน	-	1,000	1,000	มีนาคม	2554

กำลังผลิตติดตั้งถึงกันยายน 2538	=	14,657.9	เมกะวัตต์
รวมกำลังผลิตที่เพิ่มขึ้น(ถึงปี 2554)	=	40,371.0	เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าที่ปลดออกจากระบบ(ถึงปี 2554)	=	2,733.1	เมกะวัตต์
รวมกำลังผลิตถึงปี 2554	=	52,295.8	เมกะวัตต์
รับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก(ช่วงปี2538-2545)	=	2,915.5	เมกะวัตต์
รวมกำลังผลิตทั้งสิ้นถึงปี 2554	=	55,211.3	เมกะวัตต์

ที่มา หนังสือแผนพัฒนาฯ เดือนเมษายน 2539
ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า กฟผ.

การปรับแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าอย่างเร็ว เพื่อแก้ไขกำลังผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอในระยะสั้น เมื่อรวมกับมติคณะรัฐมนตรีแล้ว สรุปสาระสำคัญดังนี้

1. โครงการที่ขออนุมัติดำเนินการในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7 (ปี 2535-2539) มีจำนวน 31 โครงการ มีกำลังผลิตรวมกันทั้งสิ้น 16,975 เมกะวัตต์ ประกอบด้วย

ก) โครงการที่ กฟผ. ดำเนินการเอง 21 โครงการ รวม 9,757 เมกะวัตต์ ประกอบด้วย โครงการพลังน้ำ 1 โครงการ โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อน 14 โครงการ โครงการระบบส่งไฟฟ้า 5 โครงการ และขยายระบบไฟฟ้า และงานก่อสร้างเบ็ดเตล็ดที่มิได้รวบรวมเป็นโครงการอีก 1 โครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) โครงการซื้อไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าเอกชนในประเทศไทย 6 โครงการ รวม 5,700 เมกะวัตต์

ค) รับซื้อไฟฟ้าจากประเทศลาว 4 โครงการ รวม 1,518 เมกะวัตต์

นอกจากนี้มีการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก (SPP) รวมประมาณ 3,090.17 เมกะวัตต์ (เป็นประเภท FIRM CAPACITY รวม 2,915.5 เมกะวัตต์)

2. แผนการลงทุนในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 (2540-2544) สรุปได้ดังนี้

โครงการที่ขออนุมัติดำเนินการในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 เป็นโครงการใหม่ที่เพิ่มขึ้นจากแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7 จำนวน 12 โครงการ รวมกำลังผลิตทั้งสิ้น 8,760 เมกะวัตต์ โดย กฟผ. ดำเนินการเอง 9 โครงการ รวม 2,960 เมกะวัตต์ แบ่งเป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำ 1 โครงการ โรงไฟฟ้าพลังความร้อน 3 โครงการ โครงการระบบส่ง 4 โครงการ และงานขยายระบบไฟฟ้าและงานก่อสร้างเบ็ดเตล็ดที่มิได้รวบรวมเป็นโครงการอีก 1 โครงการ รับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนในประเทศไทย 2 โครงการ รวม 4,300 เมกะวัตต์ และรับซื้อไฟฟ้าจากประเทศลาว 1,500 เมกะวัตต์

ตาราง 3.13 โครงการที่อยู่ระหว่างก่อสร้าง

ชื่อโครงการ	กำลังผลิต(เมกะวัตต์)	กำหนดแล้วเสร็จ
1.พลังความร้อนร่วมวังน้อย ชุดที่1	1x651	เม.ย.39-เม.ย. 40
2.พลังความร้อนร่วมพระนครใต้ ชุดที่ 2	1x623	ส.ค. 39-ก.ค. 40
3.พลังความร้อนร่วมวังน้อย ชุดที่ 2	1x651	ก.ค. 39-ต.ค. 40
4.พลังความร้อนร่วมวังน้อย ระยะที่ 2	1x600	ก.ค. 40-มี.ค. 41
5.ขยายระบบส่งไฟฟ้า ระยะที่ 9 (2538-2541)		2540 -2541
6.พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 1	1x600	ก.ค. 41-ก.ค. 42
7.พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 2	1x600	ก.ย. 41-ก.ย. 42
8.พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 3	1x600	พ.ย. 41-พ.ย. 42
9.สายส่งเชื่อมโยงไทย-มาเลเซีย ระยะที่ 2	300	มกราคม 2540
10.ขยายระบบส่งไฟฟ้าในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ระยะที่ 1		2540-2543
11.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่ 1	1x700	กันยายน 2542
12.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่ 2	1x700	ธันวาคม 2542
13.พลังเขื่อนลำตะคองแบบสูบกลับ เครื่องที่ 1-4	4x250	ก.พ. 43-เม.ย. 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14.สายส่ง 500 กิโลโวลต์ สำหรับโรงไฟฟ้าเอกชนระยะที่ 1		กันยายน 2543
15.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่ 3	1x700	มกราคม 2543
16.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่ 4	1x700	มกราคม 2545
รวมกำลังผลิตทั้งสิ้น	8,425	

ตาราง 3.14 โครงการในแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7 (ปี 2535-2539)

ชื่อโครงการ	กำลังผลิต(เมกะวัตต์)	กำหนดแล้วเสร็จ
ก.โครงการ กฟผ. ดำเนินการ		
โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำ		
1.พลังน้ำเขื่อนลำตะคอง(สูบกลับ) เครื่องที่ 1 ถึง 4	4x250	ก.พ. 40-เม.ย. 46
โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อน		
1.กังหันแก๊สไทรน้อย เครื่องที่ 1 และ 2	2x122	พ.ค. 38-มิ.ย 38
2.กังหันแก๊สหนองจอก เครื่องที่ 1 ถึง 4	4x122	พ.ค. 38-ก.ค. 38
3.พลังความร้อนร่วมวังน้อย ชุดที่ 1	1x651	เม.ย. 39-เม.ย. 40
4.พลังความร้อนพระนครใต้ ชุดที่ 2	1x623	ส.ค. 39-ก.ค. 40
5.พลังความร้อนร่วมวังน้อย ชุดที่ 2	1x651	ก.ค. 39-ต.ค. 40
6.พลังความร้อนร่วมวังน้อย ระยะที่ 2	1x600	ก.ค. 40-มี.ค. 41
7.พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 1	1x600	ก.ค. 41-ก.ค. 42
8.พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 2	1x600	ก.ย. 41-ก.ย. 42
9.พลังความร้อนร่วมราชบุรี ชุดที่ 3	1x600	พ.ย. 41-พ.ย. 42
10.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่ 1	1x700	กันยายน 2542
11.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่2	1x700	ธันวาคม 2542
*12.พลังความร้อนกระบี่ เครื่องที่ 1 และ 2	2x300	ม.ค. 43-ม.ค.45
13.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่ 3	1x700	มกราคม 2544
14.พลังความร้อนราชบุรี เครื่องที่ 4	1x700	มกราคม 2545
โครงการระบบส่งไฟฟ้า		
1.ขยายระบบไฟฟ้า ระยะที่ 9 (2538-2541)		2540-2541
2.สายส่งเชื่อมโยงไทย-มาเลเซีย ระยะที่ 2	300	มกราคม 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ขยายระบบไฟฟ้าในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑลระยะที่1		2540-2543
*4.สายส่ง 115 กิโลโวลต์ เชียงใหม่ 2-แม่ฮ่องสอน		สิงหาคม 2543
5.สายส่ง 500 กิโลโวลต์ สำหรับโรงไฟฟ้าเอกชน ระยะที่ 1		กันยายน 2543
งานขยายระบบไฟฟ้าและก่อสร้างเบ็ดเตล็ดที่มิได้รวบรวมเป็นโครงการ		2535-2539
รวมกำลังการผลิต	9,457	

หมายเหตุ: *อยู่ในระหว่างเสนอขออนุมัติ

ข.โครงการซื้อไฟฟ้าจากเอกชนในประเทศไทย

1.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	700	เมษายน 2542
2.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	600	พฤษจิกายน 2542
3.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	300	มิถุนายน 2543
4.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	2,800	เมษายน 2544
5.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	700	มีนาคม 2545
6.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	600	เมษายน 2546
รวมกำลังผลิต	5,700	

ค.รับซื้อไฟฟ้าจากประเทศลาว[1/]

1.พลังน้ำน้ำเทิน-หินบุน	184	มีนาคม 2541
2.พลังน้ำห้วยเฮาะ	126	มกราคม 2543
3.พลังความร้อนหงสา เครื่องที่ 1และ 2	2x304	ก.ค. 44-ม.ค. 45
4.พลังน้ำน้ำเทิน 2	600	มีนาคม 2545
รวมกำลังผลิต	1,518	

รวมกำลังผลิตทั้งสิ้น	**16,675**

หมายเหตุ: [1/] กฟผ. จะต้องดำเนินการระบบส่งไฟฟ้าจากชายแดนไทย-ลาวมาเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าของ กฟผ.

ตาราง 3.15 **โครงการใหม่ในแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8 (ปี2540-2544)**

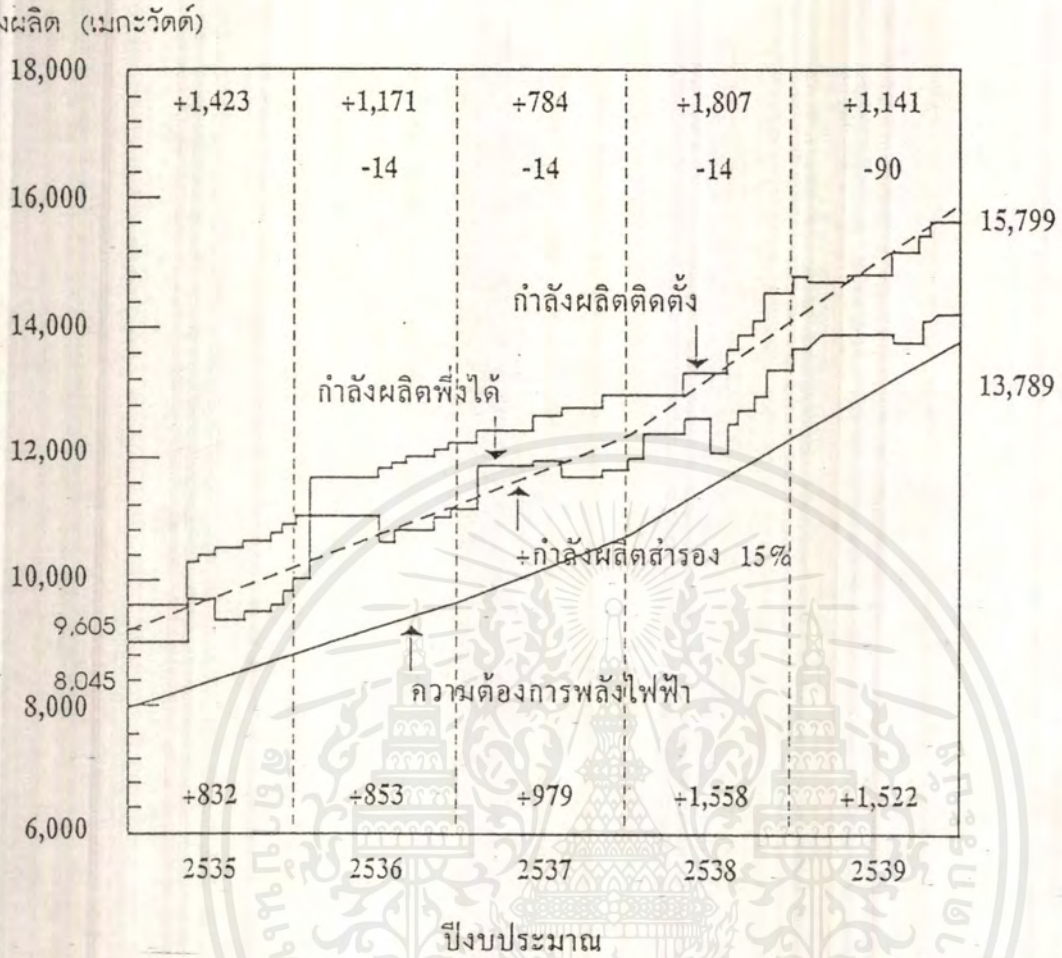
ชื่อโครงการ	กำลังผลิต(เมกะวัตต์)	กำหนดแล้วเสร็จ
ก.โครงการ กฟผ.ดำเนินการ		
โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.พลังน้ำเขื่อนคีรีธาร (สูบกลับ) เครื่องที่ 1-3	3x220	เมษายน 2547
โครงการโรงไฟฟ้าพลังความร้อน		
1.พลังความร้อนสุราษฎร์ธานี เครื่องที่ 1	1x300	มกราคม 2544
2.พลังความร้อนทับสะแก เครื่องที่ 1	1x1,000	เมษายน 2548
3.พลังความร้อนทับสะแก เครื่องที่ 2	1x1,000	เมษายน 2549
โครงการระบบส่งไฟฟ้า		
1.ขยายระบบไฟฟ้า ระยะที่ 10(2540-2545)		2544-2545
2.ขยายระบบไฟฟ้า ระยะที่ 11(2542-2547)		2546-2547
3.ขยายระบบไฟฟ้าเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ระยะที่ 2		2546-2549
4.ขยายระบบไฟฟ้า ระยะที่ 12(2544-2549)		2548-2549
งานขยายระบบไฟฟ้าและงานก่อสร้างเบ็ดเตล็ดที่มิได้รวบรวมเป็นโครงการ		2540-2544
รวมกำลังผลิต	2,960	
ข.โครงการซื้อไฟฟ้าจากชนในประเทศไทย		
1.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	2,700	2547
2.โรงไฟฟ้าเอกชนในรูป IPP	1,600	2549
รวมกำลังผลิต	4,300	
ค.รับซื้อไฟฟ้าจากประเทศลาว	1,500	2546-2548
รวมกำลังการผลิตทั้งหมด	8,760	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7

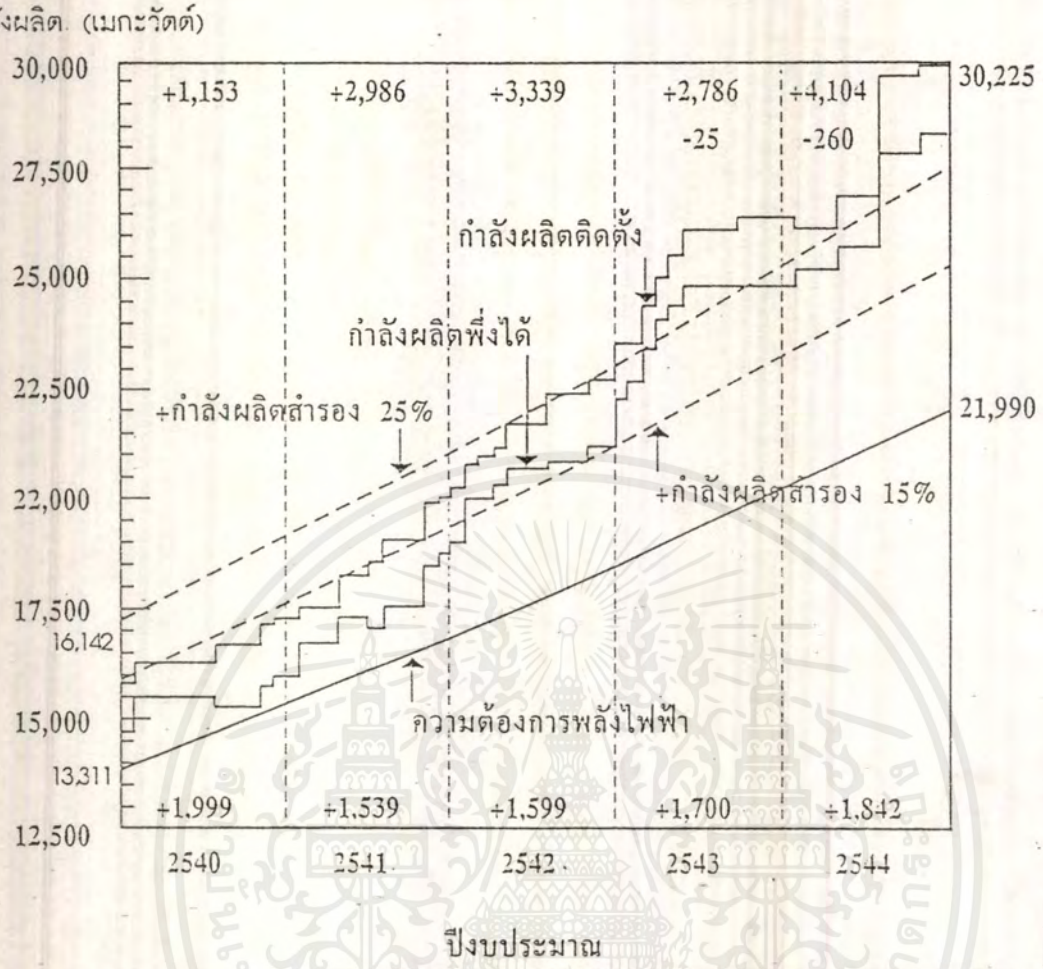


รูปที่ 3.2 รูปกราฟแสดงกำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 7

ความต้องการพลังไฟฟ้า	ปีงบประมาณ 2534	=	8,045	เมกะวัตต์
	ปีงบประมาณ 2539	=	13,789	เมกะวัตต์
เพิ่มขึ้น		=	5,744	เมกะวัตต์
กำลังผลิตติดตั้งเพิ่มขึ้น		=	6,326	เมกะวัตต์
- พลังน้ำ		=	442	เมกะวัตต์
- พลังความร้อน : น้ำมันเตา/ก๊าซ		=	1,200	เมกะวัตต์
ลิกไนต์		=	600	เมกะวัตต์
- พลังความร้อนร่วม		=	3,160	เมกะวัตต์
- กังหันแก๊ส		=	732	เมกะวัตต์
- ซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก		=	192	เมกะวัตต์
ปลดออกจากระบบ		=	- 132	เมกะวัตต์
กำลังผลิตติดตั้งเมื่อสิ้นปี	ปีงบประมาณ 2539	=	15,799	เมกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8

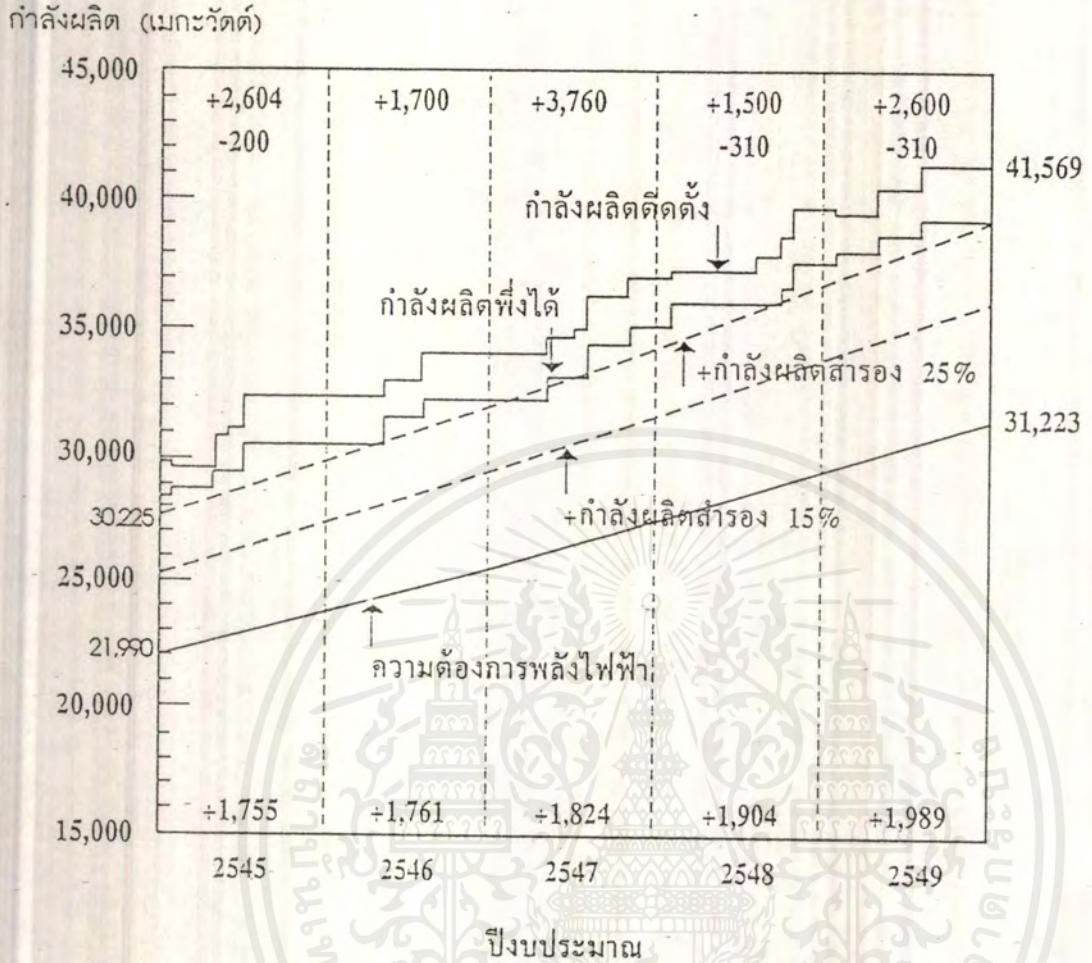


รูปที่ 3.3 รูปกราฟแสดงกำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 8

ความต้องการพลังไฟฟ้า	ปีงบประมาณ 2539	=	13,311	เมกะวัตต์
	ปีงบประมาณ 2544	=	21,990	เมกะวัตต์
เพิ่มขึ้น		=	8,679	เมกะวัตต์
กำลังผลิตติดตั้งเพิ่มขึ้น		=	14,368	เมกะวัตต์
- พลังน้ำ		=	500	เมกะวัตต์
- พลังความร้อน : น้ำมันเตา		=	2,400	เมกะวัตต์
- พลังความร้อนร่วม		=	3,329	เมกะวัตต์
- สายส่งเชื่อมโยงไทย-มาเลเซีย		=	300	เมกะวัตต์
- ซื้อไฟฟ้าเอกชนในประเทศไทยและลาว		=	5,014	เมกะวัตต์
- ซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายเล็ก		=	2,825	เมกะวัตต์
ปลดออกจากระบบ		=	- 285	เมกะวัตต์
กำลังผลิตติดตั้งเมื่อสิ้นปี	ปีงบประมาณ 2544	=	30,225	เมกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้า ในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 9



รูปที่ 3.3 รูปกราฟแสดงกำลังผลิตและความต้องการไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 9

ความต้องการพลังไฟฟ้า	ปีงบประมาณ 2544	=	21,990	เมกะวัตต์
	ปีงบประมาณ 2549	=	31,223	เมกะวัตต์
เพิ่มขึ้น		=	9,233	เมกะวัตต์
กำลังผลิตติดตั้งเพิ่มขึ้น		=	12,164	เมกะวัตต์
- พลังน้ำ		=	1,160	เมกะวัตต์
- พลังความร้อน : น้ำมันเตา		=	1,000	เมกะวัตต์
ถ่านหิน		=	2,000	เมกะวัตต์
- ซื้อไฟฟ้าเอกชนในประเทศไทยและลาว		=	8,004	เมกะวัตต์
ปลดออกจากระบบ		=	- 820	เมกะวัตต์
กำลังผลิตติดตั้งเมื่อสิ้นปี	ปีงบประมาณ 2549	=	41,569	เมกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.พลังงานทดแทน

เนื่องจากทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาผลิตไฟฟ้านับวันมีแต่จะลดปริมาณลงทุกที และจะต้องหมดไปในที่สุด ดังนั้น จึงมีความพยายามที่จะคิดค้น แสวงหาและพัฒนาพลังงานรูปใหม่ที่ประหยัด และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ตลอด เรียกกันว่า พลังงานทดแทน ซึ่งพลังงานบางชนิด กฟผ. ได้นำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้าแล้ว อาทิ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยในระยะแรก การนำมาใช้ประโยชน์ยังต้องจำกัดอยู่เฉพาะพื้นที่ขนาดเล็กและห่างไกลเท่านั้น หากจะนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์แล้ว จะต้องอาศัยเวลาในการพัฒนาเทคโนโลยีและลดต้นทุนการผลิตลงอีกประการสำคัญยังต้องคำนึงถึงศักยภาพของพลังงานที่มีอยู่แต่ละประเภทด้วย

6.1 พลังงานแสงอาทิตย์

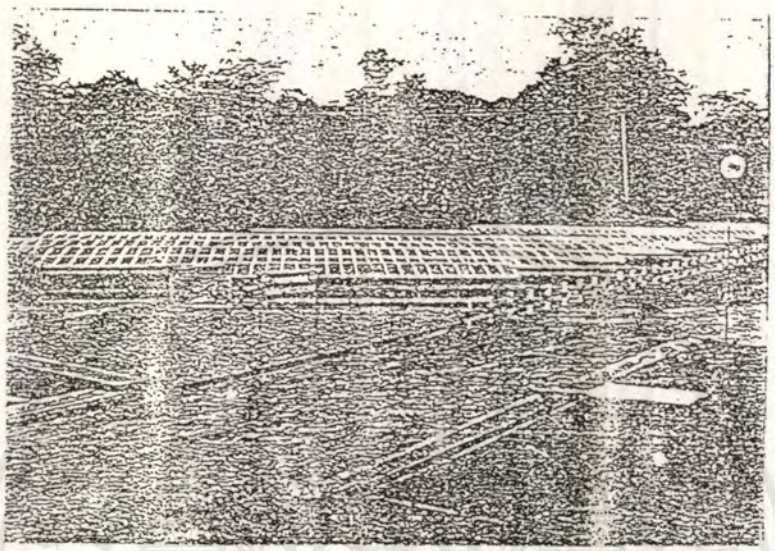
ปัจจุบัน กฟผ. นำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าประมาณ 42 กิโลวัตต์ ส่วนใหญ่เป็นการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกล ซึ่งนับว่าคุ้มค่าเมื่อเทียบกับการใช้เครื่องผลิตไฟฟ้าดีเซลหรือการขยายสายส่งไฟฟ้า และยังเป็นการผลิตไฟฟ้าสำหรับวิทยุสื่อสาร ไฟแสงสว่าง ไฟสัญญาณ เครื่องวัดแผ่นดินไหว รวมทั้งการสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานร่วมตามสถานที่ต่างๆ ของ กฟผ. โดย กฟผ. มีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น 3 แห่งด้วยกัน ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์คลองช่องกล่ำ จังหวัดสระแก้ว กำลังผลิตติดตั้ง 20 กิโลวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ตกำลังผลิตติดตั้ง 8 กิโลวัตต์ และโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์สันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ กำลังผลิต 14 กิโลวัตต์

นอกจากการใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยขบวนการเซลล์แสงอาทิตย์แล้ว กฟผ. ยังได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยออกแบบและจัดสร้างเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นแผงรับความร้อนแผ่นราบ ติดตั้งใช้งานและเก็บข้อมูลไว้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าระบบขบวนการการทางความร้อนอุณหภูมิต่ำต่อไป ปัจจุบัน กฟผ. ได้ติดตั้งระบบทำน้ำร้อนสำหรับอุปโภคบริโภคตามหน่วยราชการต่างๆของกฟผ. ในจังหวัดต่างๆ ประมาณ 20 แห่งด้วยกัน

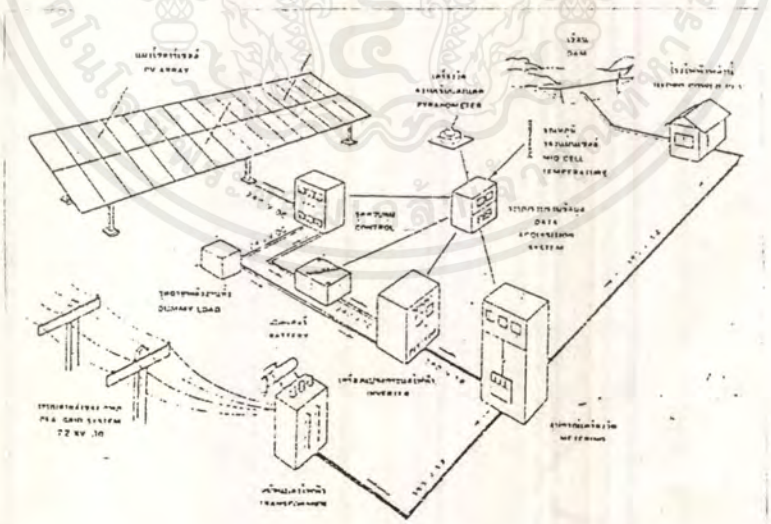
โครงการติดตั้งและทดสอบระบบท่อรับความร้อนแสงอาทิตย์ เพื่อผลิตน้ำร้อนอุณหภูมิสูงประมาณ 120 องศาเซลเซียส สำหรับนำไปใช้กับโรงไฟฟ้าระบบ 2 วงจร โดยมีระยะเวลาดำเนินการ 4 ปี ระหว่างปี 2537-2540 โดยในปีงบประมาณ 2538 นี้ได้ดำเนินการติดตั้งระบบท่อรับความร้อนแสงอาทิตย์ขนาด 50 กิโลวัตต์-ความร้อน ที่บริเวณโรงไฟฟ้าบางประ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กง จังหวัดฉะเชิงเทรา และสาธิตการทำงานของระบบเพื่อเก็บข้อมูล โดยในระยะแรกนี้น้ำร้อนที่ผลิตได้นำไปใช้ทำความเย็นในระบบปรับอากาศแบบดูดละลายใช้กับอาคารของศูนย์สาธิตพลังงานทดแทน



รูป 3.5 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์คลองช่องกล่ำ จังหวัดสระแก้ว



รูป 3.6 แผนภาพระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานน้ำ ที่คลองช่องกล่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 พลังงานลม

งานศึกษาและทดลองใช้พลังงานลมผลิตไฟฟ้าได้รับการบรรจุเป็นแผนพัฒนาพลังงานทดแทนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยประมาณ 17 ปีมาแล้ว โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่าที่สามารถจะทำได้ และเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวกฟผ. ได้ติดตามวิทยาการ ด้านนี้ทั้งในและต่างประเทศ อีกทั้งได้ทำการทดสอบสาธิต ตลอดจนติดตั้งกังหันลมใช้งานและเก็บข้อมูลการทดสอบ เพื่อใช้เป็นแนวทางพัฒนาระบบให้ดีขึ้นและเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของบ้านเราต่อไปในอนาคต

ในขั้นแรก กฟผ. ได้ดำเนินการรวมรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับพลังงานลมทั่วประเทศ โดยได้รับความช่วยเหลือจากกรมอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาสรุปว่าความเร็วลมในประเทศไทย โดยเฉลี่ยจัดอยู่ในระดับปานกลาง-ต่ำ คือ ต่ำกว่า 4 เมตร/วินาที ในส่วนที่ความเร็วสูงสุดอยู่ในบริเวณชายฝั่ง บริเวณเกาะต่างๆในอ่าวไทยและทางภาคใต้ของประเทศ

เมื่อทราบข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานแล้ว กฟผ. ได้ร่วมมือกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนทุนวิจัยออกแบบสร้างกังหันลมขึ้นและนำไปติดตั้งทดลอง ผลปรากฏว่ายังมีปัญหาเกี่ยวกับระบบส่งกำลังและความแข็งแรงของใบกังหัน ขณะเดียวกันก็ได้ออกแบบสร้างกังหันลมแบบล้อจักรยาน นำไปติดตั้งทดสอบใช้งานที่ชายฝั่งทะเล บริเวณอ่าวไผ่ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ซึ่งปรากฏว่ายังคงมีปัญหาเรื่องระบบส่งกำลังเช่นกัน

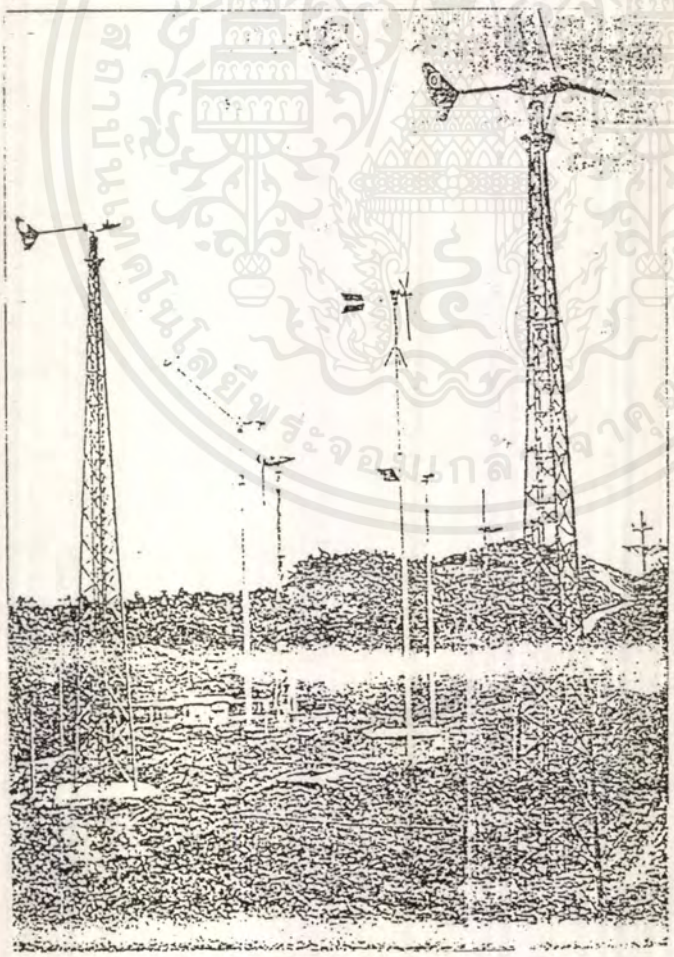
ในปี พ.ศ. 2526 กฟผ. ได้เลือกแหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ซึ่งเป็นจุดที่มีข้อมูลบ่งชี้ว่าความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 5 เมตร/วินาที เป็นสถานีทดลองการผลิตไฟฟ้าจากกังหันลม โดยได้รับความร่วมมืออย่างดีจากหน่วยราชการจังหวัดภูเก็ต ในการนี้กฟผ. ได้นำกังหันลมผลิตไฟฟ้าซึ่งสั่งซื้อจากประเทศต่างๆ ไปติดตั้งทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าที่สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพแห่งนี้จำนวน 4 ชุด พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูลคือ Digital Data Logger และ Strip Chart Recorder ไว้อย่างครบถ้วนสำหรับไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็นำมาผลิตได้ก็นำมาใช้ให้แสงสว่างในบริเวณสถานีทดลองโดยใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ติดตั้งไว้ จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นสรุปได้ว่าการใช้กังหันผลิตกระแสไฟฟ้า ที่บริเวณสถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพนี้ มีผลเป็นที่น่าพอใจ แต่ยังคงมีปัญหาเรื่องชิ้นส่วนบางชนิด เช่น ใบกังหันและตลับลูกปืนชำรุด นอกจากนี้บางกรณียังมีบัญหาเรื่องการจัดซื้ออะไหล่จาต่างประเทศอีกด้วย

จากความสำเร็จในการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากกังหันลมดังกล่าวทำให้ กฟผ. มีความมั่นใจในการศึกษาและติดตั้งกังหันลมเพิ่มขึ้น โดยในปี 2535 ได้ทำการติดตั้งกังหันลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

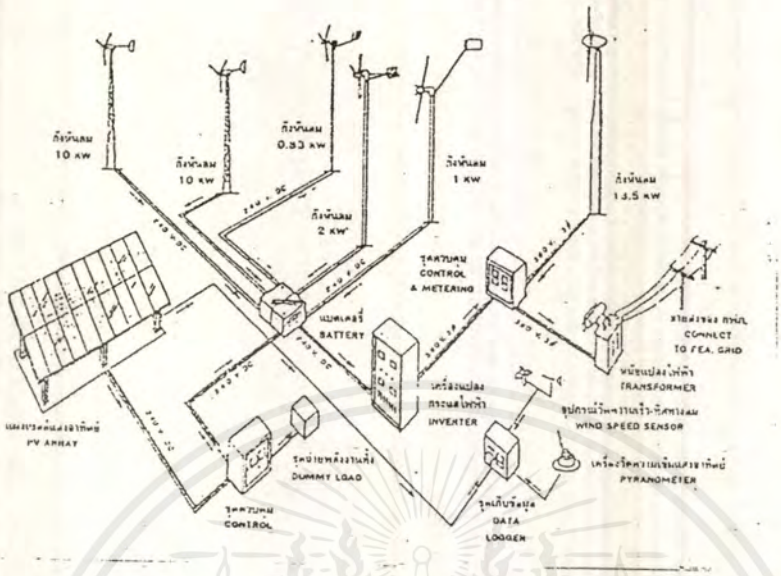
ขนาดกำลังผลิต 10 กิโลวัตต์เพิ่มอีก 2 ชุด เชื่อมโยงเข้ากับระบบสายส่งไฟฟ้าด้วย ทำให้สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพแห่งนี้มีกำลังผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมรวม 42 กิโลวัตต์

ประสบการณ์ที่ได้รับจากการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากว่า 12 ปี ทำให้กฟผ. มีความพร้อมที่จะติดตั้งกังหันลมในขนาดที่ใหญ่ขึ้น และจากการติดตามเทคโนโลยีด้านกังหันลมมาโดยตลอด ดังนั้นในปี 2539 นี้ กฟผ. จึงกำหนดแผนติดตั้งกังหันลม ขนาดกำลังผลิต 150 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นกังหันลมที่มีเทคโนโลยีเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยในขณะนี้ มาติดตั้งทดแทนกังหันลมขนาด 18.5 กิโลวัตต์ ที่ติดตั้งใช้งานมากว่า 10 ปี และเป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาต่อไป



รูป 3.7 กังหันลมที่สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผนภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์

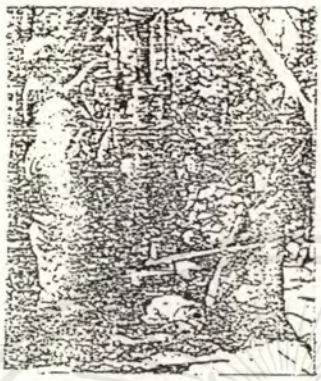
6.3 พลังความร้อนใต้พิภพ

กฟผ.ได้เริ่มสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในภาคเหนือของประเทศตั้งแต่ในปี พ.ศ. 2521 โดยได้รับความร่วมมือจากคณะทำงานต่างๆประกอบด้วยกรมทรัพยากรธรณี และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ต่อมายังได้รับความช่วยเหลือจากองค์การจัดการพลังงานแห่งประเทศฝรั่งเศส สำรวจที่แหล่งอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และองค์การความร่วมมือช่วยเหลือระหว่างประเทศแห่งประเทศญี่ปุ่น สำรวจที่แหล่งอำเภอสันกันแพง จังหวัดเชียงใหม่ จากการสำรวจดังกล่าวทำให้สามารถติดตั้งโรงไฟฟ้าสาธิตระบบ 2 วงจร ขนาดกำลังผลิต 300 กิโลวัตต์ที่แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง นับเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนใต้พิภพระบบ 2 วงจรแห่งแรกของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยส่งไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค นอกจากนี้น้ำร้อนที่เหลือทิ้งจากโรงไฟฟ้า ยังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการเกษตรคือทำห้องอบแห้งและห้องเย็น อีกทั้งยังให้ประโยชน์ด้านการท่องเที่ยวอีกด้วย

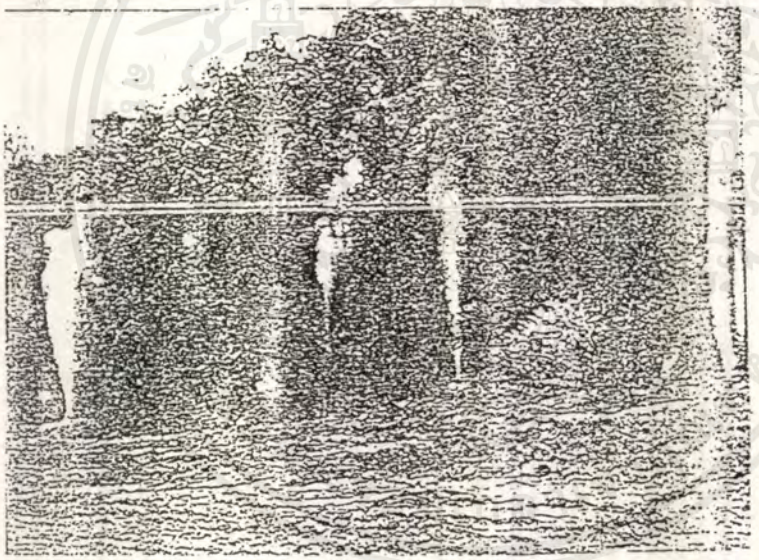
ความสำเร็จของการพัฒนาแหล่งความร้อนใต้พิภพฝางในลักษณะเอนกประสงค์ดังนั้นเพื่อเป็นการสนองนโยบายของรัฐบาลในการทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ในประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด กฟผ. จึงได้ดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพบ้านเมืองแปง อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในลักษณะอเนกประสงค์เช่นเดียวกับที่แหล่งอำเภอฝาง โดยมุ่งพัฒนาแหล่งระดับตื้น ใช้เวลาในการสำรวจประมาณ 2 ปี ระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

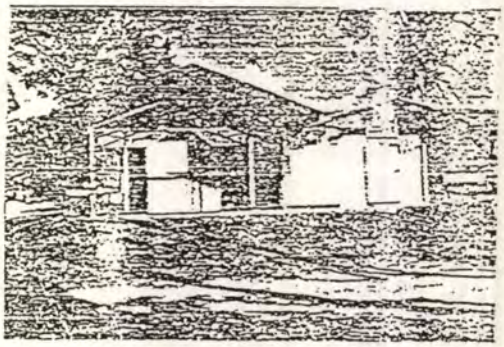
ปี พ.ศ. 2536-2537 ผลการสำรวจนี้จะช่วยให้สามารถประเมินศักยภาพของแหล่งพลังความร้อนใต้พิภพ เพื่อวางแผนพัฒนาต่อไป



รูปที่ 3.9 การเจาะสำรวจระดับตื้น ที่ อ.ฝาง จ.เชียงใหม่

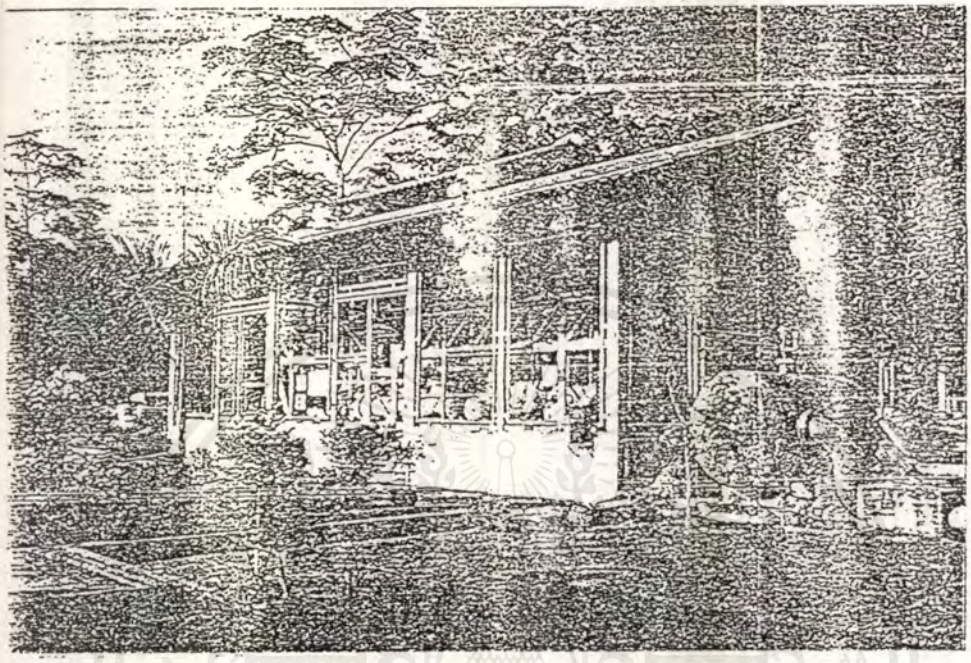


รูปที่ 3.10 น้ำพุร้อน จากการเจาะสำรวจระดับตื้นที่ฝาง

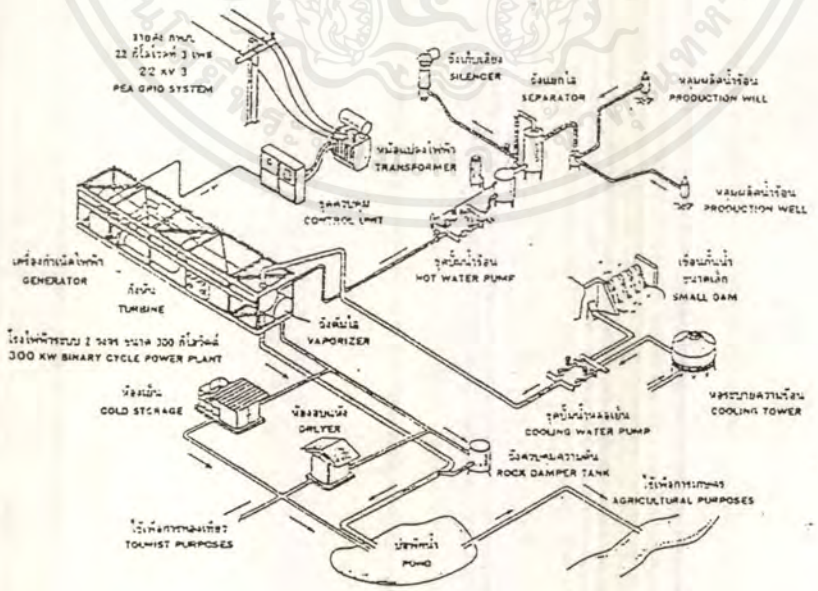


รูปที่ 3.11 ห้องอบแห้งและห้องเย็น สำหรับรักษาพืชผลทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 รูปโรงไฟฟ้าระบบ 2 วงจร



รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการทำงาน ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การเก็บไฟฟ้าที่เหลือใช้ไว้ในแบตเตอรี่

การเก็บไฟฟ้าที่เหลือใช้ไว้ในอุปกรณ์เก็บพลังงานไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ หรือเรียกว่าบีอีเอส(Battery Energy Storage for Load Leveling)เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการบริหารความต้องการไฟฟ้า เพื่อลดขนาดความต้องการไฟฟ้าช่วงสูงสุด โดยการเก็บพลังงานไฟฟ้าต่ำไว้ในแบตเตอรี่ และนำมาใช้ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด เพื่อทดแทนการผลิตกระแสไฟฟ้าราคาแพงจากกังหันแก๊ส หรือเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากระบบบดีอีเอ จะช่วยบริหารความต้องการไฟฟ้า ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีข้อได้เปรียบสำคัญอื่นได้แก่

-สามารถใช้ประโยชน์จากโรงไฟฟ้าและระบบสายส่งที่มีอยู่ได้ดีขึ้นกว่าเดิม

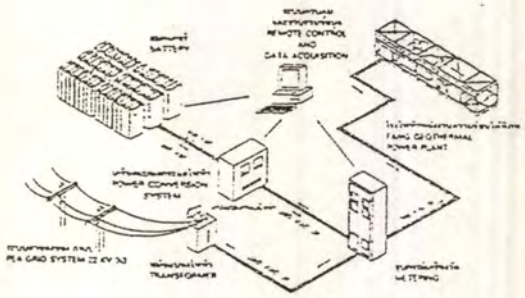
-สามารถตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าฉุกเฉิน ได้รวดเร็วขึ้น

-สามารถปรับแรงดันกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้นโดยเฉพาะที่ปลายสายส่งไฟฟ้า

-สามารถชะลอการลงทุนการสร้างโรงไฟฟ้าและระบบสายส่ง

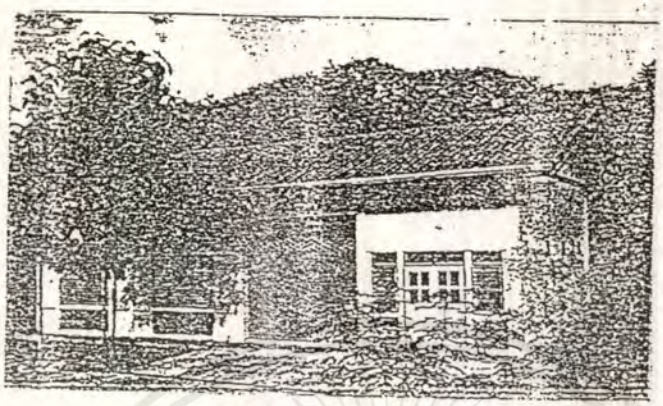
-มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก

โครงการสาธิตสถานีไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่อำเภอฝางจังหวัดเชียงใหม่ ขนาด 300 กิโลวัตต์แอมแปร์ 800 กิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งเป็นการเก็บประจุพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อป้อนกลับเข้าระบบในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง โครงการนี้จะใช้แบตเตอรี่ขนาดความจุ 2500 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 300 ลูก ระยะเวลาของโครงการ 3 ปี โดยในปีที่ผ่านมาได้จัดสร้างอาคารที่ตั้งสถานีเสร็จเรียบร้อย ปัจจุบันอยู่ระหว่างการจัดหาแบตเตอรี่และเครื่องแปลงประจุกระแสไฟฟ้า

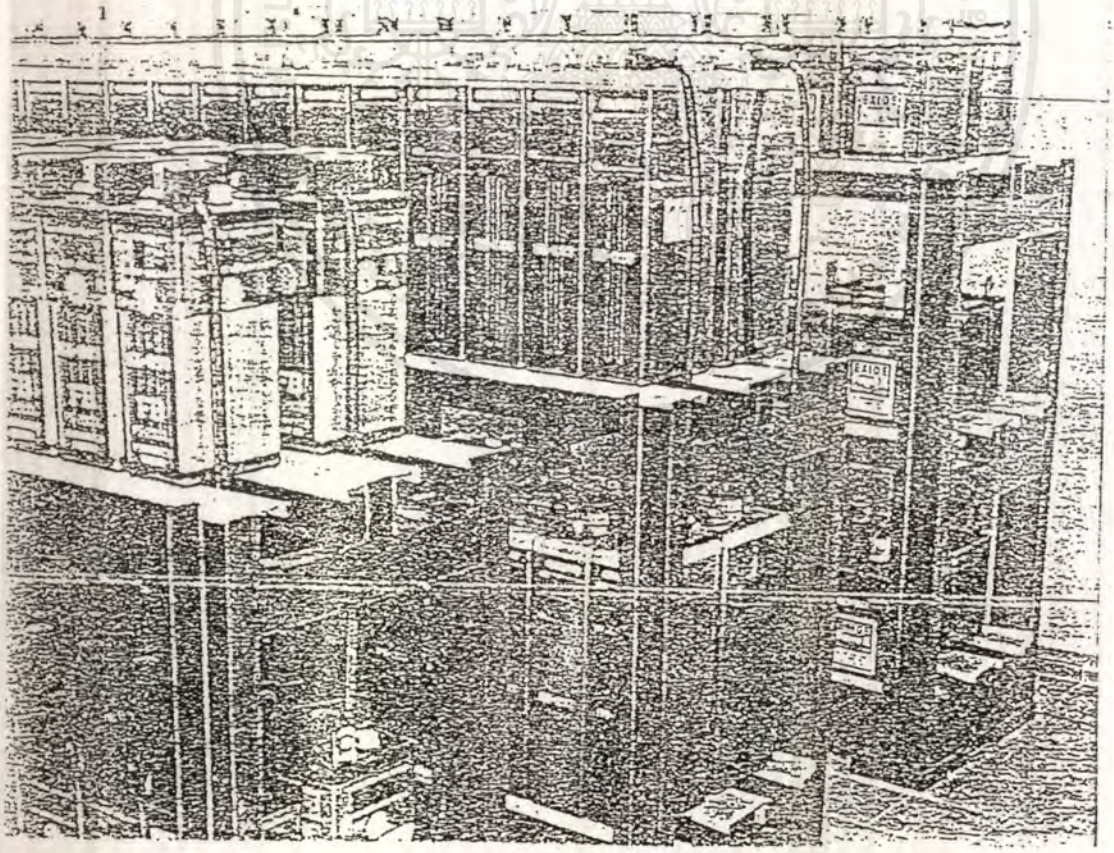


รูปที่ 3.14 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 รูปสถานีไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ ฝาง จังหวัดเชียงใหม่



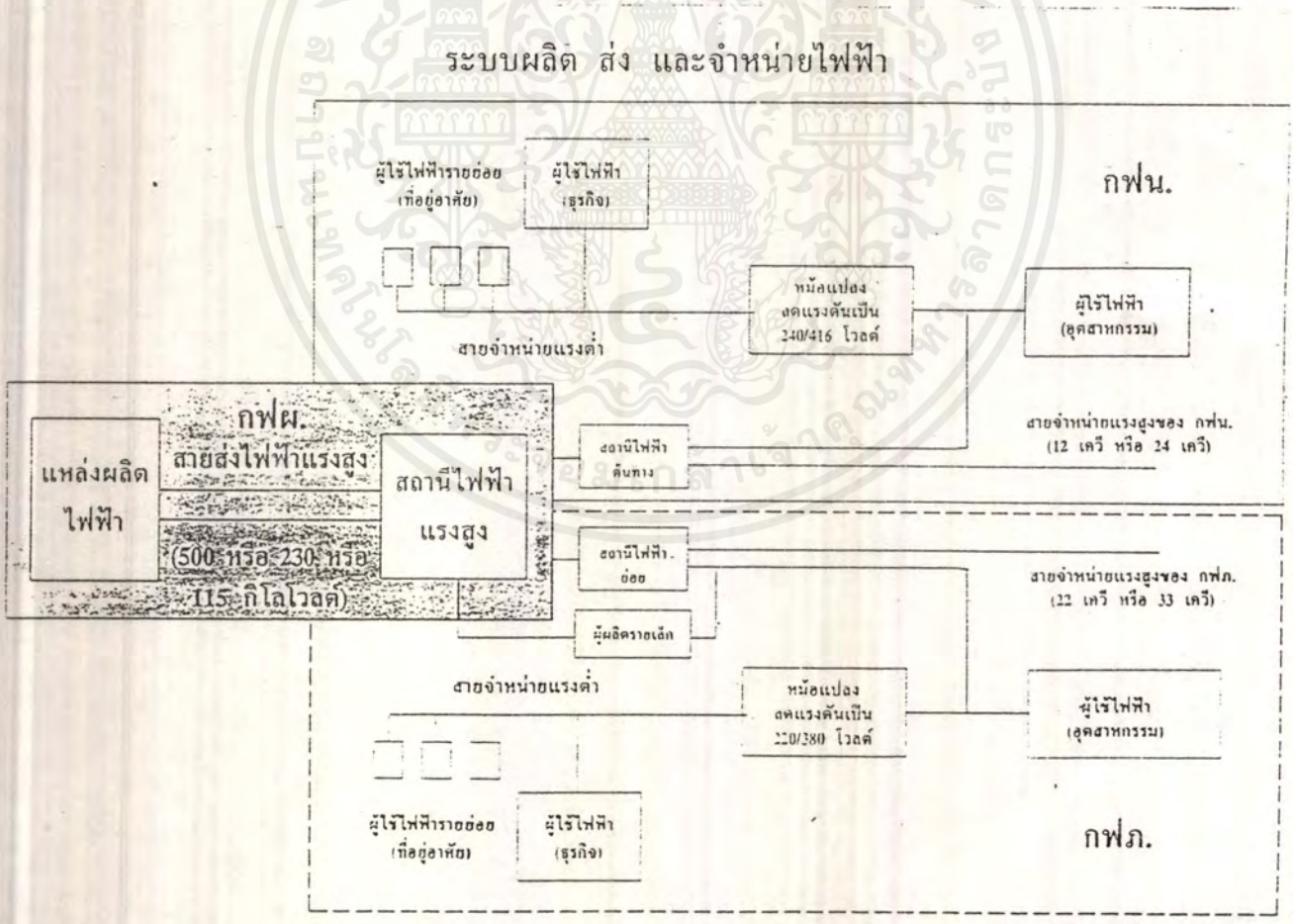
รูปที่ 3.16 รูปแบตเตอรี่สำรองที่ใช้ในสถานีไฟฟ้าแรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.ระบบส่งไฟฟ้า

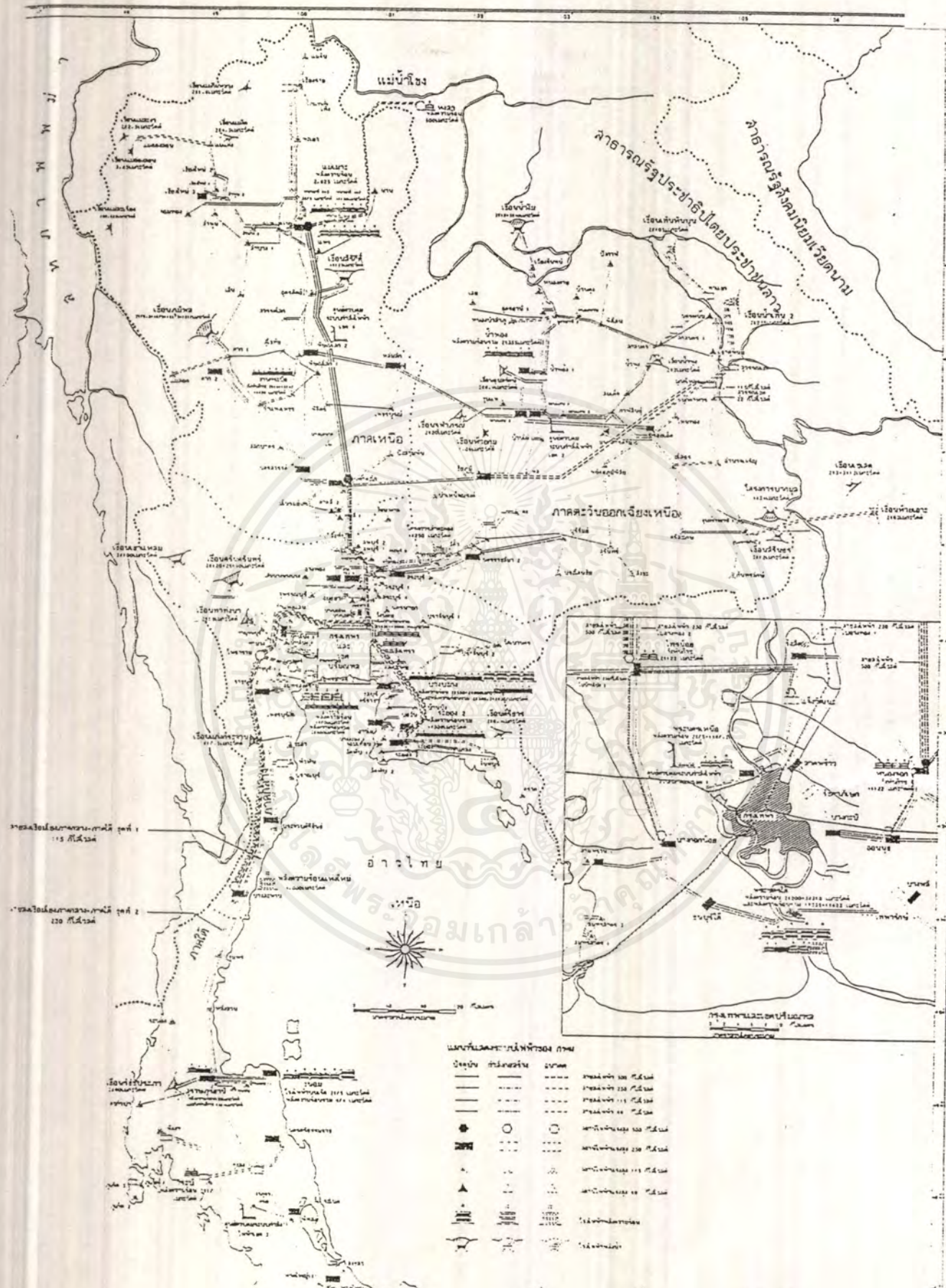
ในกระบวนการผลิตและให้บริการสินค้านั้น จะประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ 3 ขั้นตอน คือ การผลิต การขนส่ง และการจำหน่าย ในด้านของการให้บริการไฟฟ้าก็เช่นกัน จะมีโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า มีระบบส่งไฟฟ้าเพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปยังสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่เป็นจุดส่งมอบไฟฟ้า ให้แก่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อนำไฟฟ้าไปจำหน่ายให้ผู้ใช้ไฟฟ้าถึงจุดที่ต้องการต่อไป

กฟผ. รับผิดชอบในการผลิตและส่งไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ไปยังสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับระบบจำหน่าย หรือความต้องการของลูกค้าของ กฟผ. ได้แก่ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ลูกค้าที่ซื้อไฟฟ้าตรง และประเทศเพื่อนบ้าน



รูปที่ 3.17 แผนภาพระบบส่งไฟฟ้าในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แผนที่แสดงระบบส่งไฟฟ้าของ กฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผังแสดงความรับผิดชอบในขั้นตอนการผลิต การส่งและการจำหน่ายไฟฟ้า จะเห็นว่าการที่เกิดไฟฟ้าดับทางด้านผู้ใช้ไฟฟ้านั้น อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการขัดข้องที่ระบบไฟฟ้าส่วนหนึ่งส่วนใดก็ได้ ตั้งแต่โรงไฟฟ้า ระบบส่งหรือระบบจำหน่าย แต่มีข้อควรสังเกตว่าหากการขัดข้องเกิดขึ้นในระบบผลิตหรือระบบส่งไฟฟ้าของ กฟผ. แล้วไฟฟ้าจะดับในบริเวณกว้างเต็มพื้นที่เกือบทั้งจังหวัดหรือหลายจังหวัด แต่ถ้าหากไฟฟ้าดับเฉพาะที่ สาเหตุจะเกิดขึ้นเนื่องจากการขัดข้องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟน. หรือ กฟภ.

เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2539 กฟผ. มีสายส่งไฟฟ้าแรงดันสูงแรงดัน 500 กิโลโวลต์ 115 กิโลโวลต์ และ 69 กิโลโวลต์ เชื่อมโยงโรงไฟฟ้าทุกโรง และเชื่อมโยง ถึงกันทั้งประเทศความยาว 22,924 วงจร-กิโลเมตร มีสถานีไฟฟ้าแรงสูง 175 แห่ง ติดตั้งหม้อแปลงที่จ่ายให้ลูกค้ารวมทั้งสิ้น 37,567 เอ็มวีเอ

ตามแผนงานและโครงการที่ กฟผ. กำลังดำเนินการก่อสร้างทางด้านระบบส่งไฟฟ้าของ กฟผ. จะเพียงพอและมีความมั่นคงถึงสิ้นปีงบประมาณ 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การศึกษาด้านการตลาด

1.ระบบการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน

ลูกค้าหลักของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต คือ การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค รวมกันแล้วรับซื้อไฟฟ้าประมาณร้อยละ 97 (ปีงบประมาณ 2538) ส่วนที่เหลือส่งขายให้แก่ ลูกค้าตรงร้อยละ 2 อีกร้อยละ 1 ขายให้แก่ลาว มาเลเซีย และลูกค้าประเภทอื่น

พลังงานไฟฟ้าที่จำหน่ายให้การไฟฟ้านครหลวง มีอัตราการเพิ่มร้อยละ 11 ส่วนการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีอัตราการเพิ่มร้อยละ 17 ลูกค้าตรงเพิ่มร้อยละ 12 การไฟฟ้าลาวเพิ่มขึ้นร้อยละ 34 การไฟฟ้ามาเลเซียลดลงร้อยละ 13 และลูกค้าประเภทอื่น เพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2

ตามมติของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ มีมติให้ปรับโครงสร้างราคาซื้อ-ขายไฟฟ้า ของทั้ง 3 การไฟฟ้าใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้มีการถ่ายเทรายได้ซึ่งกันและกัน อันจะทำให้การไฟฟ้าแต่ละแห่ง มีผลตอบแทนต่อทรัพย์สินที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน คือประมาณร้อยละ 8 โดยราคาขายส่งระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตกับการไฟฟ้านครหลวง เพิ่มขึ้นจาก 146.82 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เป็น 148.65 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และราคาขายส่งระหว่างการไฟฟ้าฝ่ายผลิตกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพิ่มขึ้นจาก 96.30 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่งโมง เป็น 109.10 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ทั้งนี้ตั้งแต่ 1 มกราคม 2538

ส่วนราคาขายเฉลี่ย สำหรับลูกค้าทุกประเภทในปีนี้ มีราคาเฉลี่ย 130.87 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมาเท่ากับ 11.16 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

รูปที่ 3.19 ราคาจำหน่างไฟฟ้าปีงบประมาณ 2534-2538



ที่มา รายงานประจำปี 2538 กฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.16 ราคาขายเฉลี่ย ปีงบประมาณ 2538

ประเภทลูกค้า	ปีงบประมาณ 2538 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	ปีงบประมาณ 2538 สตางค์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง	+ เพิ่มขึ้น - ลดลง ร้อยละ
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	109.10	96.30	+13
การไฟฟ้านครหลวง	148.65	146.82	+1
ลูกค้าตรง	142.20	147.45	-4
การไฟฟ้าลาว	96.70	99.65	-3
การไฟฟ้ามาเลเซีย	121.71	111.35	+9
อื่นๆ	120.04	120.04	-
ราคาขายเฉลี่ย	130.87	119.71	+9

ตาราง 3.17 การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ปีงบประมาณ 2538

ประเภทลูกค้า	ปีงบประมาณ 2538		ปีงบประมาณ 2537		+เพิ่มขึ้น -ลดลง ร้อยละ
	ล้านหน่วย	ร้อยละ	ล้านหน่วย	ร้อยละ	
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	40163.44	55.18	34302.72	53.80	+17
การไฟฟ้านครหลวง	30603.48	42.05	27525.27	43.25	+11
ลูกค้าตรง	1662.35	2.28	1488.83	2.34	+12
การไฟฟ้าลาว	73.85	0.10	55.08	0.08	+34
การไฟฟ้ามาเลเซีย	0.40	-	0.46	-	-13
อื่นๆ	276.03	0.39	270.87	0.42	+2
รวมทั้งสิ้น	72779.55	100.00	63643.33	100.00	+14

หน่วย:กิโลวัตต์ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราค่าไฟฟ้า

จาก หนังสือ สถานภาพ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย ระบุว่า
อัตราค่าไฟฟ้าตามฐานโครงสร้างปัจจุบันต้องปรับเพิ่มขึ้นในปี 2540 ร้อยละ 1.9
โดยมีอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย เท่ากับ 1.4917 บาท/หน่วย ในปี 2540
1.6651 บาท/หน่วย ในปี 2541
1.6131 บาท/หน่วย ในปี 2542
1.6289 บาท/หน่วย ในปี 2543
และ 1.7026 บาท/หน่วย ในปี 2544
จึงประมาณอัตราค่าไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น 9.6% ทุก ๆ 3 ปี

3. ความสามารถในการผลิตพลังไฟฟ้า

โดยปกติแล้วโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะเดินเครื่องเพื่อผลิตพลังไฟฟ้า
โดยใช้เป็นพลังไฟฟ้าฐานของประเทศ จึงทำการเดินเครื่องเพื่อทำการผลิตไฟฟ้า
ตลอด 24 ชั่วโมงและทุกปีต้องหยุดเดินเครื่อง เป็นเวลา 1 เดือน เพื่อทำการเปลี่ยน
เชื้อเพลิง และบำรุงรักษาดังนั้น จึงมีเวลาในการเดินเครื่อง 335 วัน
คิดเป็น 335x24 = 8040 ชั่วโมง
นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับค่า yearly capacity facters อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.18 รายได้โดยประมาณจากการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ พ.ศ. 2549-2578

กำลังการผลิต	1000 เมกกะวัตต์
จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี	8040 ชั่วโมง
ค่าไฟฟ้าในปี 2544 , 2545, 2546	1.7026 บาทต่อหน่วย
และ เพิ่มขึ้น	9.60% ทุกๆ 3 ปี

ปีที่	ปี พ.ศ.	yearly capacity factor	พลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)	รายได้ต่อปี (ล้านบาท)
1	2549	0.60	4824.00	1.8660	9001.82
2	2550	0.65	5226.00	2.0452	10688.16
3	2551	0.70	5628.00	2.0452	11510.33
4	2552	0.75	6030.00	2.0452	12332.50
5	2553	0.75	6030.00	2.2415	13516.42
6	2554	0.75	6030.00	2.2415	13516.42
7	2555	0.75	6030.00	2.2415	13516.42
8	2556	0.75	6030.00	2.4567	14813.99
9	2557	0.75	6030.00	2.4567	14813.99
10	2558	0.75	6030.00	2.4567	14813.99
11	2559	0.75	6030.00	2.6926	16236.14
12	2560	0.75	6030.00	2.6926	16236.14
13	2561	0.75	6030.00	2.6926	16236.14
14	2562	0.75	6030.00	2.9510	17794.81
15	2563	0.75	6030.00	2.9510	17794.81
16	2564	0.73	5869.20	2.9510	17320.28
17	2565	0.71	5708.40	3.2343	18462.94
18	2566	0.69	5547.60	3.2343	17942.86
19	2567	0.67	5386.80	3.2343	17422.78
20	2568	0.65	5226.00	3.5448	18525.35
21	2569	0.63	5065.20	3.5448	17955.34
22	2570	0.61	4904.40	3.5448	17385.33
23	2571	0.59	4743.60	3.8851	18429.59
24	2572	0.57	4582.80	3.8851	17804.86
25	2573	0.55	4422.00	3.8851	17180.13
26	2574	0.53	4261.20	4.2581	18144.71
27	2575	0.51	4100.40	4.2581	17460.01
28	2576	0.49	3939.60	4.2581	16775.30
29	2577	0.47	3778.80	4.6669	17635.29
30	2578	0.45	3618.00	4.6669	16884.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.19 อัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน (2540)

เริ่มบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2540

ประเภทกิจการขนาดใหญ่

การใช้พลังไฟฟ้าตั้งแต่ 2,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 355,000 หน่วยต่อเดือน

1. อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน คิดตามช่วงเวลาของวัน (Time - of - day หรือ TOD)

ระดับแรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
	21:30 - 08:00 น.	08:00 - 18:30 น. (ส่วนเกินจากเวลา 18:30 - 21:30 น.)	18:30 - 21:30 น.	
≥ 69	0	29.91	224.30	1.0208
11 - 33	0	58.88	285.05	1.0582
< 11	0	68.22	332.71	1.0862

2.อัตราเลือกค่าไฟฟ้ารายเดือน คิดตามช่วงเวลาของการใช้ (Time - of - use หรือ TOU)

ระดับแรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ค่าพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์) จันทร์-เสาร์ 09:00-22:00น.	ค่าพลังงานไฟฟ้า(บาท/หน่วย)			ค่าบริการ (บาท/-เดือน)
		จันทร์ - เสาร์		อาทิตย์	
		09:00-22:00น.	22:00-09:00น.	00:00-24:00น.	
≥ 115	102.80	1.5349	0.6671	0.6062	400
69	158.88	1.6292	0.6769	0.6153	400
11 - 33	200.93	1.7736	0.6861	0.6236	850
< 11	214.95	1.8891	0.7283	0.6616	850

หมายเหตุ 1. ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา สิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

2.ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้อัตราประเภทที่ 1 สามารถที่จะเลือกใช้อัตราประเภทที่ 2 ได้และผู้ใช้ไฟฟ้าที่เลือกใช้ประเภทที่ 2 แล้ว ไม่สามารถเปลี่ยนกลับมาใช้ประเภทที่ 1 ได้

3. ผู้เริ่มใช้ไฟฟ้าตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2540 เป็นต้นไปให้ใช้อัตราประเภทที่ 2

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1.ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย สามารถเปลี่ยนแปลงได้หากค่าใช้จ่ายที่ไม่อยู่ในความควบคุมของการไฟฟ้า (Ft) เปลี่ยนแปลงโดยอัตราการปรับจะแสดงอยู่ในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า

2. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บตามอัตราข้างต้นยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งผู้ซื้อเป็นผู้รับภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.19(ต่อ) อัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน (2540)

เริ่มใช้บังคับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2540

ประเภทขายส่งให้ กฟน. และกฟภ.

1.อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือน

หน่วย : บาทต่อหน่วย

ระดับแรงดันไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	จันทร์ - เสาร์		อาทิตย์
	09:00 - 22:00 น.	22:00-09:00 น.	00:00 - 24:00 น.
230	1.5349	0.6671	0.6062
115	1.5697	0.6697	0.6088
69	1.6292	0.6769	0.6153
33	1.7720	0.6857	0.6232
22	1.7751	0.6864	0.6238

2. อัตราค่าชดเชยรายเดือน

- ส่วนเพิ่มค่าไฟฟ้า กฟน. 0.2273 บาทต่อหน่วย
- ส่วนลดค่าไฟฟ้า กฟภ. 0.1890 บาทต่อหน่วย

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย สามารถเปลี่ยนแปลงได้หากค่าใช้จ่ายที่ไม่อยู่ในความควบคุมของการไฟฟ้า (Ft) เปลี่ยนแปลงโดยอัตราการปรับจะแสดงอยู่ในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า
2. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บตามอัตราข้างต้นยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งผู้ซื้อเป็นผู้รับภาระ

ฝ่ายนโยบายเศรษฐกิจ
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การศึกษาด้านวิศวกรรมและความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การศึกษาด้านวิศวกรรมและความปลอดภัย

ฟิสิกส์นิวเคลียร์

ทฤษฎีเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์

เมื่อมนุษย์สามารถค้นพบอะตอม พลังงานทางด้านนิวเคลียร์ก็ถูกพบอย่างต่อเนื่องและรวมถึงทางด้านวิศวกรรมที่เกี่ยวกับนิวเคลียร์และในไม่กี่ปีมานี้ก็มีการค้นพบทฤษฎีพร้อมทั้งมีการนำไปประยุกต์ใช้ในทฤษฎีที่มีความเข้าใจแล้ว

ประวัติการค้นพบทางด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์เริ่มจากปี 1896 โดย Henri ค้นพบสารกัมมันตรังสีธรรมชาติจากสารประกอบยูเรเนียม

ปี 1905 ไอสไตร์ได้ประกาศทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องมวลและพลังงาน

ปี 1911 รัทเทอร์ฟอร์ดประกาศ Hypothesis of Atomic Nucleus

ปี 1926 โชเดนเจอร์,บอนด์,ไอด์เซนเบิร์กและจอร์แดนประกาศทฤษฎีควอนตัม

ปี 1932 ไอด์เซนเบิร์กประกาศว่า Nuclei ประกอบด้วย Proton และ Neutron

ปี 1936 บอร์ประกาศโครงสร้างและส่วนประกอบของนิวเคลียร์

ปี 1939 สตราซแมนค้นพบปฏิกิริยาฟิชชัน

โครงสร้างอะตอม

เลขอะตอมและเลขมวล

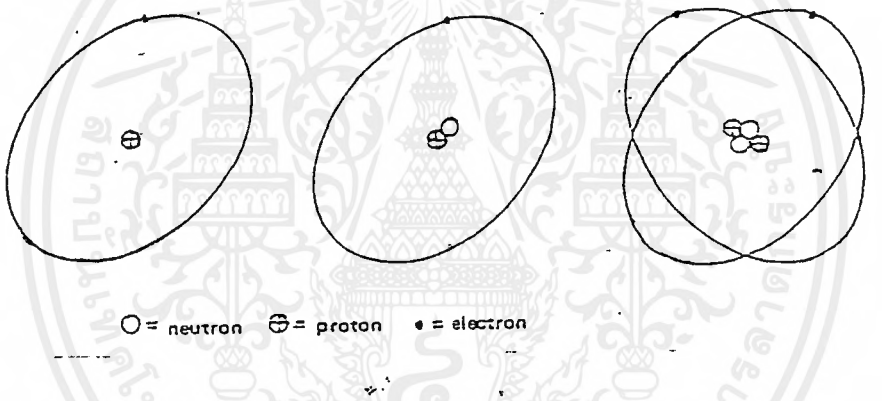
อะตอม 1 อะตอมจะประกอบด้วยประจุที่เป็นบวกอยู่ตรงกลางและถูกล้อมรอบโดยประจุลบที่เรียกว่า electron และส่วนที่อยู่ตรงกลางซึ่งเรียกว่า Nuclei จะประกอบไปด้วย Protons และ Neutrons ซึ่งโปรตอนบรรจุด้วยประจุบวก 1 ประจุ และต้องเท่ากับประจุอิเล็กตรอน ซึ่งเมื่อรวมกันแล้วก็คือไฮโดรเจนอะตอมนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเป็น H^- หมายความว่ามีอิเล็กตรอนโดดอยู่ 1 ตัว

คุณสมบัติต่าง ๆ ภายในอะตอมมีดังนี้

1. มวลของโปรตอน คือ 1.00727 atomic mass unit (amu.)
2. รัศมีของโปรตอน 10^{-8} cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รัศมีของนิวเคลียส 10^{-13} cm.
4. นิวตรอนมีสภาวะเป็นกลาง คือ ไม่มีประจุ
5. นิวตรอนมีมวลเท่ากับ 1.008665 amu.
6. มวลของอิเล็กตรอนเท่ากับ 0.000548 amu.
7. amu. = 1.66×10^{-24} g.
8. เลขอะตอม คือ จำนวนโปรตอนภายในอะตอม (Z)
9. เลขมวล คือ จำนวนโปรตอนรวมกับจำนวนนิวตรอน (A)
10. จำนวนนิวตรอนก็คือ A-Z



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างอะตอม

ไอโซโทป

คืออะตอมที่มีเลขอะตอม (Z) เท่ากันแต่เลขมวล (A) ต่างกันจะทำให้คุณสมบัติของสารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยานิวเคลียร์แตกต่างออกไป เช่น แร่ยูเรเนียม มีเลขมวล (mass number) 3 ตัว คือ 234,235 และ 238 โดยยูเรเนียมที่พบมากที่สุดคือ Uranium-238 ใช้สัญลักษณ์ U-238 หรือ U^{238}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสัดส่วนของยูเรเนียมที่ค้นพบได้ในธรรมชาติ

Mass Number (A)	Percent	Atomic Mass (amu.)
234	0.006	234.11379
235	0.720	235.11704
238	99.274	238.12493

ธาตุที่น่าสนใจทางพลังงานนิวเคลียร์

1.ธาตุไฮโดรเจนและดิวเทอเรียม เมื่ออยู่ในรูปของออกไซด์ คือ H_2O และ D_2O ซึ่งเราเรียกว่า น้ำบริสุทธิ์ (Light Water) และน้ำมวลหนัก (Heavy Water) ใช้เป็นตัวหน่วงนิวตรอน (Moderator) และสารระบายความร้อน สำหรับเครื่องปฏิกรณ์น้ำธรรมดา (Light Water Reactor) และปฏิกรณ์น้ำมวลหนัก (Heavy Water Reactor) ($_1H^1$ และ $_1D^2$)

2.ธาตุคาร์บอน (Carbon) ใช้เป็นตัวหน่วงนิวตรอนสำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบปฏิกรณ์ก๊าซระบายความร้อน (Gas Cooled Reactor) แบบปฏิกรณ์ก๊าซระบายความร้อนประยุกต์ (Advanced Gas Cooled Reactor) และแบบปฏิกรณ์ก๊าซระบายความร้อนอุณหภูมิสูง (High Temperature Gas Cooled Reactor) เมื่ออยู่ในรูปของออกไซด์ คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ใช้เป็นสารระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบปฏิกรณ์ก๊าซระบายความร้อน และแบบปฏิกรณ์ก๊าซระบายความร้อนประยุกต์ ($_6C^{12}$)

3.ธาตุฮีเลียม (Helium) พบในธรรมชาติแต่ไม่แพร่หลายมากนักใช้เป็นสารระบายความร้อน (Coolant) ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบปฏิกรณ์ก๊าซระบายความร้อนอุณหภูมิสูง (High Temperature Gas Cooled Reactor) ($_2He^4$)

4.ธาตุยูเรเนียม 238 (Uranium 238) เป็นไอโซโทปของยูเรเนียมแบบหนึ่ง มีในธรรมชาติปริมาณ 99.3 ของยูเรเนียมที่ขุดได้ ธาตุยูเรเนียม 238 เป็นวัสดุเฟอร์ไทล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Fertile Material) ไม่ใช่เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ แต่ถ้ารวมกับนิวตรอนอาจเปลี่ยนเป็นธาตุพลูโตเนียม 239 (Plutonium 239) ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ได้ ($_{92}U^{238}$)

5.ธาตุพลูโตเนียม 239 (Plutonium 239) เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ไม่มีในธรรมชาติ แต่เกิดจากการรวมตัวของยูเรเนียม 238 และนิวตรอน (ปัจจุบันยังไม่นิยมนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์อย่างแพร่หลาย ยังอยู่ในขั้นทดลอง) พลูโตเนียม 239 เป็นธาตุที่มีกัมมันตรังสีอย่างแรง และเป็นธาตุที่ใช้ทำลูกระเบิดปรมาณู ($_{94}Pu^{239}$)

6.ธาตุธอเรียม (Thorium 232) เป็นวัสดุเฟอร์ไทล์ไม่เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ เกิดในธรรมชาติตามปกติจะพบในทรายโมนาไซต์ (Monazite Sand) ในประเทศไทยพบในภาคใต้ และภาคอื่น ๆ บ้าง ธอเรียม 232 เมื่อรวมกับนิวตรอนจะเปลี่ยนเป็นยูเรเนียม 233 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ได้ ($_{90}Th^{232}$)

7.ธาตุยูเรเนียม 233 (Uranium 233) เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ไม่มีในธรรมชาติ แต่เกิดจากการรวมตัวของ ธอเรียม 232 และนิวตรอน เช่น แร่ที่มีกัมมันตภาพรังสีอย่างแรง ($_{92}U^{233}$)

8.ธาตุยูเรเนียม 235 (Uranium 235) เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์อย่างเดียวที่มีในธรรมชาติ แต่มีจำนวนเพียง 0.7% ของแร่ยูเรเนียมที่ขุดได้ ยูเรเนียม 235 นอกจากใช้เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์แล้ว ยังใช้ทำลูกระเบิดไฮโดรเจนด้วย ($_{92}U^{235}$)

<u>กัมมันตภาพรังสี (Radio activity)</u>

ไอโซโทปของสารกัมมันตภาพรังสี (อนุภาคแอลฟาและเบต้า) กระบวนการนี้มักจะปรากฏในเตาปฏิกรณ์ โดยพอสรุปง่าย ๆ โดยพิจารณาอัตราการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสีร่วมกับปฏิกิริยาที่เกิดจากนิวตรอนและทั้ง 2 สิ่งนี้ต้องพิจารณาควบคู่กันไปกับอัตราการแพร่ของสารกัมมันตภาพรังสีชนิดต่าง ๆ ในปฏิกิริยานิวเคลียร์ เพื่อจะใช้เป็นพื้นฐานในการหาอุปกรณ์ป้องกันรังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในธรรมชาติกัมมันตภาพรังสีมีทั้งที่เสถียรและไม่เสถียรโดยแบบไม่เสถียรคือพวกที่มี atomic weight มาก ๆ จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วและสามารถสลายได้แต่จะมีระยะเวลาที่ยาวนาน การสลายตัวที่เกิดจากการแพร่จะได้อนุภาคออกมาคือ alpha particle (คือ He nucleus) และ beta particle และเมื่ออนุภาคนี้แยกมาแล้วจะทำให้สารนั้นเสถียรขึ้น

<u>อัตราการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสี</u>

อัตราการสลายตัวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอะตอมของกัมมันตภาพรังสี ถ้าให้ N เป็นจำนวนอนุภาคในอะตอมของกัมมันตภาพรังสี (หรือ Nuclei) t คือ เวลา ดังนั้นอัตราการสลายตัวแสดงได้โดย

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \text{.....(4.1)}$$

โดย λ คือ Decay Constant ของสารแต่ละชนิด

และถ้าให้ No เป็นจำนวนอนุภาคที่เวลา to (arbitrary zero) จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$N = Noe^{-\lambda t} \quad \text{.....(4.2)}$$

โดย N คือจำนวนอนุภาคที่เหลืออยู่ ซึ่งจากสมการจะเห็นว่าเป็นรูปกราฟเอ็กโปเนนเชียล

และจากสมการที่ 2 เมื่อแทน No ด้วย N/2 ค่า t ที่ได้จะเป็น $t_{1/2}$ เราเรียกว่า ค่า half-life ซึ่งแสดงได้ดังนี้

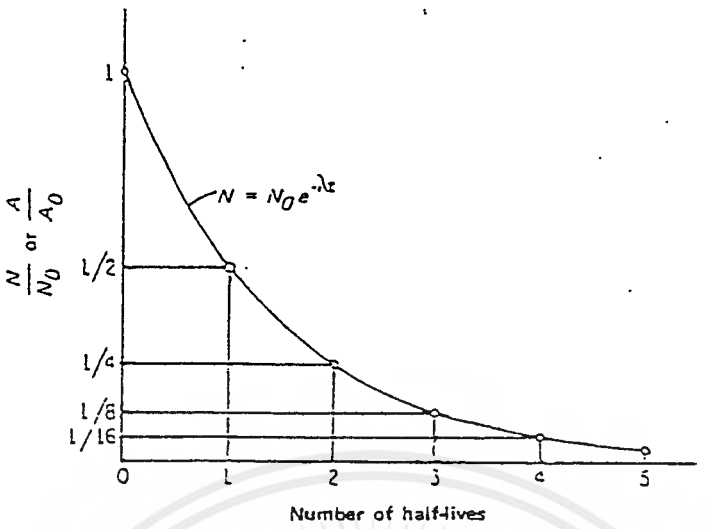
$$e^{-\lambda t_{1/2}} = 1/2 \quad \text{.....(4.3)}$$

หรือ

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.6831}{\lambda} \quad \text{.....(4.4)}$$

ค่า half-life เป็นส่วนกลับกับ Decay Constant (λ) ดังแสดงในกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟ Exponential

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า half-life กับสถานภาพของสารตามธรรมชาติและสารที่เกิดจากการผลิตโดยมนุษย์

Naturally Occurring		
Species	Activity	Half-Life
Thorium-232	Alpha	1.39×10^{10} yr
Uranium-238	Alpha	4.5×10^{9} yr
Uranium-235	Alpha	7.1×10^{8} yr

Artificial		
Species	Activity	Half-Life
Thorium-233	Beta	23 min
Protactinium-233	Beta	27.4 days
Uranium-233	Alpha	1.62×10^{5} yr
Uranium-239	Beta	23.5 min
Neptunium-239	Beta	2.3 days
Plutonium-239	Alpha	2.43×10^{4} yr

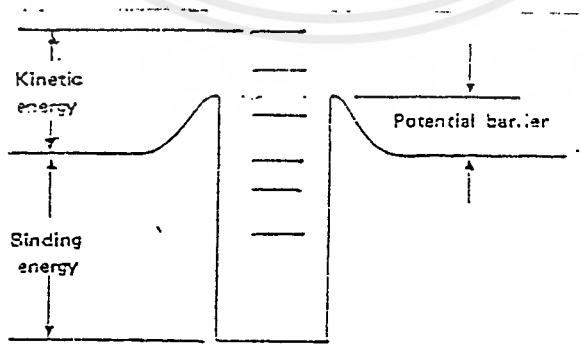
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยของสารกัมมันตรังสี

หน่วยที่ใช้ในการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสี เราเรียกว่า "Curie" ซึ่งประมาณการสลายจากสารกัมมันตภาพรังสีที่ชื่อ radium 1 กรัม มีการสลายตัวจำนวน 3.7×10^{10} ต่อวินาที (dis/sec) ซึ่งหน่วยนี้สามารถทำให้เล็กลงได้โดยทำเป็น millicurie (mc.) หรือ microcurie (μc.) โดยหารด้วย 1,000 และ 1,000,000 ตามลำดับ จะได้เป็น 3.7×10^{7} dis/sec และ 3.7×10^{4} dis/sec ตามลำดับเช่นกัน แต่ถ้าเป็นสารที่มีขนาดใหญ่ก็สามารถคูณ 1,000 และ 1,000,000 จะได้ kilocurie และ megacurie ตามลำดับ

Gamma & X-Rays

ในช่วงที่สารกัมมันตรังสีกำลังเกิดการสลายตัว เป็นผลทำให้นิวเคลียสอยู่ในสภาวะ Exited State ที่มีพลังเกินกว่าระดับ Ground State ซึ่งจะเกิดโดยทันทีทันใดอาจจะประมาณ 10^{-14} วินาที โดยต้องเปลี่ยนรูปแบบให้สำเร็จ ทำให้นิวเคลียสที่อยู่ในสภาวะ Excite เกิดการแพร่พลังงานออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า "Gamma Rays" ซึ่งรังสีตัวนี้มีคุณสมบัติคล้ายรังสี X-Rays ที่มีความสามารถในการเจาะทะลุทะลวงสูงและเป็นคลื่นสั้นประมาณ 10^{-9} ถึง 10^{-11} ซม. ซึ่งรังสีแกมมาจะเกิดได้ต้องมาจากการที่นิวเคลียสเคลื่อนที่จากแหล่งพลังงานสูงมายังแหล่งพลังงานที่ต่ำกว่า ดังแสดงในรูป

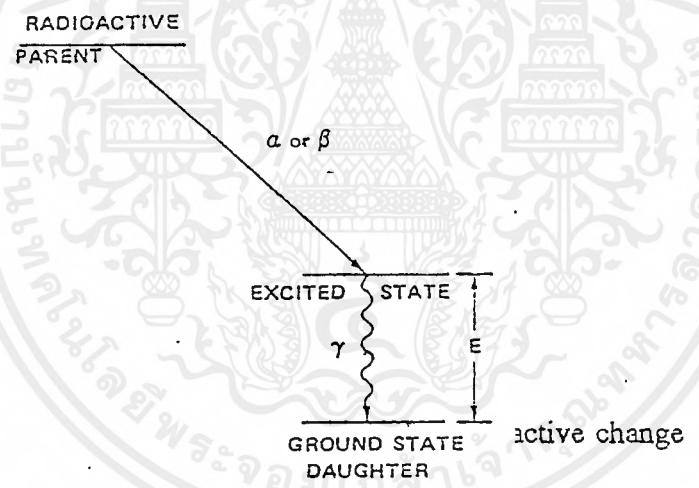


รูปที่ 4.3 แสดง Emission of gamma rays in radioactive change

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิวเคลียร์ฟิชชัน

ในปฏิกิริยานิวเคลียร์อนุภาคบางตัวจะถูกดูดเข้าไปรวมกับนิวเคลียสที่อยู่ในสภาวะ highly Excited และกลายเป็น Compound Nucleus และ Compound Nucleus นี้จะปล่อยอนุภาคออกมาซึ่งอาจจะเป็น gamma rays ก็ได้ เมื่อเคลื่อนตัวไปในที่ที่มีพลังงานต่ำกว่า ถ้าอนุภาคข้างใน Compound Nucleus มีสถานะเป็นบวก (+) ก็จะสามารถผ่าน Potential barrier ออกไปได้เนื่องจากมี repulsive force แต่ถ้าหากบังเอิญว่าอนุภาคนั้นอยู่ใกล้นิวเคลียส พลังงานจลน์ที่อนุภาคมีอยู่นั้นก็จะกลายเป็น Potential Energy ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งมี Short-range nuclear force เกิดขึ้นและมีค่าเท่ากับ repulsive force ก็จะทำให้อนุภาคเข้าไปอยู่ภายในนิวเคลียสและกลายสภาพเป็น Binding Energy

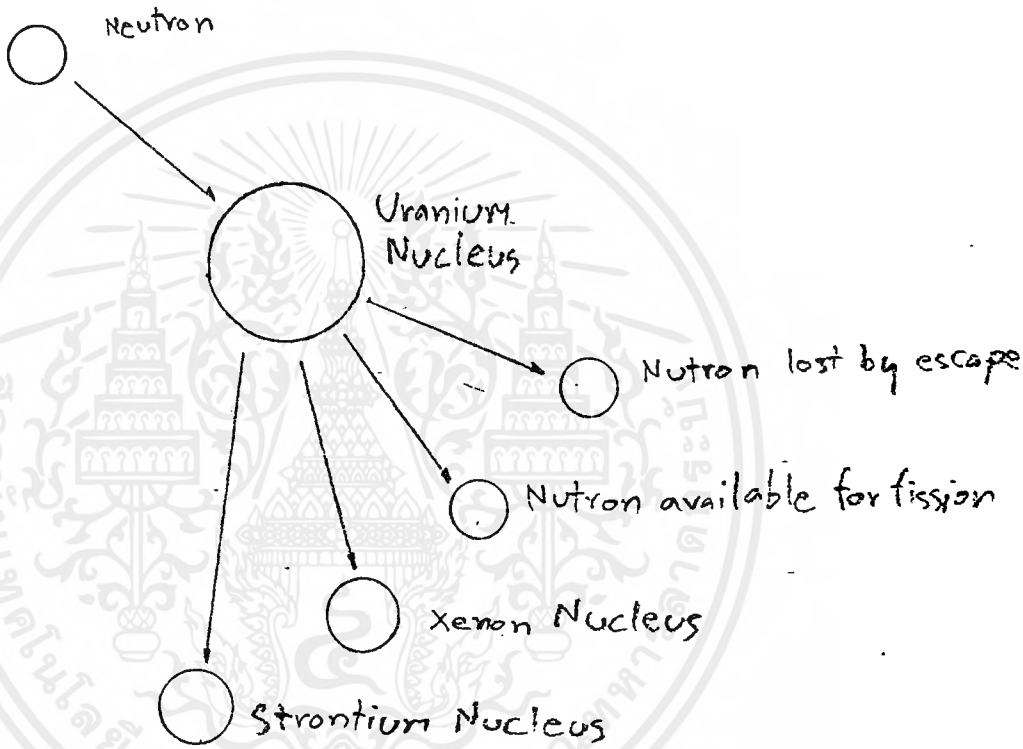


รูปที่ 4.4 แสดงระดับพลังงานของนิวเคลียส

จากกลศาสตร์ควอนตัมกล่าวว่า มีความเป็นไปได้น้อยมากที่อนุภาคที่มีพลังงานน้อยกว่า Potential barrier จะสามารถเข้าสู่นิวเคลียสได้ แต่ถ้าหากเป็น Neutron และ Gamma ที่ไม่มีประจุก็จะสามารถเข้าสู่นิวเคลียสได้โดยอิสระ

ปฏิกิริยาฟิชชันจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อนิวเคลียสสามารถจับวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าอะตอมหรือเรียกว่า "Neutron" เข้ามาได้ทำให้แยกเป็น Nuclei ขนาดเล็กลง 2 ตัวและก็มีพลังงานเกิดขึ้น แต่ในบางที Neutrons ก็แพร่อนุภาคออกมา 2-3 อนุภาคและถ้าหากอนุภาคใดอนุภาคหนึ่งถูกนิวเคลียสตัวอื่นดูดได้ก็จะกลายเป็นปฏิกิริยาฟิชชันแบบลูกโซ่

ต่อไป และถ้าหากมีอุปกรณ์ที่สามารถทำให้ปฏิกิริยาฟิชชันเกิดขึ้นได้พร้อมกับอุปกรณ์บำรุงรักษา,อุปกรณ์ควบคุม ทำให้มีพลังงานเพิ่มขึ้นและเมื่อรวมสิ่งเหล่านี้แล้วเราเรียกว่า "Nuclear Reactor"



รูปที่ 4.5 แสดงปฏิกิริยาฟิชชัน

Nuclear Fission คือ ผลของกระบวนการที่พยายามดึง Neutron มาให้ได้ ซึ่งจะทำแบบนี้ได้ก็เฉพาะธาตุหนักเท่านั้น เช่น Thorium,Uranium and Plutonium และก็รวมไปถึงไอโซโทปของธาตุเหล่านี้ด้วย เช่น Uranium233,Uranium235 and Plutonium239 เป็นธาตุที่ต้องการนิวตรอนที่เคลื่อนที่ช้าจึงจะทำปฏิกิริยาได้ดีแต่ถ้าเป็นพวก Thorium232 และ Uranium238 จะต้องการนิวตรอนเร็วเพื่อที่จะสามารถเกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thorium ไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรงรวมถึง Uranium ธรรมชาติ (U-238) จะมี Uranium ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในปฏิกิริยาฟิชชันได้เพียง 0.7% ซึ่งตัวที่ใช้ได้คือ Uranium235 นั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามทั้ง Thorium และ Uranium238 ก็สามารถแปลงเป็นเชื้อเพลิงในปฏิกิริยาฟิชชันได้เช่นกัน

เมื่อ Uranium238 และ Thorium ธรรมชาติ (Thorium232) ดึงดูด Neutron เข้าไปก็ไม่สามารถทำปฏิกิริยาใด ๆ ได้ แต่ยังมีวิธีการรองรับก็คือการเปลี่ยนแปลงรูปร่างใหม่และนำไปใช้ในปฏิกิริยาฟิชชันได้ โดยสาร 2 อย่างที่กล่าวมาที่ไม่สามารถใช้ในปฏิกิริยาฟิชชันได้เราเรียกว่า "fertile materials" ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็น Plutonium239 และ Uranium235 ได้และสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในปฏิกิริยาฟิชชันได้ด้วยเราเรียกกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงนี้ว่า "conversion" ตามสมการ

$$_0n^1 + {}_{92}U\text{-}238 \text{ ----------} > {}_{92}U\text{-}238 + \gamma \quad \text{.....(4.5)}$$

$$_{92}U\text{-}239 \text{ ----------} > {}_{93}N_p\text{-}239 + {}_{-1}e^0 \quad \text{.....(4.6)}$$

$$_{93}N_p\text{-}239 \text{ ----------} > {}_{94}Pu\text{-}239 + {}_{-1}e^0 \quad \text{.....(4.7)}$$

เตาปฏิกรณ์ที่มี "fissionable material" ออกมามาก ๆ เราจะเรียกว่า "conuerter" และถ้า fissionable material ที่ผลิตได้มีมากกว่าที่นำไปใช้งานจะเรียกว่า "Breeder"

นิวตรอนอิสระที่ทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับอะตอมของธาตุยูเรเนียม 235 ได้ง่ายควรมีความเร็วน้อยกว่าหรือประมาณ 2,200 เมตร/วินาที และอะตอมของธาตุที่เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เท่านั้นจะเกิดปฏิกิริยาแตกตัวกับนิวตรอนอิสระ แต่ไม่จำเป็นเสมอไป เพราะบางครั้ง นิวตรอนอิสระอาจถูกจับไว้เฉย ๆ ไม่เกิดปฏิกิริยาแตกตัว แต่จะเปลี่ยนอะตอมของธาตุยูเรเนียม 235 เป็นไอโซโทปของธาตุยูเรเนียม

ธาตุใหม่ที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัวเรียกว่าผลิตผลจากปฏิกิริยาแตกตัว (Fission Products) ปกติจะมีขนาดใหญ่ 2 ชิ้น นอกนั้นเป็นเศษชิ้นเล็ก ๆ ผลิตผลจากปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกตัวชิ้นใหญ่จะมีเลขมวลประมาณ 140 กับ 94 ซึ่งตรงกับธาตุ Xe140 และ Sr94 (หรืออาจจะเป็นธาตุอื่นซึ่งมีเลขมวลใกล้เคียงกันก็ได้) นิวตรอนอิสระที่ได้จากปฏิกิริยาแตกตัวจะมีความเร็วมากกว่า 4.4 ล้านเมตรต่อวินาที ความเร็วสูงเช่นนี้จะทำปฏิกิริยานิวเคลียร์กับยูเรเนียม 235 ได้ยาก จึงต้องมีวิธีการลดความเร็วหรือหน่วงความเร็วลงให้เหลือประมาณ 13,800 เมตร/วินาที

การคำนวณทางทฤษฎีถึงจำนวนพลังงานจากปฏิกิริยาแตกตัว (Fission Reaction)

1)พลังงานที่ได้จากการแตกตัวของ U235 ครั้งหนึ่ง ๆ ในรูปต่าง ๆ ดังนี้

พลังงานจลน์ในการแตกตัวของเป้า (Fission Fragments)	167 MeV.
พลังงานจลน์ในนิวตรอนที่หลุดออกมาจากการแตกตัว	5 MeV.
พลังงานในรูปรังสีแกมมา (Fission Gamma)	5 MeV.
พลังงานจากการเสื่อมสลายตัวให้รังสีเบต้า (Beta decay)	5 MeV.
พลังงานจากการเสื่อมสลายตัวให้รังสีแกมมา (Gamma decay)	5 MeV.
พลังงานในรูปอื่น (Nutrinos) ประมาณ	10 MeV.

รวมทั้งหมด 197 MeV. เพื่อความสะดวกในทางปฏิบัติคิดเป็น 200 MeV. หรือ 200,000,000 eV. ต่อการแตกตัว 1 ครั้ง

2)ธาตุ U235 1 กรัม ถ้าเกิดปฏิกิริยาแตกตัวหมด จะให้พลังงานดังนี้

จากอาโวร์กาโดนัมเบอร์ (Avogadro's number) 1 gm mole ประกอบด้วย 6.03×10^{23} อะตอม ดังนั้น U235 จำนวน 1 กรัม จะมี $6.03 \times 10^{23}/235$ เท่ากับ 2.25×10^{21} อะตอม ในการแตกตัวครั้งหนึ่ง

(1 อะตอม ของ U235 ให้พลังงานประมาณ 200 MeV.)

1 eV.	=	1.6×10^{-12}	erg.
1 erg.	=	10^{-7}	joule
1 watt	=	1	joule/sec.
200 MeV.	=	$(200 \times 10^{6}) \times (1.6 \times 10^{-12})$	erg.
	=	3.204×10^{-4}	erg.
	=	$(3.024 \times 10^{-4}) \times 10^{-7}$	joule.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ U235 จำนวน 1 กรัม เท่ากับ 2.52×10^{21} อะตอม

จะให้พลังงาน = $(3.024 \times 10^{-4}) \times (2.52 \times 10^{21})$ joule.

= 8.234×10^{10} joule หรือ Watt sec.

= $\frac{8.234 \times 10^{10}}{3,600 \times 1,000}$

= 2.3×10^{4} kWh.

พลังงานจำนวนนี้ เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นในกรณีที่ U235 จำนวน 1 กรัม เกิดการแตกตัวขึ้นทั้งหมด แตกเป็น 2 อนุภาคผลิตผล (Fragments) และมีมวลจำนวนหนึ่งสูญหายไป มวลที่สูญหายไปนี้ใช้พลังงาน 23,000 kWh.

3)ในการคำนวณธาตุ U235 หนัก 1 กรัม แปรสภาพเป็นพลังงานไปจนหมดสิ้น จะมีพลังงาน คำนวณได้จากสูตรไอสไตน์ $E = mc^2$

เมื่อ M = 1 กรัม (มวลของ U235)

C = 3×10^{10} ซม./วินาที (ความเร็วแสง)

E = $1 \times (3 \times 10^{10})^2$

= 9×10^{20} erg.

1 Watt = 1 joule/sec.

= 10^{7} erg.

E = $\frac{9 \times 10^{20}}{10^{7}}$ joule หรือ Watt sec.

= $\frac{9 \times 10^{20}}{10^{7} \times 3,600 \times 1,000}$

= 2.5×10^{7}

คือ 2.5×10^{7} kWh. เป็นค่าพลังงานที่ U235 จำนวน 1 กรัม แปรสภาพเป็นพลังงานไปจนหมดสิ้นไม่มีอะไรเหลืออยู่เลยหรือเท่ากับ Equivalent energy ที่มีอยู่ใน U235 จำนวน 1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงาน 200 MeV. ที่ได้จาปฏิกิริยาแตกตัวเกิดจากพลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของผลิตผลจากปฏิกิริยาแตกตัวนิวเคลียร์ (Fission products) และรังสีที่ถูกทำให้หยุดในเชื้อเพลิงนิวเคลียร์โดยทันที และได้เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ถ้าสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นกระแสไฟฟ้าได้ทั้งหมด จะได้พลังงานประมาณ 8.88×10^{-18} kWh.

(หรือ U235 1 กรัม ให้พลังงานไฟฟ้า 23,000 kWh. แต่ในทางปฏิบัติสามารถนำมาใช้ได้เพียง 1/3 ส่วนเท่านั้น อีก 2/3 ได้เสียไปในวงจรระบบไอน้ำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิงนิวเคลียร์

เชื้อเพลิงนิวเคลียร์เหมือนเชื้อเพลิงทั่ว ๆ ไป ที่สามารถให้พลังงานความร้อนได้ แต่มีส่วนต่างออกไปคือ

-ให้ความร้อนโดยปฏิกิริยาแตกตัว (nuclear fission)

-มีสภาพกายภาพคงเดิมแม้ปริมาณยูเรเนียมลดลง

-เชื้อเพลิงจะไม่หมดทันทีในคาบแรกที่ใช้และอาจนำมาสกัดใช้ใหม่ได้อีก

-ขณะเกิดปฏิกิริยาแตกตัวจะมีธาตุอื่นซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เกิดขึ้นคือ พลูโตเนียม-239

-ไม่มีของเสียออกสู่ภายนอก

ยูเรเนียม

ธาตุยูเรเนียมค้นพบเมื่อปี พ.ศ. 2332 โดยนักเคมีชาวเยอรมันชื่อเฮส. เอ็ม คลาโปรท สมบัติและเรื่องน่ารู้เกี่ยวกับธาตุนี้มีดังนี้

-น้ำหนักอะตอม 238.07

-เลขอะตอม 92

-เป็นธาตุกัมมันตรังสีที่ให้ความแรงรังสีต่ำ

-ในตระกูลมีถึง 15 ไอโซโทป หนึ่งในไอโซโทป คือ ยูเรเนียม-235 พบในธรรมชาติ ร้อยละ 0.72 โดยน้ำหนัก สามารถใช้เป็นวัสดุต้นพลังงานจากการเกิดปฏิกิริยาแตกตัวทางนิวเคลียร์ขณะที่ยูเรเนียม-238 ซึ่งมีเกือบร้อยละ 99.3 ไม่สามารถเกิดได้ในสภาวะปกติ

-พบตามเปลือกโลก ประเมินว่ามี 4 ส่วนในล้านส่วน หรือ 1.8 กรัมต่อตัน

-มีปริมาณต่ำกว่าตะกั่วเล็กน้อย แต่สูงกว่าเงินและปรอทมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์</u>

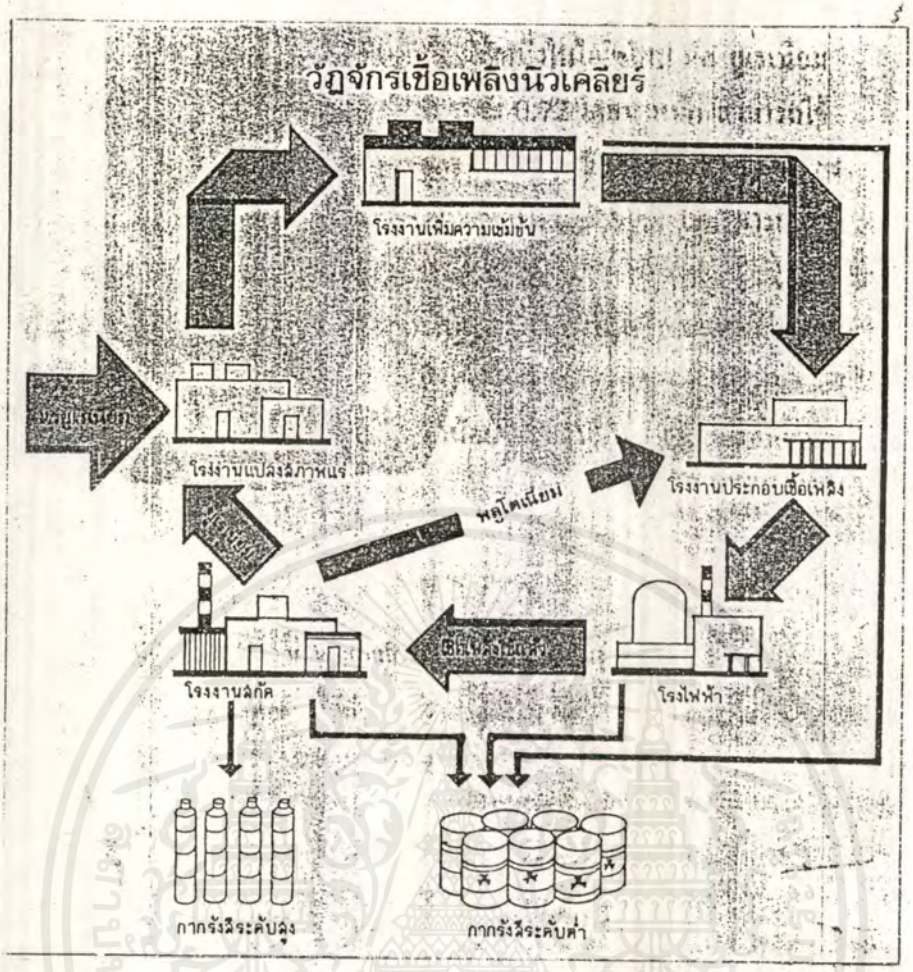
วัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ คือ กระบวนการนำวัสดุต้นพลังงาน (ยูเรเนียม-235) มาประกอบขึ้นเป็นรูปเชื้อเพลิง รวมไปถึงการจัดการเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว ขั้นตอนโดยสังเขปได้แก่การทำเหมือง,การสกัด,การแปลงสภาพ,การทำให้เข้มข้น (enrichment) , การสร้างและประกอบมัดเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.6 แสดงแค้กเหลืองและสินแร่ยูเรเนียม

การทำเหมืองแร่ยูเรเนียม มีขั้นตอนที่ยุ่งยากพอสมควร ดังนั้นการทำเหมืองแร่นี้ต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดอีกครั้ง จากการสำรวจขั้นต้นจะพบว่าแร่ยูเรเนียมมีปริมาณที่สามารถรองรับความต้องการการใช้เนื่องจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบัน และที่จะเกิดขึ้นในอนาคต แต่จากการสำรวจภายในประเทศไทยยังไม่พบแหล่งผลิตแร่ยูเรเนียมที่สามารถนำมาใช้กับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้ และถึงจะพอแหล่งแร่ได้ แต่ก็จะต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับการแปรรูปอยู่ดี เพราะจะต้องมีการสร้างโรงงานแปรรูปขึ้นมา(ตามกรรมวิธีที่จะได้กล่าวต่อไป) จากการศึกษา ในประเทศต่างๆที่มีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ แต่ไม่มีโรงงานแปรรูปแร่ยูเรเนียม ก็สามารถแก้ไขได้โดยการสั่งซื้อแร่ยูเรเนียมสำเร็จรูปมาจากต่างประเทศที่เป็นผู้ผลิตได้ทันที แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นทางผู้ที่ศึกษาในด้านนี้ต้องทำการวิเคราะห์ให้ละเอียดถี่ถ้วน เนื่องจากหากเกิดปัญหากับประเทศผู้ผลิตแร่แล้ว อาจมีผลทำให้ประเทศนั้นๆไม่ส่งแร่มาให้ประเทศเราตามต้องการ เป็นผลให้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ จะเกิดความเสียหายอย่างมากมายตามมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

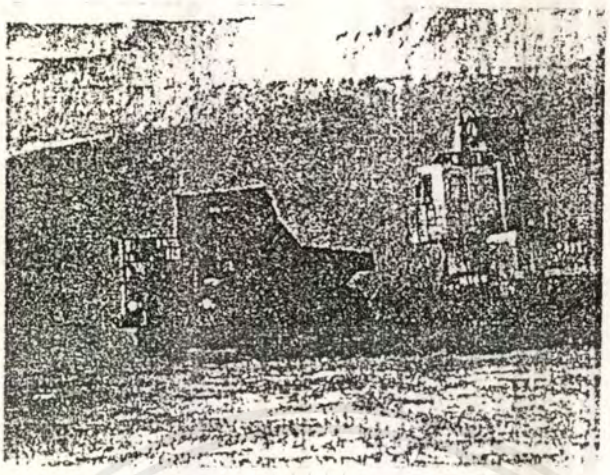
<u>การทำเหมือง</u>

แร่ยูเรเนียมมักพบปะปนกับแร่อื่น ๆ เช่น ทอง,วานาเดียม,ฟอสเฟส,ทองแดง หรือถ่านลิกไนต์ เทคนิคการทำเหมืองแร่ยูเรเนียมมีอยู่ 2 แบบ คือ การทำเหมืองเปิดและเหมืองใต้ดิน การเลือกใช้เทคนิคใดขึ้นอยู่กับระดับความลึก,ขนาดของแหล่งแร่,เนื้อแร่และลักษณะการเกิด

การทำเหมืองเปิด คือลักษณะการทำเหมืองแบบขุดเปิดหน้าดินทั้งหมด ซึ่งแร่ลักษณะนี้จะอยู่ค่อนข้างตื้น ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่าย และไม่ก่อปัญหาที่ยุ่งยากในการทำเหมือง(ไม่ต้องทำการศึกษาผลกระทบจากการทำเหมือง)

การทำเหมืองปิด คือเป็นลักษณะทำเหมืองใต้ดิน เนื่องจากแร่ที่พบจะอยู่ลึก ถ้าเป็นลักษณะนี้จำเป็นต้องมีการศึกษาวิธีการทำเหมืองอย่างละเอียด เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงเนื่องจากเหมืองถล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงการทำเหมืองเปิด

การสกัด

แร่ที่บดและโม่แล้วจะผ่านการชะล้างและสกัดยูเรเนียมออกไซด์ (Black oxide-U_3O_8) ออกมาโดยใช้ตัวทำละลาย แล้วจึงให้ยูเรเนียมตกตะกอนในแอมโมเนีย จากนั้นนำไปกรองและอบให้แห้ง ยูเรเนียมออกไซด์ที่ได้เป็นยูเรเนียมออกไซด์เข้มข้น เรียกว่า เค้กเหลือง (Yellow Cake)

การแปลงสภาพแร่ U_3O_8 เป็น UF_6

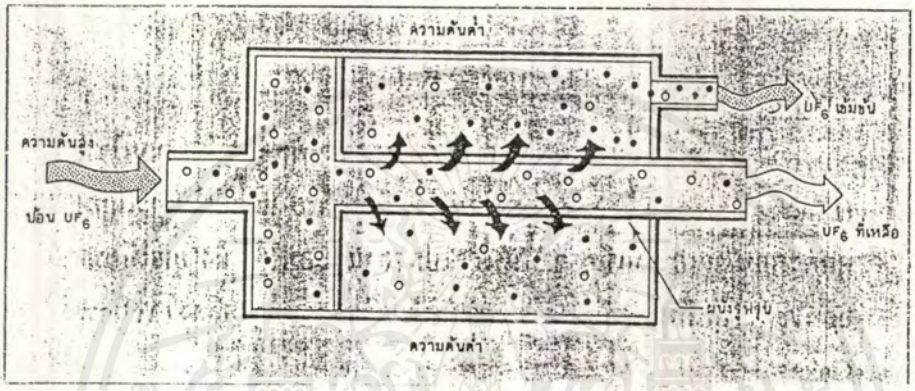
เค้กเหลืองที่ได้จากการสกัดจะถูกทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งด้วยตัวทำละลายและเผาไล่สิ่งเจือปนออกจะได้เป็นยูเรเนียมไตรออกไซด์ (UO_3 หรือ Orange Oxide) จากนั้นจะถูกแปลงเป็นยูเรเนียมไดออกไซด์ (UO_2),ยูเรเนียมเตตราฟลูออไรด์ (UF_4 หรือ เกลือเขียว) และก๊าซยูเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์ (UF_6) ตามลำดับ ก่อนที่จะถูกนำไปทำให้เข้มข้น

การทำให้เข้มข้น (Enrichment)

การทำให้เข้มข้นเป็นการแยกไอโซโทปของยูเรเนียม-235 และยูเรเนียม-238 ออกจากกันกล่าวคือยูเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์ UF_6 อยู่ในสภาพก๊าซจะผ่านกระบวนการกระจายก๊าซ (Gaseous Diffusion) พลังงานจลน์ที่เกิดขึ้นในแต่ละโมเลกุลจะแปรไปตามมวล เป็นผลให้มวลของยูเรเนียม-235 และยูเรเนียม-238 ในโมเลกุลของ UF_6 แยกออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้ก๊าซ UF_6 ผ่านกระบวนการดังกล่าวหลาย ๆ ครั้ง จะเพิ่มความเข้มข้นของยูเรเนียม-235 ได้ตามต้องการเช่นเพิ่มเป็น 3-4% จากนั้นแปลง UF_6 ให้เป็นสารประกอบในรูปที่ใช้ผลิตเป็นเม็ดเชื้อเพลิง

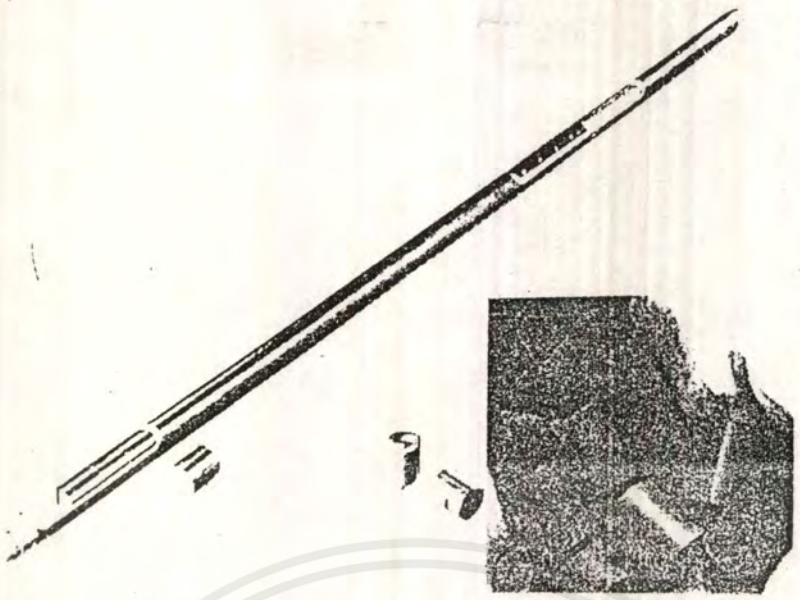


รูปที่ 4.9 แสดงวิธีการทำยูเรเนียม-235 ให้เข้มข้น

<u>การสร้างและการประกอบมัดเชื้อเพลิง</u>

ผง UO_2 จะถูกอัดเป็นเม็ดเชื้อเพลิง (Pellet) คล้ายแท่งชอล์กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. สูง 2 ซม. และบรรจุอยู่ในท่อยาวที่ทำด้วยโลหะผสมเซอร์โคเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติทนทานต่อแรงกดดันสูงความร้อนจากสารระบายความร้อนหรือการหล่อเย็นที่มีการไหลรุนแรงและสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนเป็นพิเศษ นอกจากนี้ต้องมีคุณสมบัติทางนิวเคลียร์ที่สำคัญคือมีความสามารถดูดจับนิวตรอนต่ำ จากนั้นนำแท่งเชื้อเพลิงไปบรรจุก๊าซฮีเลียมเพื่อเป็นตัวช่วยพาความร้อนและปิดหัวท้ายให้สนิท

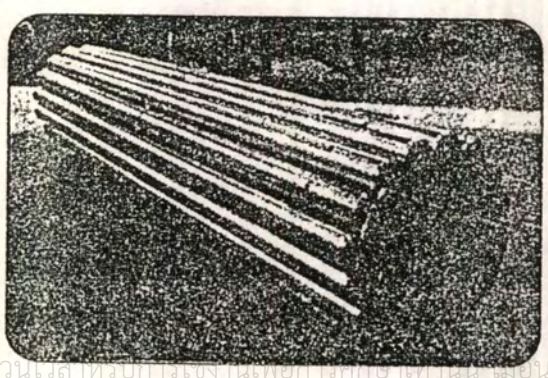
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

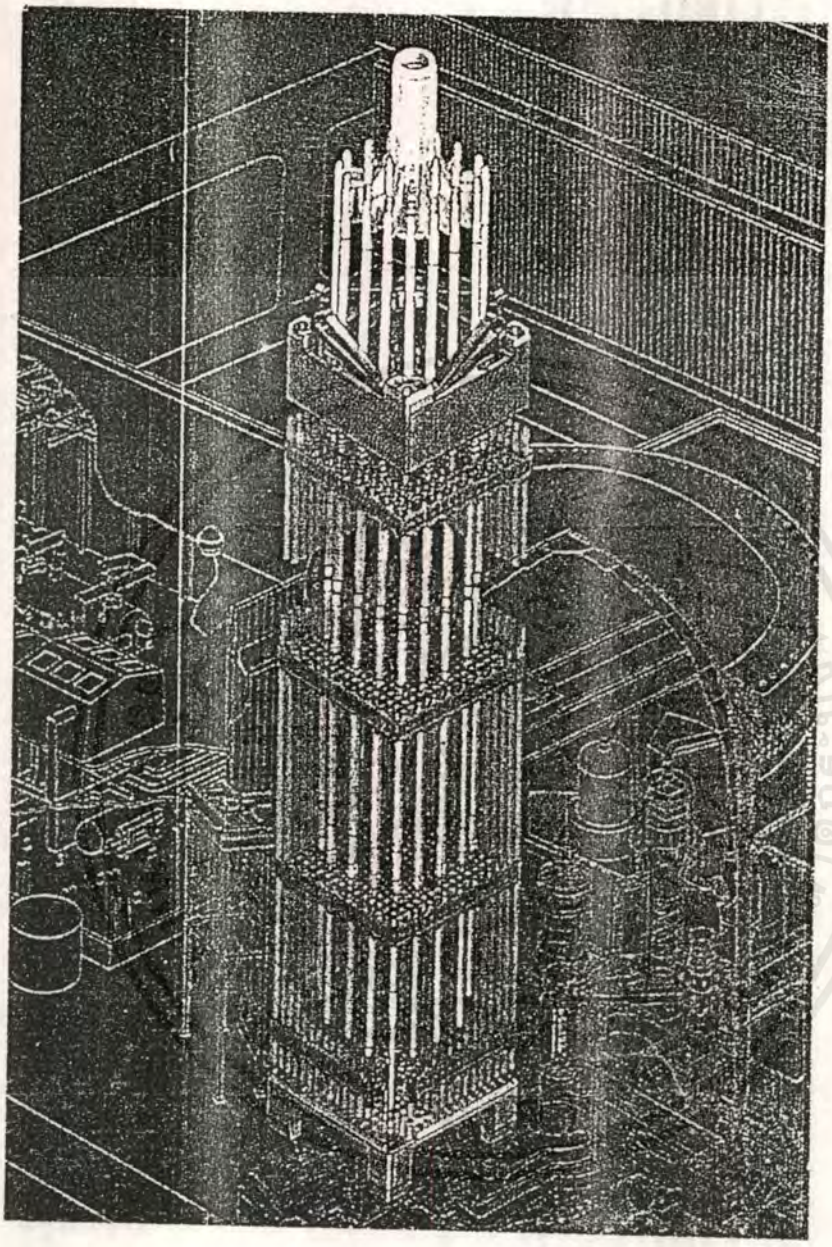
แท่งเชื้อเพลิงจะถูกนำมารวมกันเป็นชุดเรียกว่า มัดเชื้อเพลิง (Fuel Assembly) ซึ่งจะมีช่องให้สารระบายความร้อนผ่าน





รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะมัดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

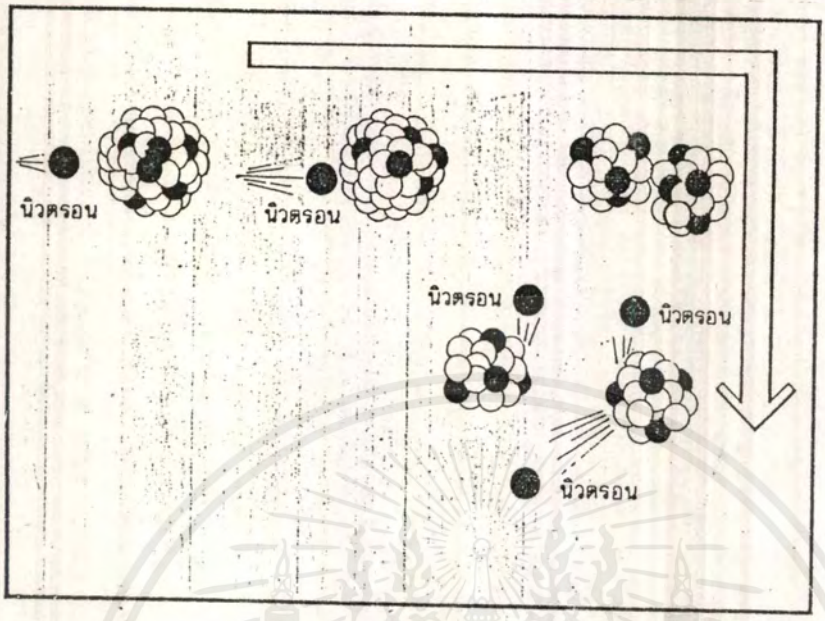


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะมัดเชื้อเพลิงอีกแบบหนึ่ง

<u>การผลิตพลังงาน</u>

ปฏิกิริยาแตกตัวหรือฟิชชัน (Nuclear Fission) เกิดจากการยิงอนุภาคนิวตรอนพลังงานต่ำเข้าชนนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ที่อยู่ในเชื้อเพลิงแล้วทำให้นิวเคลียสนั้นแตกตัวพร้อมทั้งให้พลังงานความร้อนมหาศาลกว่า 200 Mev. (ล้านอิเลคตรอนโวลท์) ซึ่งมากกว่าเชื้อเพลิงทั่วไปกว่า 2.5 ล้านเท่า และเกิดอนุภาคนิวตรอนใหม่ออกมาซึ่งอนุภาคนิวตรอนใหม่เหล่านี้จะไปทำปฏิกิริยาต่อเป็นลูกโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$^{235}U + {}^{1}n \rightarrow {}^{236}U \rightarrow {}^{89}Kr + {}^{144}Ba + 3\ {}^{1}n$

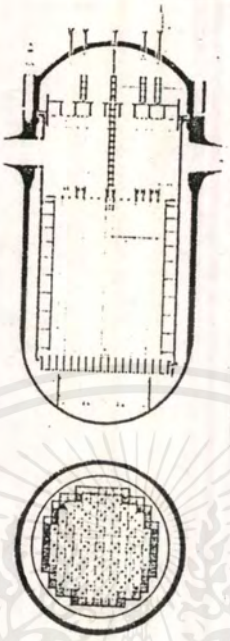
ผลิตผลจาก 2-3 นิวตรอน
การแตกตัว

รูปที่ 4.13 แสดงปฏิกิริยาแตกตัวทางนิวเคลียร์หรือฟิชชัน

<u>การจัดการเชื้อเพลิง</u>

เมื่อใช้งานไปปริมาณเชื้อเพลิงจะค่อย ๆ ลดลง ดังนั้นในแต่ละปีจะมีการเปลี่ยนและสับเปลี่ยนมัดเชื้อเพลิง โดยส่วนที่อยู่ในใจกลางแกนปฏิกรณ์จะถูกนำออก เชื้อเพลิงใหม่จะถูกบรรจุเข้าไปแทนที่ประมาณ 1 ใน 3 ส่วนที่อยู่วงนอกจะถูกสับเปลี่ยนเข้าในใจกลางแกนปฏิกรณ์แทนโดยมีการใช้คณิตศาสตร์ชั้นสูงเข้ามาช่วยในการคำนวณ การจัดการเช่นนี้ยังเป็นการช่วยยืดอายุของเชื้อเพลิง ซึ่งไม่สามารถทำได้ในเชื้อเพลิงทั่ว ๆ ไป เชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้มาแล้วประมาณ 3-4 ปี จะถูกนำออกจากแกนปฏิกรณ์โดยวิธีการเปลี่ยนใต้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงการจัดวางมัดเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์

ผลิตผลจากการแตกตัว (Fission Products)

เชื้อเพลิงแรกใช้จะประกอบด้วยยูเรเนียม-235 เข้มข้นประมาณ 3% และยูเรเนียม -238 เข้มข้นประมาณ 97% แต่เมื่อนำออกมาจากหม้อปฏิกรณ์ หลังจากที่ใช้แล้วจะมียูเรเนียม-235 เข้มข้นประมาณ 1% ยูเรเนียม-238 เหลือประมาณ 95% และมีพลูโตเนียมประมาณ 1% และผลิตผลอื่น ๆ ที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาฟิชชันอีกประมาณ 3% ซึ่งมีไอโซโทปของธาตุต่าง ๆ กว่า 200 ชนิด บางไอโซโทปก็มีความเสถียรแต่มีหลายไอโซโทปที่มีสภาพเป็นสารกัมมันตภาพรังสี

ตารางที่ 4.3 แสดงผลิตผลจากการแตกตัวที่สำคัญ

ไอโซโทป	เลขมวล	อายุครึ่งชีวิต
Barium	140	12.8 วัน
Cerium	141	32.5 วัน
Cerium	144	590 วัน
Cerium	137	33 วัน
Iodine	129	17 ล้านปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

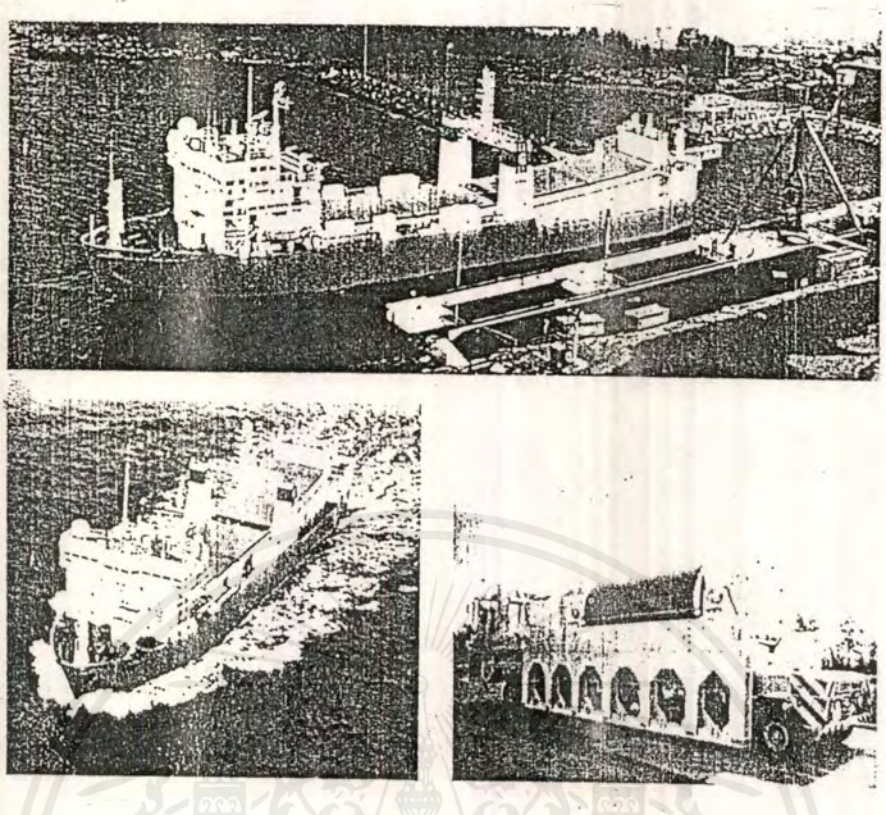
Krypton	85	9.4 ปี
Lanthanum	140	40 ชั่วโมง
Niobium	95	35 วัน
Praseodymium	143	13.8 วัน
Praseodymium	144	17 นาที
Promethium	147	2.26 ปี
Rhodium	106	30 วินาที
Ruthenium	103	39.8 วัน
Ruthenium	106	1 ปี
Strontium	89	54 วัน
Strontium	90	25 ปี
Technetium	99	500,000 ปี
Tellurium	129	34 วัน
Xenon	133	7.5 วัน
Zirconium	95	65 วัน

<u>การนำเชื้อเพลิงใช้แล้วมาสกัดใช้ใหม่</u>

เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วเมื่อนำออกจากหม้อปฏิกรณ์จะไม่ถูกนำไปขจัดโดยทันที แต่จะต้องผ่านขั้นตอนในการจัดการเอาเพลิงต่อไปเพื่อนำส่วนที่มีค่าอย่างอื่นที่มีอยู่ไปทำประโยชน์ต่อไป

หลังจากที่เชื้อเพลิงถูกทิ้งให้เย็นแล้วจะถูกนำไปบรรจุในถังที่มีการป้องกันรังสีไว้อย่างดีโดยการบรรจุจะกระทำอยู่ใต้น้ำ จากนั้นขนส่งไปโรงงานสกัดเชื้อเพลิง โดยรถบรรทุกหรือรถไปที่ถูกออกแบบเฉพาะ

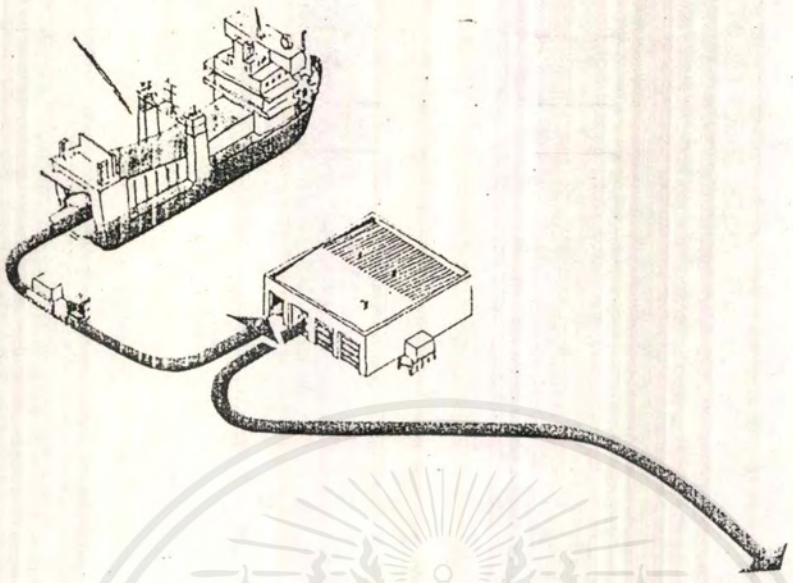
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงการขนส่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว

เมื่อถึงโรงงานเชื้อเพลิงจะถูกแช่ในสระน้ำเป็นระยะเวลาหนึ่งจากนั้นจุถูกนำไปเก็บไว้ในห้องที่มีเครื่องมือกลที่สามารถถอดมัดเชื้อเพลิงและส่วนห่อหุ้มออกได้ จากนั้นแท่งเชื้อเพลิงจุถูกตัดออกเป็นท่อนสั้น ๆ แล้วนำไปใส่ในกรดไนตริคซึ่งเป็นตัวทำละลาย เชื้อเพลิงที่เป็นสารละลายจะถูกสกัดเพื่อแยกยูเรเนียมและพลูโตเนียมออกจากผลิตผลฟิชชันอื่น ๆ จากนั้นก็นำแร่ทั้ง 2 ไปใส่ในตัวทำละลายเพื่อทำการสกัดให้บริสุทธิ์ในขั้นต่อไป สุดท้ายจะได้สารละลายยูเรเนียม และพลูโตเนียมไนเตรตส่วนผลผลิตจากการแตกตัวหลายไอโซโทปสามารถถูกนำมาใช้ทางการแพทย์และด้านอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



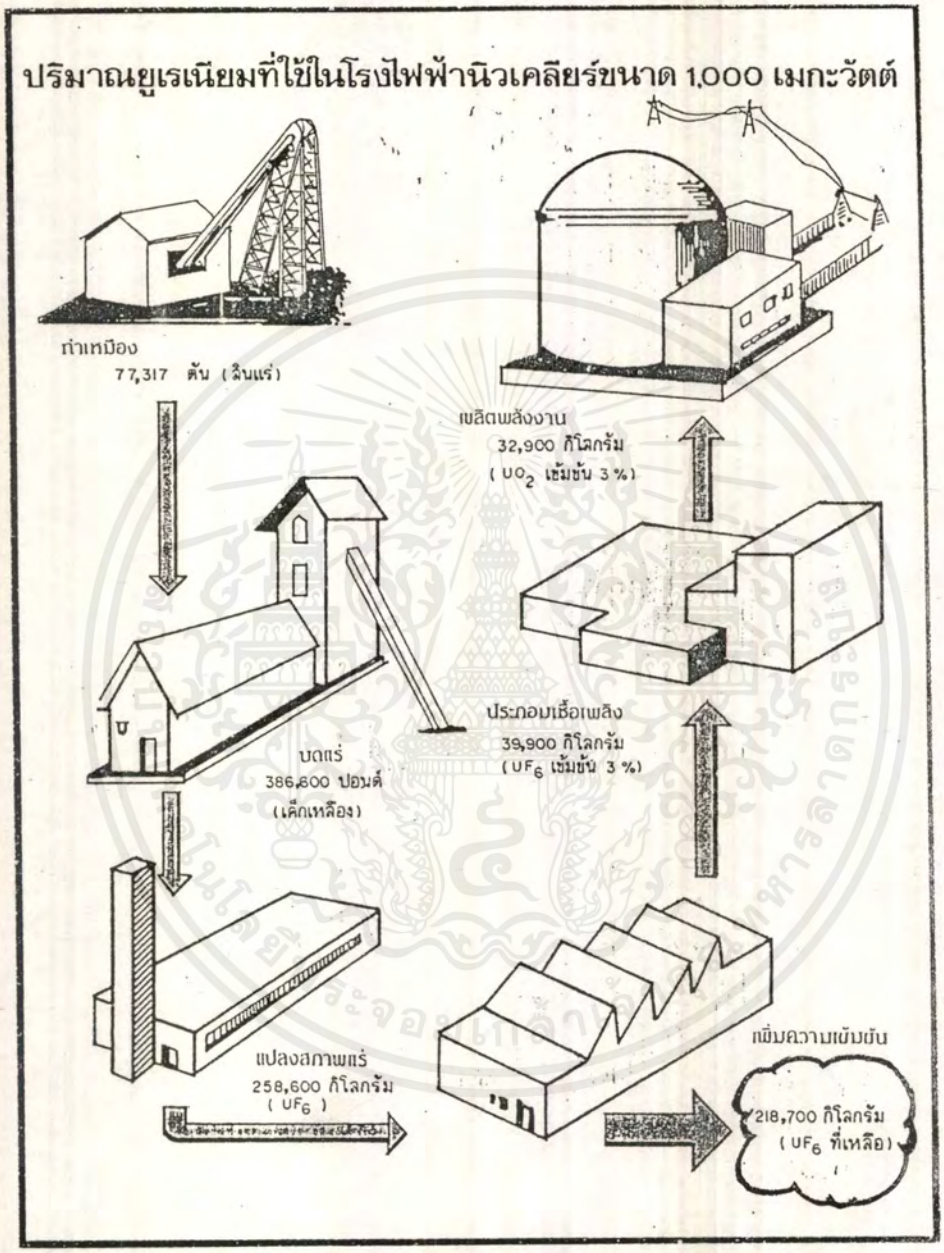
รูปที่ 4.16 แสดงการขนส่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วไปสู่โรงงานสกัดเชื้อเพลิง

ระยะเวลาที่ใช้โดยประมาณสำหรับแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

ทำเหมือง	3	เดือน
บด,แยกแร่	3	เดือน
เปลี่ยนเป็น UF6	2	เดือน
ทำให้เข้มข้น	3	เดือน
ประกอบเป็นมัดเชื้อเพลิง	9	เดือน
ผลิตพลังงาน	36	เดือน
ถอดเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว	3	เดือน
แช่ให้เย็น	6-12	เดือน
ขนส่ง	2	เดือน
สกัดเพื่อนำมาใช้ใหม่	4	เดือน

รวมจะใช้เวลามากกว่า 5 ปี ต่อหนึ่งวัฏจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณยูเรเนียมที่ใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 1,000 เมกะวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์และหลักการทำงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง หมายถึง เครื่องปฏิกรณ์ที่เป็นต้นกำเนิดพลังงานความร้อนในโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ พลังงานที่เกิดขึ้นเป็นพลังงานปฏิกิริยาฟิชชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแตกตัวของธาตุหนักเมื่อมีพลังงานกระตุ้นที่นิวเคลียส ธาตุหนักที่เกิดปฏิกิริยาฟิชชันได้นั้นเรียกว่า ธาตุฟิสไซล์ ได้แก่ ยูเรเนียม-233 ยูเรเนียม-235 และพลูโตเนียม-239 สำหรับปฏิกิริยาฟิชชันที่เกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังส่วนมากมักใช้ ยูเรเนียม-235 เป็นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ในการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว โดยการนำอนุภาคนิวตรอนเข้าไปกระตุ้นนิวเคลียสของยูเรเนียม-235 ทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันดังแสดงในสมการที่ 4.8

$$^{235}U + {}^{1}n \text{ ----------} > F_1 + F_2 + n + E \quad \text{.....(4.8)}$$

เมื่อ U = ยูเรเนียม

n = นิวตรอน

F_1, F_2 = ผลผลิตจากปฏิกิริยาฟิชชัน

E = พลังงาน

จากการแตกตัวของยูเรเนียม-235 ทำให้ได้ธาตุใหม่สองธาตุซึ่งเรียกว่า ผลผลิตจากปฏิกิริยาฟิชชัน และมีการปลดปล่อยพลังงานพร้อมกับอนุภาคนิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่อีกจำนวนหนึ่ง พลังที่ถูกปลดปล่อยดังกล่าวเนื่องมาจากมวลของยูเรเนียม-235 หายไปเป็นพลังงานตามสมการที่ 4.9

$$E = mc^2 \quad \text{.....(4.9)}$$

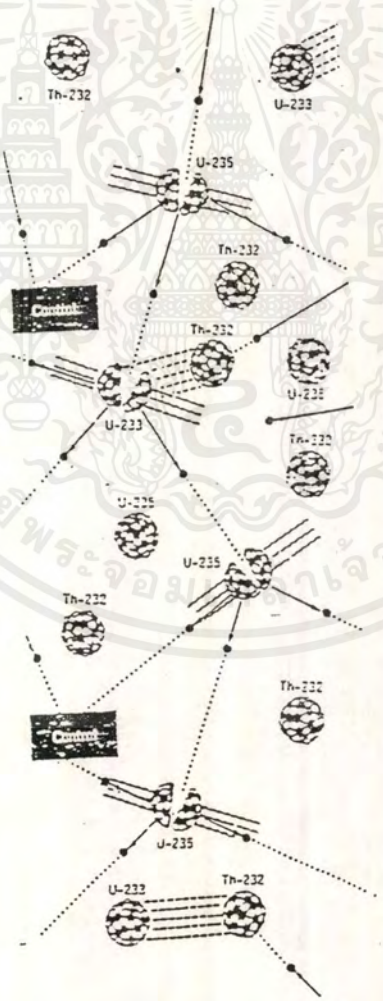
เมื่อ m = มวลที่หายไป

c = ความเร็วแสง ($3X10^{10}$ m/s)

โดยเฉลี่ยแล้วในการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันจะปลดปล่อยพลังงานออกมา 200 MeV ต่อปฏิกิริยาเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการเผาไหม้ธาตุคาร์บอนกับออกซิเจนให้พลังงานออกมา 2-3 eV ต่อปฏิกิริยา ซึ่งมีค่าแตกต่างกัน 100 ล้านเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับนิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่ประมาณ 2-3 อนุภาคต่อปฏิกิริยานั้นจะทำปฏิกิริยาฟิชชันกับยูเรเนียมอย่างต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่และได้พลังความร้อนออกมาอย่างมหาศาล พลังความร้อนที่ได้จะถูกถ่ายโอนไประบบผลิตไอน้ำไปหมุนกังหันผลิตไฟฟ้าโดยใช้สารระบายความร้อนเป็นตัวกลางแต่อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงนิวเคลียร์และสารระบายความร้อนไม่ได้สัมผัสกันโดยตรง เชื้อเพลิงนิวเคลียร์จะบรรจุอยู่ในแท่งหุ้มเชื้อเพลิงอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้สารกัมมันตรังสีที่เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชันมีการปนเปื้อนกับสารระบายความร้อนได้ และเป็นการป้องกันไม้ให้สารระบายความร้อนกัดกร่อนเชื้อเพลิงนิวเคลียร์



รูปที่ 4.18 แสดงปฏิกิริยาลูกโซ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในแกนปฏิกรณ์จะมีสารหน่วงนิวตรอน ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังบางชนิดจะเป็นสารเดียวกันกับสารระบายความร้อน สารหน่วงนิวตรอนเป็นตัวทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ กล่าวคือ นิวตรอนที่เกิดขึ้นใหม่จากปฏิกิริยาฟิชชันจะเป็นนิวตรอนที่มีพลังงานถูกเรียกว่า นิวตรอนเร็ว ซึ่งจะไม่ทำปฏิกิริยาฟิชชันกับยูเรเนียม-235 ดังนั้น สารหน่วงนิวตรอนจึงทำหน้าที่ในการลดพลังงานของนิวตรอนเร็ว โดยการชนกันแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ทำให้ได้นิวตรอนที่มีพลังงานต่ำลงเรียกว่า "นิวตรอนช้า" ซึ่งจะสามารถทำปฏิกิริยาฟิชชันกับยูเรเนียม-235ได้ เครื่องปฏิกรณ์ได้มีการใช้สารหน่วงนิวตรอนที่แตกต่างกันไปตามการออกแบบ แต่ทั้งนี้สารที่จะทำหน้าที่หน่วงนิวตรอนจะต้องมีคุณสมบัติหลักคือมีค่าการดูดกลืนนิวตรอนต่ำ เพื่อให้ปริมาณความเข้มข้นของนิวตรอนในแกนปฏิกรณ์มีมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ต่อไปได้ แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอนุภาคนิวตรอนที่เกิดมีพลังงานสูงมากทำให้มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง ดังนั้น ภายในถังปฏิกรณ์จึงต้องมีการเคลือบตัวสะท้อนนิวตรอนไว้รอบ ๆ เพื่อป้องกันมิให้นิวตรอนทะลุทะลวงออกไปจากถังปฏิกรณ์ได้ ซึ่งนอกจากจะทำให้ปริมาณนิวตรอนเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ยังทำให้การเกิดปฏิกิริยาฟิชชันทั่วแกนปฏิกรณ์ เนื่องจาก นิวตรอนมีการกระจายทั่วกันทั้งแกนปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ เป็นถังขนาดใหญ่ที่ภายในบรรจุแกนปฏิกรณ์ สารระบายความร้อนและสารหน่วงนิวตรอนไว้ นอกจากนี้ ภายในถังปฏิกรณ์ยังบรรจุแท่งควบคุมและระบบเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม ซึ่งเป็นระบบในการควบคุมและหยุดการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เครื่องตรวจวัดปริมาณรังสี เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นของนิวตรอน ระบบการควบคุมอัตราการไหลของสารระบายความร้อนหรือสารหน่วงนิวตรอน ซึ่งระบบต่าง ๆ เหล่านี้เป็นเครื่องมือที่เจ้าหน้าที่ใช้ปฏิบัติงานในการเดินเครื่องปฏิกรณ์ การควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยา การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน และการหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งข้อมูลของแต่ละระบบจะถูกส่งไปยังห้องควบคุมที่อยู่ข้าง ๆ อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว สิ่งที่สำคัญอีกระบบหนึ่งของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง คือ อาคารคลุมปฏิกรณ์ ซึ่งเป็นอาคารขนาดใหญ่สร้างคลุมส่วนปฏิกรณ์ทั้งหมดไว้ภายใน อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์มักออกแบบให้มีลักษณะเป็นรูปโดม อาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวจุต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงทนทานต่อการเกิดอุบัติเหตุภายในซึ่งได้แก่ การระเบิดของแกนปฏิกรณ์ อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงระเบิด และสามารถเก็บกักสารกัมมันตรังสีไว้ภายในอาคารโดยไม่ปล่อยให้ฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก และอุบัติเหตุภายนอกทั้งที่เกิดจากภัยธรรมชาติ ได้แก่ การเกิดแผ่นดินไหว น้ำท่วม พายุ และเหตุการณ์ที่เกิดจากมนุษย์กระทำ ได้แก่ อุบัติเหตุเครื่องบินตก การก่อวินาศกรรม เป็นต้น

<u>เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังชนิดต่าง ๆ</u>

การแบ่งชนิดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง มักแบ่งตามลักษณะของสารระบายความร้อน สารหน่วงนิวตรอน หรือพลังงานของนิวตรอนที่ใช้ทำปฏิกิริยา ซึ่งสามารถแยกชนิดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังชนิดต่าง ๆ

ชนิด	ชื่อย่อ	พลังงานนิวตรอน	เชื้อเพลิงนิวเคลียร์	สารระบายความร้อน	สารหน่วงนิวตรอน
Pressurized light-water reactor	PWR	ต่ำ	ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ	น้ำธรรมดา	น้ำธรรมดา
Boiling light water reactor	BWR	ต่ำ	ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ	น้ำธรรมดา	น้ำธรรมดา
Pressurized heavy-water reactor	PHWR	ต่ำ	ยูเรเนียมธรรมชาติ	น้ำมวลหนัก	น้ำมวลหนัก
Light-water cooled, graphite moderator	LWGR	ต่ำ	ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ	น้ำธรรมดา	กราไฟต์
Gas-cooled, graphite moderator	GCR	ต่ำ	ยูเรเนียมธรรมชาติ	คาร์บอนไดออกไซด์	กราไฟต์
Advanced gas-cooled,graphite moderator	AGR	ต่ำ	ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ	คาร์บอนไดออกไซด์	กราไฟต์
High-temperature gas-cooled,graphite moderator	HTGR	ต่ำ	ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะสูง	ฮีเลียม	กราไฟต์
Heavy-water moderated,gas-cooled	HWGCR	ต่ำ	ยูเรเนียมธรรมชาติ	คาร์บอนไดออกไซด์	น้ำมวลหนัก
Fast breeder	FBR	สูง	ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะสูง	โซเดียมเหลว	ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

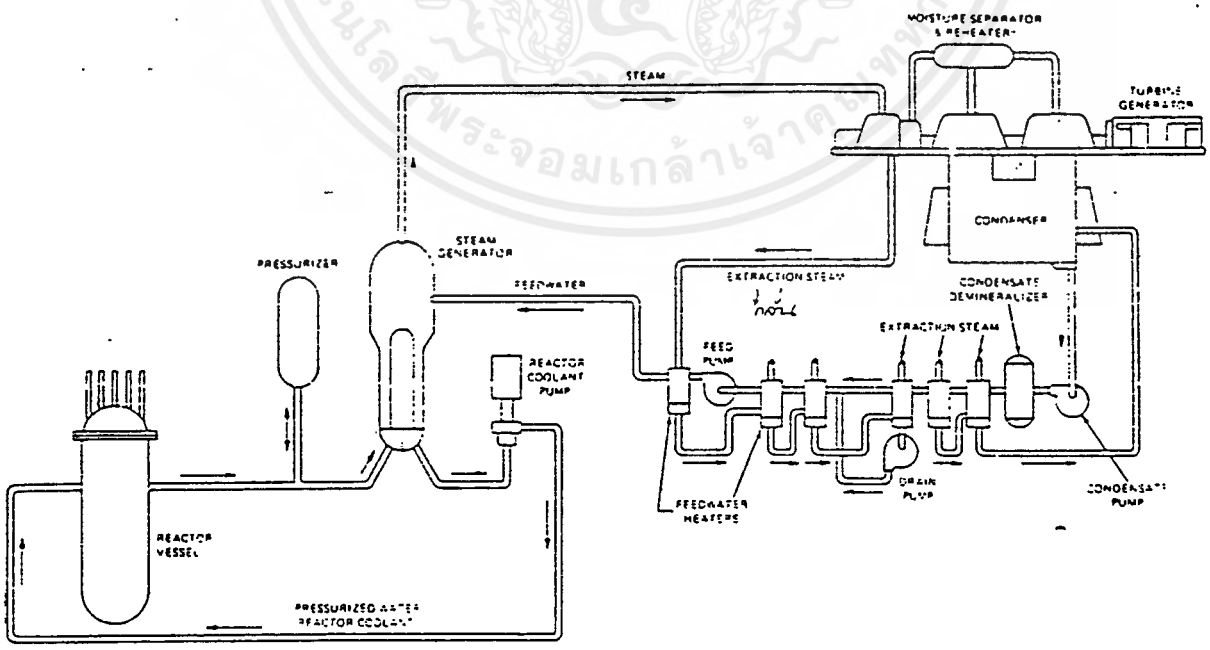
อย่างไรก็ตาม เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังที่ได้รับการพัฒนาเป็นเครื่องที่ใช้ในเชิงพาณิชย์มีเพียง 3 แบบ คือ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR แบบ BWR และแบบ CANDU ดังนั้น ในการศึกษาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังในแง่ของความปลอดภัยจึงศึกษาเพียง 3 แบบ ที่กล่าวข้างต้น เนื่องจาก เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังดังกล่าวเป็นที่นิยมใช้ทั่วโลกและมีวิวัฒนาการในระดับสูงเพื่อให้เป็นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังรุ่นใหม่ในอนาคต

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังเชิงพาณิชย์แบบต่าง ๆ

1.เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR

1.1 หลักการทำงาน

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR มีการทำงานของระบบระบายความร้อนแยกออกเป็น 2 วงจร โดยวงจรปฐมภูมิหรือระบบระบายความร้อนปฐมภูมิ มีการควบคุมความดันประมาณ 150 เท่าของบรรยากาศ เพื่อไม่ให้น้ำในวงจรนี้เดือด ส่วนวงจรทุติยภูมิหรือระบบระบายความร้อนทุติยภูมิ มีการควบคุมความดันที่ประมาณ 60 เท่าของบรรยากาศ ดังนั้นน้ำส่วนนี้เมื่อได้รับความร้อนสามารถเดือดได้

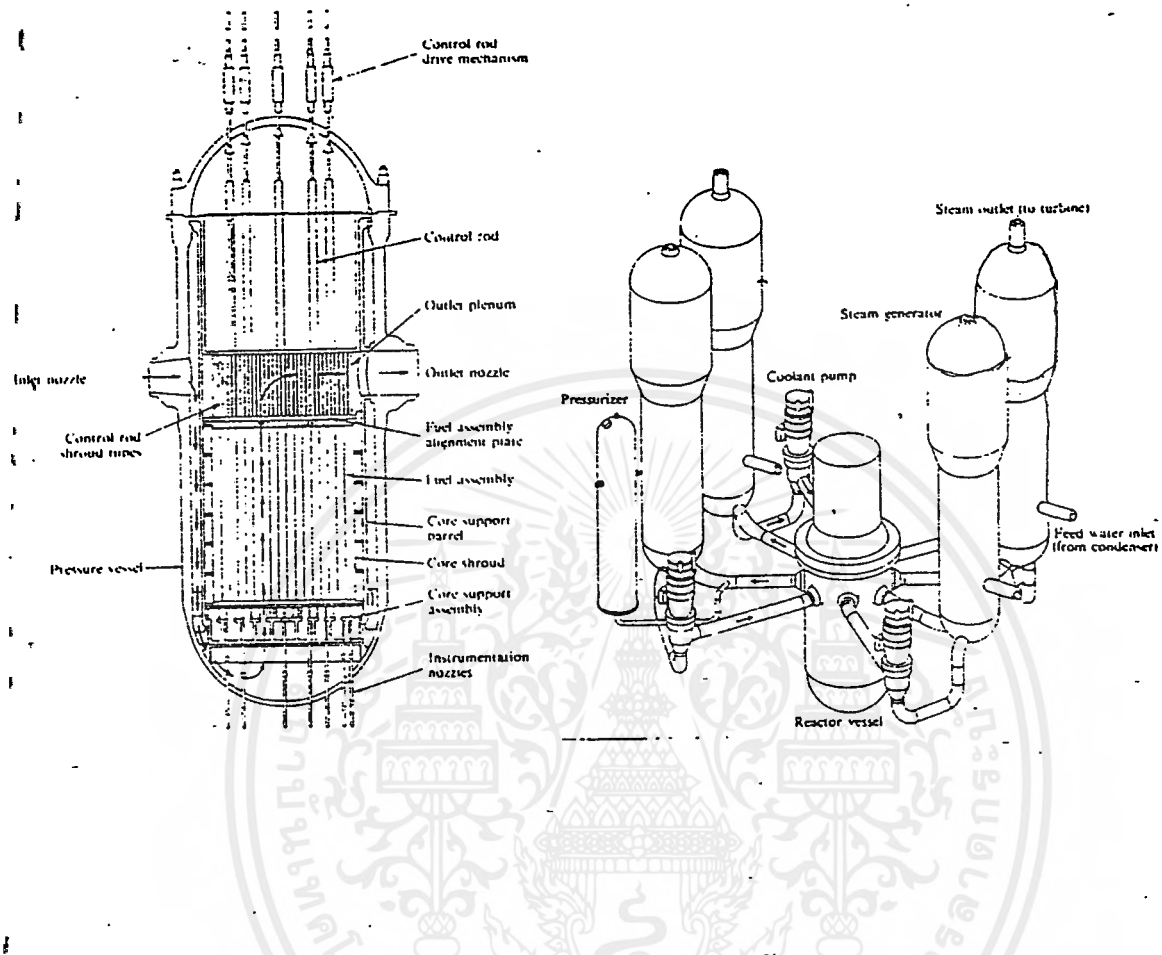


รูปที่ 4.19 แสดงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบPWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบระบายความร้อนปฐมภูมิ ประกอบด้วยแกนเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งใช้ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ และใช้นิวตรอนย่านพลังงานต่ำในกรทำให้เกิดปฏิกิริยาฟิชชันแบบลูกโซ่โดยมีน้ำในระบบระบายความร้อนปฐมภูมิเป็นทั้งสารระบายความร้อนและสารหน่วงนิวตรอน ซึ่งทั้งหมดนี้จะบรรจุอยู่ภายในถังปฏิกรณ์ ในการทำงานน้ำในวงจรปฐมภูมิที่มีอุณหภูมิประมาณ 295° ซ. ถูกปั๊มเข้าทางด้านข้างของถังปฏิกรณ์ไหลลงด้านล่างแล้วไหลผ่านแกนเครื่องปฏิกรณ์จากด้านล่างสู่ด้านบนเพื่อถ่ายโอนความร้อนจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ หลังจากได้รับความร้อนแล้วน้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 30-35° ซ. ไหลออกอีกข้างหนึ่งของถังปฏิกรณ์ผ่านเข้าไปยังเครื่องผลิตไอน้ำซึ่งมีทั้งหมด 4 ตัวต่อ 1 ปฏิกรณ์ เพื่อถ่ายโอนความร้อนให้กับน้ำในส่วนระบบระบายความร้อนทุติยภูมิ เมื่อน้ำในวงจรปฐมภูมิวิ่งเข้าสู่ท่อภายในเครื่องผลิตไอน้ำแล้วจะถูกปั๊มกลับเข้าสู่แกนเครื่องปฏิกรณ์ต่อไปซึ่งเป็นลักษณะวงจรปิด ส่วนน้ำในวงจรทุติยภูมิเมื่อได้รับความร้อนจะเดือดกลายเป็นไอแล้วถูกส่งไปยังกังหันไอน้ำ เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกระแสไฟฟ้า ไอน้ำนี้หลังจากผ่านกังหันไอน้ำแล้วจะเข้าสู่เครื่องควบแน่น ซึ่งมีท่อเล็ก ๆ รับหน้าที่ปั๊มมาจากภายนอกเข้ามารับความร้อนที่เหลือจากไอน้ำของวงจรทุติยภูมิ ไอน้ำจึงกลั่นตัวเป็นน้ำและถูกปั๊มเข้าเครื่องผลิตไอน้ำอีกครั้งซึ่งวงจรทุติยภูมิเป็นวงจรปิดเช่นเดียวกับวงจรปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 (ก)แสดงทิศทางการไหลเข้า-ออกของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิภายในถังปฏิกรณ์

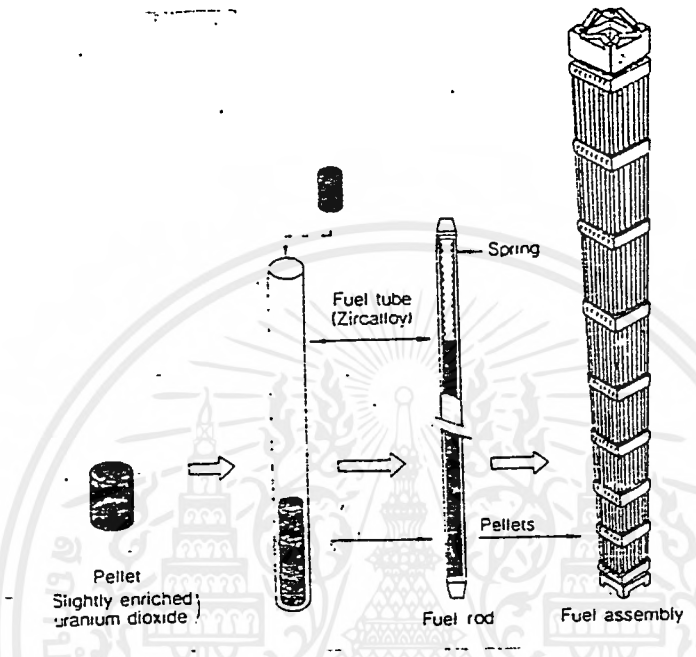
(ข)แสดงทิศทางการไหลเข้า-ออกของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิระหว่างถังปฏิกรณ์กับเครื่องผลิตไอน้ำทั้ง 4 ตัว

1.2 <u>ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR</u>

1.แท่งเชื้อเพลิง : ใช้ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำอยู่ในรูปของยูเรเนียมไดออกไซด์ ถูกอัดเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร เรียกว่า เม็ดเชื้อเพลิง หลังจากนั้นนำมาบรรจุเรียงในกระบอกเหล็กกล้าปลอดสนิมหรือโลหะผสมเซอร์โคเนียม เรียกว่า แท่งหุ้มเชื้อเพลิงแล้วเชื่อมปิดสนิทหัวท้าย แท่งเชื้อเพลิงนี้มีความยาวประมาณ 4 เมตร เมื่อนำแท่งเชื้อเพลิงและแท่งควบคุม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มามัดรวมกัน เรียกว่ามัดแท่งเชื้อเพลิง กรมัดรวมแท่งเชื้อเพลิงของ PWR มี 2 แบบ คือ 16 X 16 หรือ 17 X 17 ตามการออกแบบ

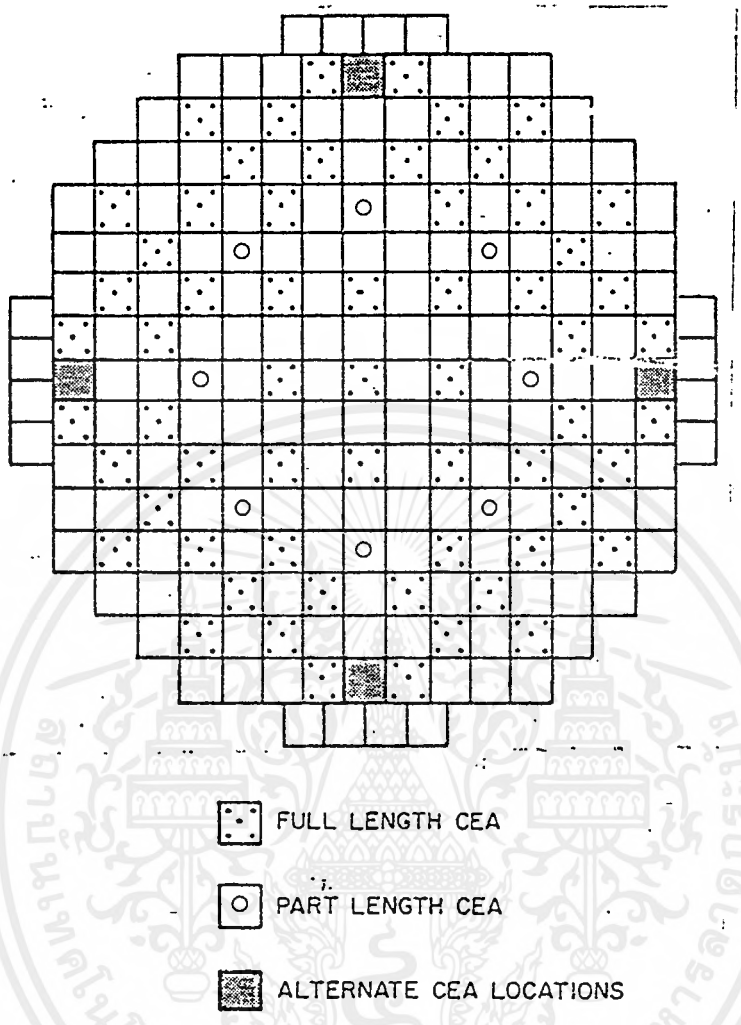


รูปที่ 4.21 แสดงแท่งเชื้อเพลิง

2.แท่งควบคุม : เป็นแท่งทรงกระบอกของเหล็กกล้าปลอดสนิมหรือโลหะผสมเซอร์โคเนียมที่มีขนาดเท่ากับแท่งเชื้อเพลิงภายในบรรจุสารดูดจับนิวตรอน ได้แก่ แคดเมียม โบรอน ฮาฟเนียม หรือโลหะผสมของเงิน-อินเดียม-แคดเมียม ซึ่งเป็นสารดูดนิวตรอน ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันโดยมีส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมอยู่ทางด้านบนของถังปฏิกรณ์

3.แกนปฏิกรณ์ : ส่วนที่เอามัดเชื้อเพลิงและแท่งควบคุมมาประกอบรวมกันในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังขนาด 1000 เมกกะวัตต์ไฟฟ้า มีมัดแท่งเชื้อเพลิงประมาณ 190-200 มัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

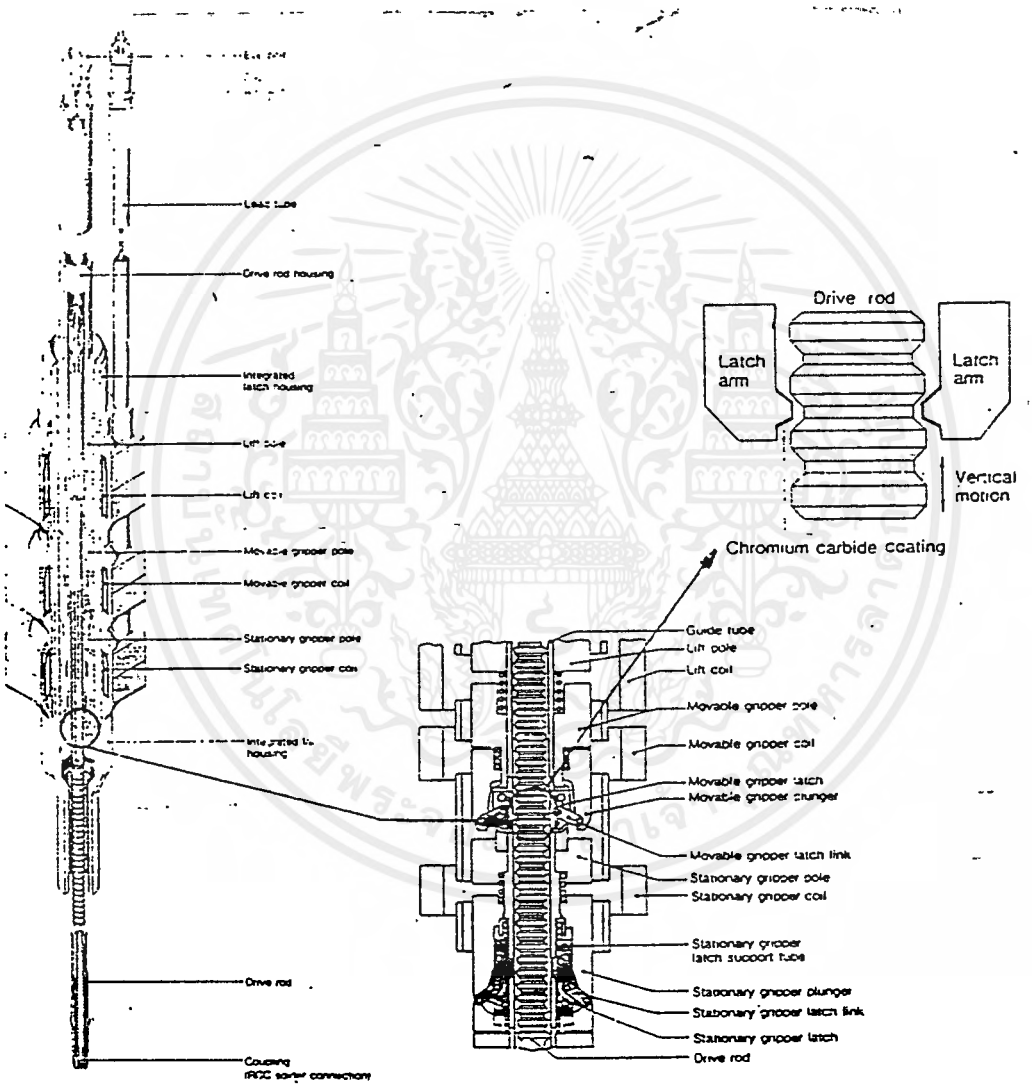


รูปที่ 4.22 แสดงการจัดเรียงมัดแท่งเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์

4.ระบบการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม : อยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์แท่งควบคุมเคลื่อนที่ด้วยระบบ latch type magnetic jack drive ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ pressure housing, latch assembly, driving rod และ coil stack ซึ่ง pressure housing เป็นส่วนที่บรรจุ driving rod และ latch assembly สำหรับ latch assembly ติดตั้งอยู่ด้านล่างของ pressure housing ประกอบด้วย stationary gripper และ movable gripper ซึ่ง stationary gripper เป็นตัวยึดให้แท่งควบคุมอยู่ในระดับที่คงที่เมื่อได้ระดับตามที่ต้องการ ส่วน movable gripper เป็นตัวเกี่ยว driving rod ให้เคลื่อนที่ขึ้นลง อีกส่วนคือ driving rod เป็นส่วนที่ต่อกับแท่งควบคุมทำหน้าที่เป็นตัวเคลื่อนที่ขึ้นลงตามการเคลื่อนที่ของ latch assembly ส่วนสุดท้ายคือ coil stack เป็นส่วนที่อยู่ภายนอก pressure housing มีทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งทำงานแยกอิสระกัน coil stack จะมีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้เพื่อให้เกิดสนามแม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็ก และแรงที่เกิดจากสนามแม่เหล็กจะส่งไปยัง movable gripper เพื่อเกี่ยว driving rod ซึ่งจะเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง

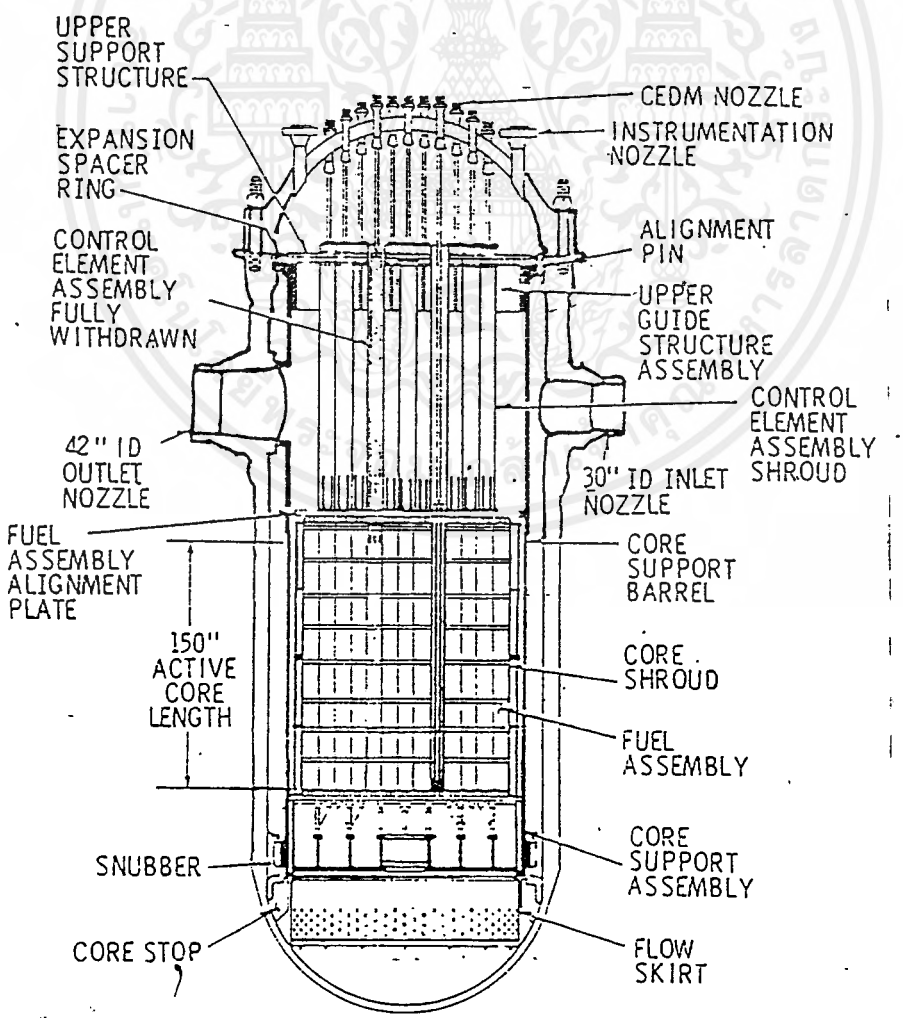


รูปที่ 4.23 แสดงการควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะเดินเครื่องปกติแท่งควบคุมจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 114 เซนติเมตรต่อนาที แต่หากมีสัญญาณฉุกเฉินแท่งควบคุมสามารถตกลงสู่แกนปฏิกรณ์ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกภายในเวลา 2 วินาที

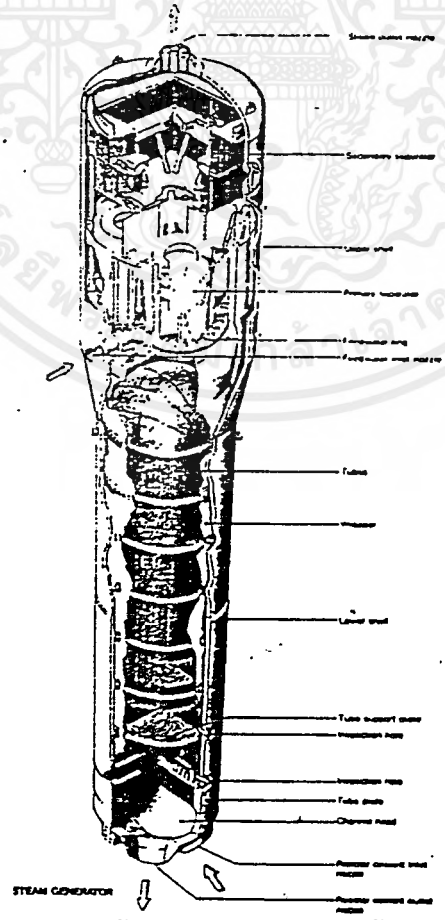
5.ถังปฏิกรณ์ : เป็นถังรูปทรงกระบอก วางในแนวตั้ง ทำด้วย Low-alloy Steel สามารถทนทานต่อแรงดันสูงได้ ภายในถังปฏิกรณ์บรรจุด้วยแกนเครื่องปฏิกรณ์และระบบระบายความร้อนปฐมภูมิ โดยส่วนบนมีระบบควบคุม ฝาด้านบนสามารถเปิดออกได้เพื่อทำการเปลี่ยนแท่งเชื้อเพลิงและตรวจสอบภายใน ส่วนด้านล่างเชื่อมปิดสนิทประกอบด้วยร่องนำการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม และระบบตรวจวัดปริมาณนิวตรอน นอกจากนี้ ทางเข้าและออกของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิจะอยู่เหนือแกนปฏิกรณ์ ทั้งนี้ เพื่อป้องกันไม่ให้แกนปฏิกรณ์ขาดน้ำระบายความร้อน



รูปที่ 4.24 แสดงถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

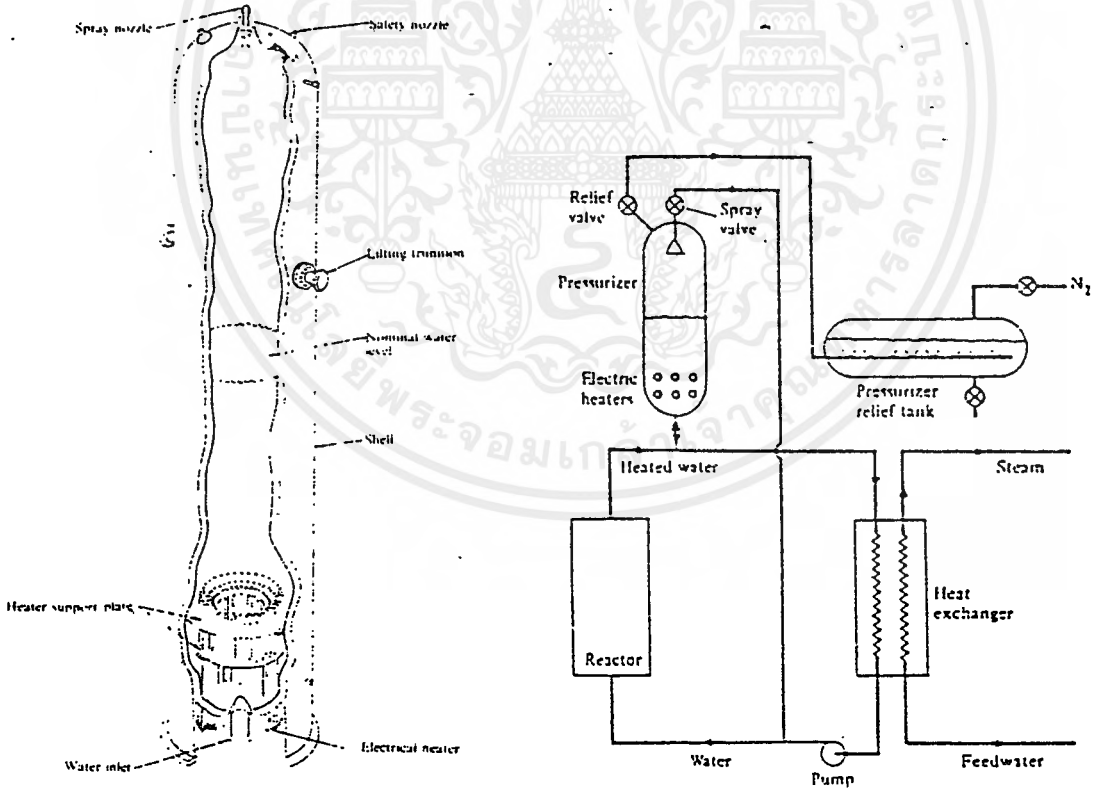
6.เครื่องผลิตไอน้ำ : หรือกล่าวได้ว่าเป็นส่วนระบายความร้อนทุติยภูมิ ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำร้อนในวงจรปฐมภูมิกันน้ำเย็นในวงจรทุติยภูมิ เครื่องผลิตไอน้ำมี 2 แบบ ได้แก่ One Though และ U-Tube Bundle แต่ที่นิยมใช้กันเป็นแบบ U-Tube Bundle โดยวัสดุที่ทำท่อตัวยูใช้ Inconel หรือ สารประกอบของเงิน มีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง การถ่ายโอนความร้อนภายในเครื่องผลิตไอน้ำแบบ U-Tube ทำได้โดยน้ำจากวงจรปฐมภูมิจะไหลเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำด้านล่างเข้าไปยังท่อเล็ก ๆ รูปตัวยูหลายพันแท่งเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนความร้อน เมื่อน้ำเย็นในวงจรทุติยภูมิที่อยู่ภายนอกท่อตัวยูได้รับความร้อนจะกลายเป็นไอน้ำลอยสูงขึ้นผ่านเครื่องแยกไอน้ำออกจากน้ำ และเครื่องทำให้ไอน้ำแห้ง เพื่อทำให้ไอน้ำมีความชื้นต่ำพุ่งออกจากส่วนหัวของเครื่องผลิตไอน้ำเข้าสู่กังหันไอน้ำ ส่วนน้ำร้อนจากวงจรปฐมภูมิเมื่อถ่ายโอนความร้อนแล้วจะวิ่งออกทางด้านล่างของเครื่องผลิตไอน้ำอีกด้านหนึ่งเพื่อกลับเข้าสู่ระบบระบายความร้อนปฐมภูมิต่อไป



รูปที่ 4.25 แสดงเครื่องผลิตไอน้ำแบบ U-tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.เครื่องควบคุมความดัน : เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการปรับความดันภายในระบบระบายความร้อนปฐมภูมิให้คงที่ตามต้องการ เครื่องควบคุมความดันมี 2 แบบ คือ ควบคุมความดันด้วยไอน้ำ และแบบควบคุมความดันด้วยก๊าซ ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง PWR ใช้แบบเครื่องควบคุมความดันด้วยไอน้ำ เนื่องจากระบบระบายความร้อนปฐมภูมิใช้น้ำเครื่องควบคุมความดันด้วยไอน้ำมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกปิดหัวท้าย ส่วนแรกอบที่สำคัญคือ เครื่องให้ความร้อนและมีท่อต่อกับน้ำที่ออกมาจากถังปฏิกรณ์ อยู่ด้านล่างและสเปรย์หัวฉีดอยู่ด้านบนของเครื่องควบคุมความดัน โดยส่วนล่างของเครื่องควบคุมความดันบรรจุน้ำที่มีความดันเท่ากับน้ำร้อนที่ออกจากถังปฏิกรณ์ ส่วนบนบรรจุไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งไอน้ำจะขยายตัวและหดตัวแปรตามความดันภายในถังปฏิกรณ์



ก ข

รูปที่ 4.26 (ก)เครื่องควบคุมความดันด้วยไอน้ำ
(ข)แผนผังแสดงการควบคุมความดันของเครื่องควบคุมความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ความดันภายในถังปฏิกรณ์สูงขึ้นจะทำให้ไอน้ำในเครื่องควบคุมความดันถูกอัด น้ำเย็นจากวงจรปฐมภูมิส่วนหนึ่งจุถูกพ่นเข้าเครื่องควบคุมความด้นทางหัวฉีดเพื่อควบแน่นไอน้ำทำให้ความดันลดลงเป็นปกติ นอกจากนี้ มีการออกแบบให้ด้านบนของเครื่องควบคุมความดันต่อกับวาล์วของ Pressurizer relief tank ภายในบรรจุน้ำ จะทำหน้าที่ในการนำไอน้ำของเครื่องควบความความดันไปควบแน่นในกรณีที่ความดันสูงขึ้นมาก เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ความดันภายในเครื่องควบคุมความดันสูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยไอน้ำจะไหลผ่านทาง relief valve เข้าสู่ Pressurizer relief tank ในทางกลับกันถ้าความดันภายในถังปฏิกรณ์ลดลงจะทำให้ไอน้ำในเครื่องควบคุมความดันจะขยายตัวทำให้ความความดันในเครื่องควบคุมความดันลดลงตาม เครื่องให้ความร้อนจะให้ความร้อนโดยอัตโนมัติทำให้น้ำส่วนล่างของเครื่องควบคุมความดันกลายเป็นไอน้ำเพื่อเพิ่มความดันในเครื่องควบคุมความดัน ซึ่งจะทำให้ความดันในแกนปฏิกรณ์เพิ่มตามด้วย การออกแบบความจุของเครื่องควบคุมความดันและ pressurizer relief tank ขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR โดยทั่วไปแล้วมีเครื่องควบคุมความดัน 1 เครื่อง.

1.3 <u>การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR</u>

การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง คือ การควบคุมการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดภายในแกนปฏิกรณ์ให้เป็นไปอย่างปลอดภัย และสามารถเพิ่มและลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันให้เป็นไปตามต้องการได้ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเชื้อเพลิงแบะสารระบายความร้อน และปริมาณนิวตรอนที่สามารถทำปฏิกิริยาลูกโซ่ ดังนั้นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR จึงมีการออกแบบให้การเดินเครื่องอยู่ในภาวะที่ปลอดภัย โดยมีระบบควบคุมความปลอดภัยทั้งจากการออกแบบให้เครื่องปฏิกรณ์ปลอดภัยด้วยตัวเองและการควบคุมด้วยระบบความปลอดภัย

การออกแบบให้เครื่องปฏิกรณ์ปลอดภัยด้วยตัวเองคือ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR เป็นเครื่องแบบ Thermal Reactor ซึ่งอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันมาก ดังนั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นกับค่า สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ (Temperature Coefficient) หากออกแบบให้มีค่า

สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นบวก คือ เมื่ออุณหภูมิภายในแกนปฏิกรณ์สูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นตามแกนปฏิกรณ์ อาจเกิดการหลอมละลายได้ซึ่งเป็นสภาวะการเดินเครื่องที่ไม่ปลอดภัย ดังนั้น จึงออกแบบให้มีค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิเป็นลบกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิภายในแกนปฏิกรณ์สูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง เรียกสภาวะการเดินเครื่องแบบนี้ว่า Negative Reactivity

สำหรับการควบคุมด้วยระบบความปลอดภัยสามารถแบ่งออกได้ 2 ระบบ คือ การควบคุมโดยใช้แท่งควบคุมในแกนเครื่องปฏิกรณ์ที่มีระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุมอยู่ด้านบนของแกนปฏิกรณ์ ในการควบคุมปฏิกิริยานั้น แท่งควบคุมจะเคลื่อนที่ลงมาจับนิวตรอนส่วนเกินเพื่อลดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ (ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน) ในทางตรงกันข้ามแท่งควบคุมจะเคลื่อนที่ขึ้นเมื่อต้องการเพิ่มกำลังเครื่องปฏิกรณ์ นอกจากนี้แท่งควบคุมยังทำหน้าที่ควบคุมสภาวะในขณะเริ่มเดินเครื่อง หยุดเดินเครื่อง เปลี่ยนแปลงกำลังการเดินเครื่องการกระจายกำลังให้สม่ำเสมอ

อีกระบบหนึ่งคือ การควบคุมโดยใช้สารเคมี โดยการฉีดสารละลายของสารดูดนิวตรอนเข้าไปกับน้ำระบายความร้อน สารดูดนิวตรอนที่นิยมใช้คือ โบรอน เนื่องจากโบรอนจะไม่เกิดเป็นไอโซโทปของสารรังสี ซึ่งโบรอนที่ใช้จะอยู่ในรูปสารละลายกรดบอริค สำหรับการควบคุมปฏิกิริยาโดยใช้สารเคมีนี้มักใช้เพื่อควบคุมกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ให้คงที่ เนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ได้เร็วกว่าระบบของแท่งควบคุมในการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้คงที่ได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโดยมี Chemical and Volume Control System (CVCS) เป็นระบบควบคุมความเข้มข้นด้วยการฉีดสารละลายกรดบอริคที่มีความเข้มข้นมากกว่าสารละลายในแกนปฏิกรณ์ ในกรณีต้องการความเข้มข้นของกรดบอริคมากขึ้น และถ้าต้องการลดความเข้มข้นของสารละลาย CVCS จะฉีดน้ำบริสุทธิหรือสารละลายกรดบอริคที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าสารละลายในแกนปฏิกรณ์เข้าไป การควบคุมโดยใช้สารเคมีร่วมกับแท่งควบคุมมีข้อดีคือ ทำให้ลดจำนวนและขนาดของแท่งควบคุมลงได้ ซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายและทำให้การออกแบบง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากระบบที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีระบบการควบคุมความดันภายในแกนปฏิกรณ์โดยการใช้เครื่องควบคุมความดันในการควบคุมมิให้ความดันในแกนปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้นจนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุรุนแรงได้

1.4 ระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR มีระบบเตือนความผิดปกติทั้งที่เกิดจากภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ เช่น การวัดความสั่นสะเทือนเนื่องจากแผ่นดินไหว และที่เกิดภายในเครื่องปฏิกรณ์ เช่น มีการวัดความดันภายในท่อระบายความร้อน หากความดันลดลงอาจเนื่องมาจากการรั่วของท่อ หรือมีการวัดอุณหภูมิภายในถังปฏิกรณ์หากอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากขาดน้ำระบายความร้อน ซึ่งเหตุผิดปกติเหล่านี้เป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดการระเบิดภายในเครื่องปฏิกรณ์และทำให้กัมมันตภาพรังสีรั่วสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถทราบและยับยั้งเหตุผิดปกตินั้น ก่อนที่จะนำไปสู่อุบัติเหตุร้ายแรง

ดังนั้น ระบบควบคุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR ในสภาวะฉุกเฉินจึงมีการทำงานเป็น 2 ระบบ คือระบบการตรวจวัด โดยมีการติดตั้งเครื่องตรวจวัด ตามบริเวณต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 แสดงบริเวณที่ติดอุปกรณ์ตรวจวัดและสัญญาณที่จะทำให้หยุดเดินเครื่อง

บริเวณที่ติดตั้งเครื่องวัด	สัญญาณที่ทำให้เครื่องหยุดเดิน
Neutron flux	high
Reactor Pressure	low
Pressurizer water level	high
Primary coolant flow	low
Steam generator water level	low
Steam generator feed flow	low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนอีกระบบหนึ่งคือ ระบบการส่งข้อมูลประกอบด้วย วงจร analog วงจร logic และสัญญาณหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อเครื่องวัดต่าง ๆ ส่งข้อมูลมายังวงจร analog และผ่านไปยังวงจร logic และเข้าสู่สัญญาณหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อทำกรหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์ด้วยการตกของแท่งควบคุมด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

1.5 ระบบความปลอดภัยทางวิศวกรรม

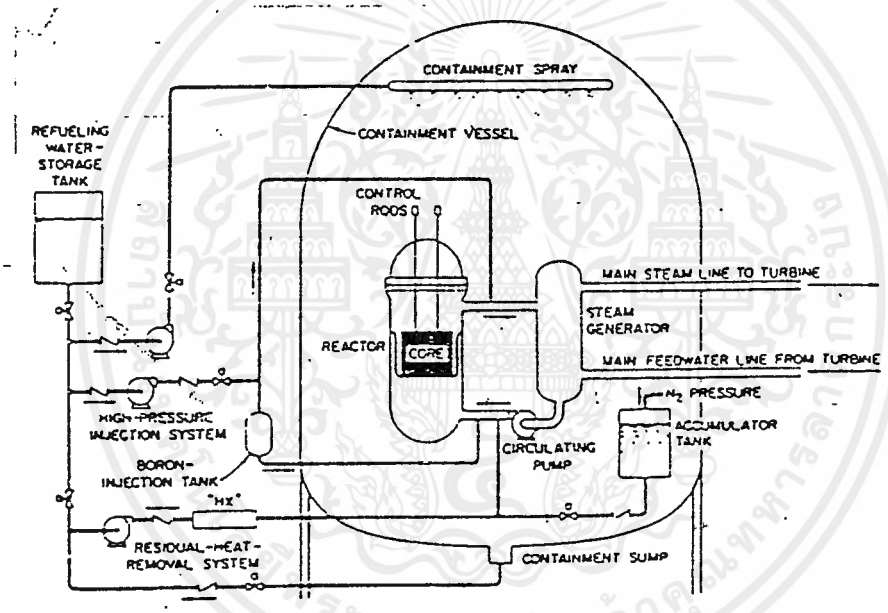
เมื่อเกิดเหตุผิดปกติดังกล่าวข้างต้นแล้วหากไม่สามารถแก้ไขสถานการณ์ดังกล่าวได้ ซึ่งจะทำให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงที่สุดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง คือ แกนเครื่องปฏิกรณ์สูญเสียน้ำระบายความปฐมภูมิ แกนเครื่องปฏิกรณ์หลอมละลายและสารกัมมันตรังสีรั่วออกจากแท่งหุ้มเชื้อเพลิง ซึ่งอาจจะสามารถรั่วออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR จึงได้ออกแบบระบบความปลอดภัยทางวิศวกรรมเพื่อป้องกันมิให้มีการสูญเสียน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิและหากมีการหลอมลาลายของแกนเครื่องปฏิกรณ์แล้วสารกัมมันตรังสีจะต้องมีสามารถรั่วสู่สิ่งแวดล้อมได้ ระบบดังกล่าวประกอบด้วย

1.ระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน คือระบบการทดแทนน้ำระบายควาร้อนปฐมภูมิที่ขาดหายไปอาจจะเนื่องจากท่อส่งน้ำระบายความร้อนรั่วหรือแตก ปั๊มน้ำขัดข้อง เป็นต้น ระบบดังกล่าวประกอบด้วย 3 ส่วนคือ Accumulator injection system,High pressure injection system และ Low pressure coolant injection system

Accumulator injection system เป็นระบบที่ทำงานโดยอัตโนมัติ โดยภายใน accumulator tank บรรจุสารละลายบอริคแอซิด และมีก๊าซไนโตรเจนที่อัดความดันไว้ที่ 125 เท่าของบรรยากาศ เมื่อความดันของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิลดต่ำกว่าความดันภายใน Accumulator tank จะมีสัญญาณไปยัง check-valve ของระบบ Accumulator เพื่อเปิดวาล์วฉีดสารละลายบอริเข้าไปในระบบระบายความร้อนปฐมภูมิเพื่อหยุดปฏิกิริยาฟิชชัน ทั้งนี้ เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดแก่แกนปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ High pressure system และ Low pressure system เป็นระบบที่เดินเครื่องโดยเจ้าหน้าที่ ซึ่ง High pressure จะฉีดสารละลายบอริคแอซิดเข้าไปในระบบระบายความร้อนปฐมภูมิเพื่อช่วยหยุดปฏิกิริยาฟิชชันซึ่งระบบหยุดปฏิกิริยานี้เป็นระบบเดียวกับการหยุดปฏิกิริยาฟิชชันในขณะเดินเครื่องปกติ หลังจากอุบัติเหตุความดันในแกนปฏิกรณ์จะลดต่ำลงแต่ยังคงมีความร้อนสะสมอยู่มาก ซึ่ง Low pressure system เป็นระบบระบายความร้อนโดยนำน้ำจากถังน้ำบ่อเก็บเชื้อเพลิงเข้ามาหมุนเวียนระบายความร้อน

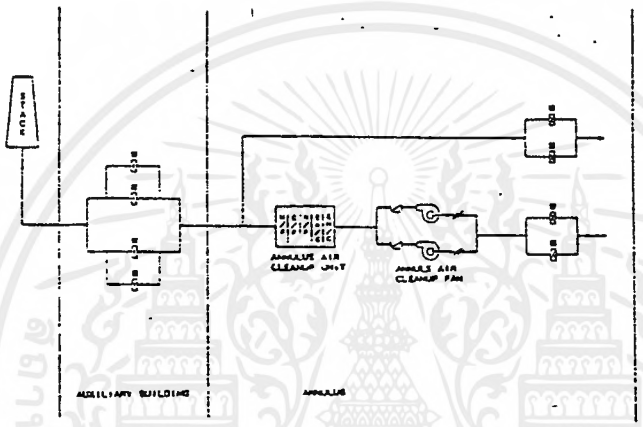


รูปที่ 4.27 แสดงระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน

2.อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมีลักษณะเป็นโดมคลุมเครื่องปฏิกรณ์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับส่วนนิวเคลียร์ อาคารคอนกรีตนี้จะเสริมเหล็กทั้งในแนวตั้งและแนวนอน เพื่อให้ทนทานต่อแรงดันที่เกิดภายในเครื่องปฏิกรณ์ เช่น การระเบิดของถังปฏิกรณ์ และภายนอกอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ เช่นการเกิดแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว การก่อวินาศกรรม ภัยธรรมชาติ เป็นต้น ดังนั้นอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์จะเป็นตัวปิดกั้นไม่ให้สารกัมมันตรังสีรั่วออกสู่สิ่งแวดล้อมทั้งอุบัติเหตุที่เกิดจากภายนอกและในอาคาร

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ภายนอกอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์มีวงแหวน (Annulus) หุ้มอยู่รอบ ๆ ภายในมีระบบ Annular air clean up ภาวะปกติในวงแหวนจะควบคุมความดันให้ต่ำกว่าบรรยากาศ ดังนั้น ในสภาวะฉุกเฉินอากาศภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์จะไหลเข้าสู่วงแหวนและผ่านระบบ air clean up ซึ่งมีตัวกรองอากาศเพื่อดูดจับสารกัมมันตรังสีก่อนปล่อยอากาศออกภายนอกทางปล่อง

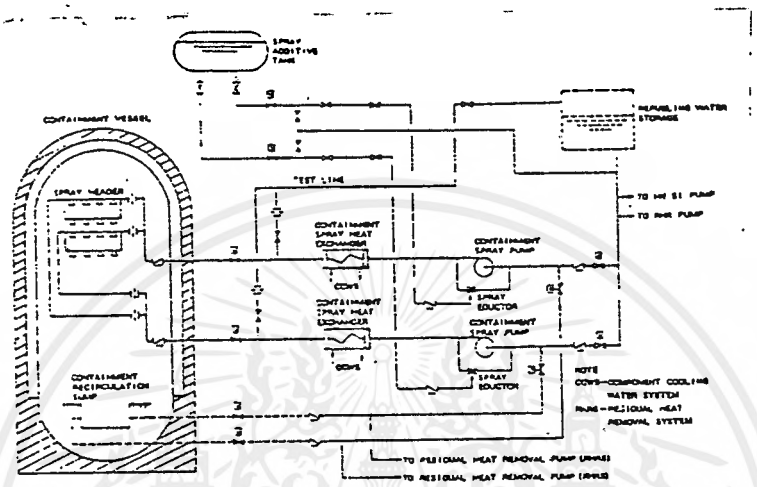


รูปที่ 4.28 แสดงวงแหวนรอบอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์และระบบ annulus air clean up

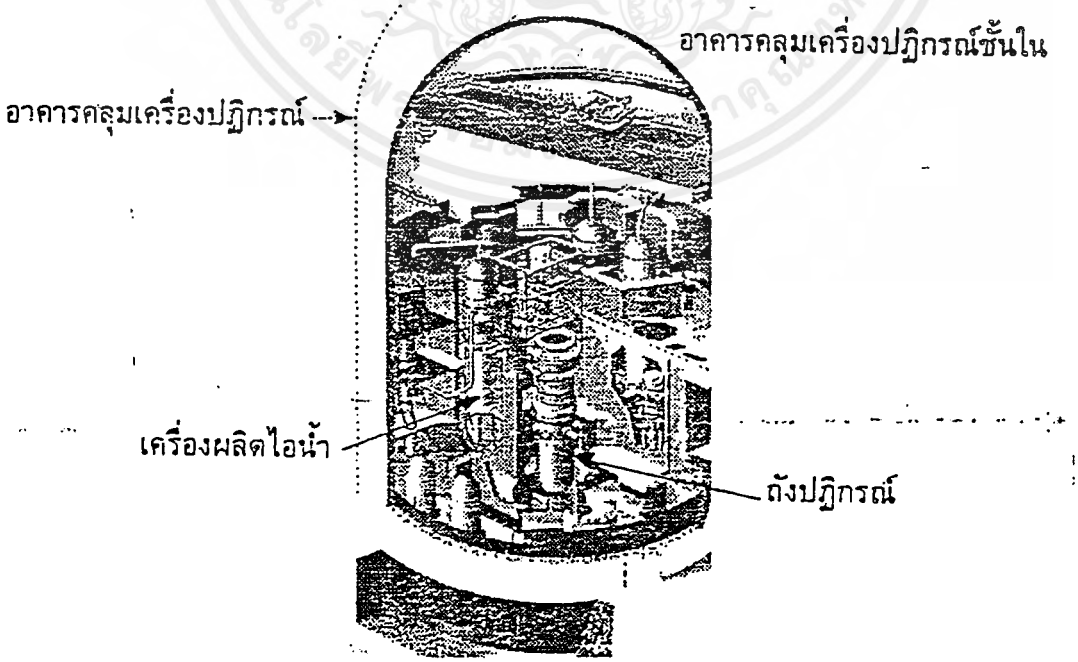
และมีระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อเกิดอุบัติเหตุความร้อนภายในแกนปฏิกรณ์สูงขึ้นมากเป็นผลให้อากาศและไอน้ำภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์ขยายตัว ทำให้ความดันภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์สูงขึ้นตามไปด้วย เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR จึงได้ออกแบบระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมปฏิกรณ์โดยระบบระบายความร้อนเป็นระบบที่สามารถทำงานโดยอัตโนมัติหรือทำงานโดยเจ้าหน้าที่ได้ จะทำงานเมื่อความความดันภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์สูงเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ การทำงานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือระบบระบายความร้อนแรกจะฉีดน้ำจากถังน้ำบ่อเก็บเชื้อเพลิงเข้าสู่ภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์ เพื่อทำการควบแน่นไอน้ำและลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจน เมื่อน้ำภายในถังน้ำบ่อเก็บเชื้อเพลิงมีปริมาณลดต่ำลง มีสัญญาณสั่งให้ระบบระบายความร้อนที่สองเปิดเช็ควาล์วเพื่อนำน้ำจากบ่อเก็บน้ำด้านล่างของอาคารคลุมปฏิกรณ์หมุนเวียนกลับเข้าไปใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ระบบระบายความร้อนดังกล่าว ยังมีการฉีดสารเคมีเพื่อทำปฏิกิริยากับก๊าซจากผลผลิตของปฏิกิริยาฟิชชัน เพื่อลดการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสีอีกทางหนึ่ง



รูปที่ 4.29 แสดงระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 4.30 แสดงอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

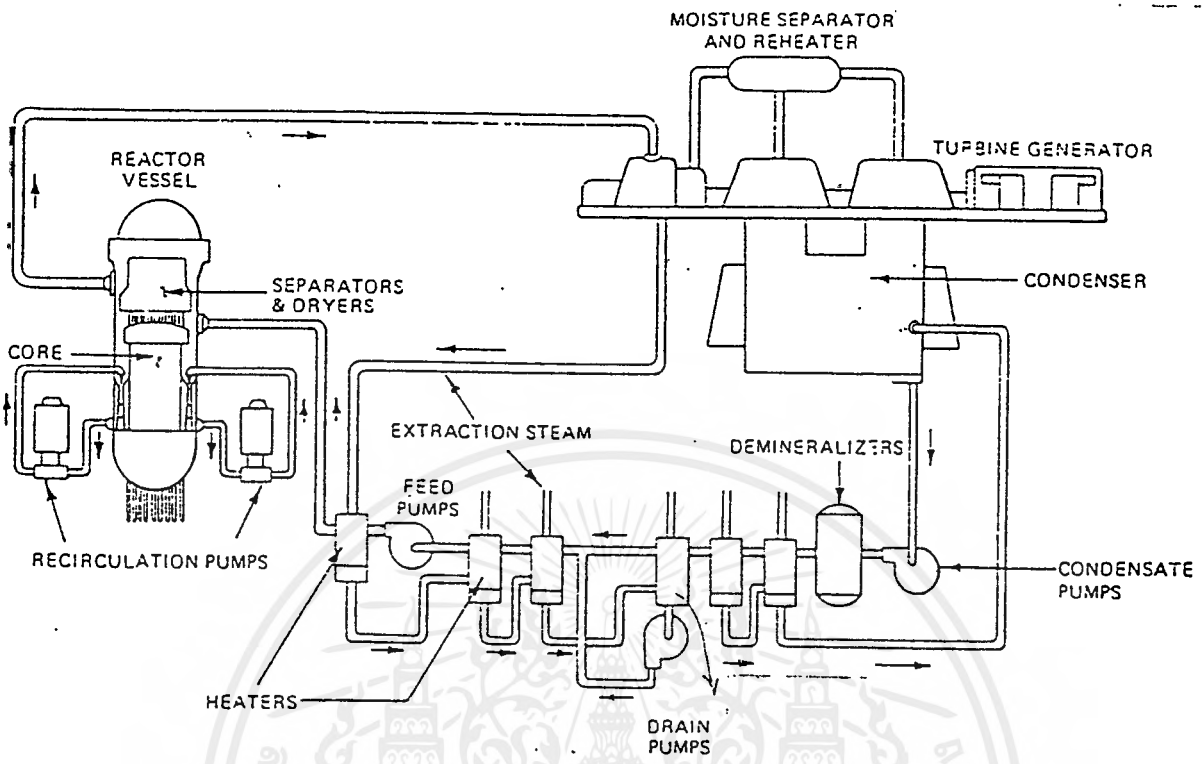
2. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR

ในสมัยเริ่มต้นของการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชื่อว่าหากปล่อยให้น้ำภายในถังปฏิกรณ์เดือดจะทำให้เครื่องปฏิกรณ์อยู่ในสภาวะที่ไม่เสถียร ดังนั้น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR จึงได้รับการพัฒนาก่อนเป็นรุ่นแรก ต่อมาผลการทดลองปรากฏว่า ถ้าปล่อยให้น้ำในถังปฏิกรณ์เดือดที่ความดันภายในสูงกว่าปกติเครื่องปฏิกรณ์จะคงอยู่ในสภาวะที่เสถียรและสามารถควบคุมได้ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR ซึ่งการควบคุมความดันภายในถังปฏิกรณ์ง่ายกว่าแบบ PWR

2.1 หลักการทำงาน

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR ใช้นิวตรอนย่านพลังงานต่ำเพื่อทำปฏิกิริยาฟิชชันกับยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ โดยมีน้ำเป็นสารหน่วงนิวตรอนและระบายความร้อนเช่นเดียวกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR แต่มีความแตกต่างกันที่ความดันภายในถังปฏิกรณ์ไม่สูงเท่าแบบ PWR ลักษณะการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR กล่าวคือ ภายในถังปฏิกรณ์จะเป็นส่วนผลิตไอน้ำโดยตรง ซึ่งควบคุมความดันประมาณ 70 เท่าของบรรยากาศ หรือประมาณครึ่งหนึ่งของความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR น้ำระบายความร้อนไหลเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทางเจทปั๊ม ที่อยู่ด้านข้างของถังปฏิกรณ์ หลังจากนั้น เจทปั๊มจะฉีดน้ำไปยังด้านล่างแล้วไหลผ่านแกนปฏิกรณ์จากด้านล่างสู่ด้านบนเพื่อถ่ายโอนความร้อนจากแกนปฏิกรณ์ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกระทั่งพ้นแกนปฏิกรณ์น้ำจะเดือดกลายเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 290° ซ. ไอน้ำจะผ่านเครื่องแยกไอน้ำออกจากน้ำ และเครื่องทำให้ไอน้ำแห้งที่อยู่บริเวณด้านบนของถังปฏิกรณ์กลายเป็นไอน้ำที่มีความชื้นต่ำแล้วผ่านเข้ากังหันไอน้ำเพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไอน้ำที่ไหลผ่านกังหันไอน้ำแล้วจะไหลผ่านมายังเครื่องควบแน่นซึ่งมีท่อเล็ก ๆ รับน้ำที่ปั๊มมาจากภายนอกเพื่อถ่ายโอนความร้อนที่เหลือจากไอน้ำ ไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและถูกปั๊มกลับเข้าแกนปฏิกรณ์อีกครั้งหนึ่งซึ่งระบบนี้จะเป็นระบบปิด

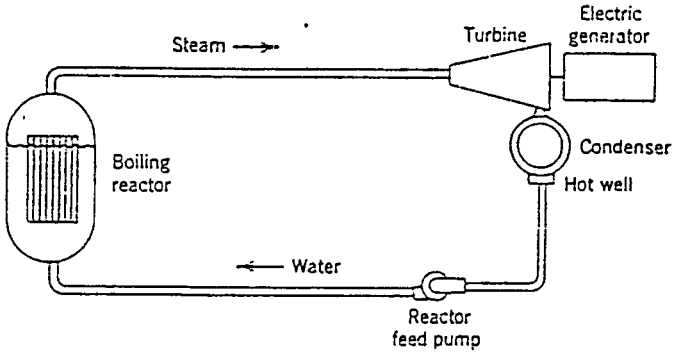
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR

จากหลักการทำงานดังกล่าวข้างต้นนี้ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR ได้รับการออกแบบให้มีการทำงานของระบบระบายความร้อนเป็นหลายวงจร สามารถแบ่งออกได้

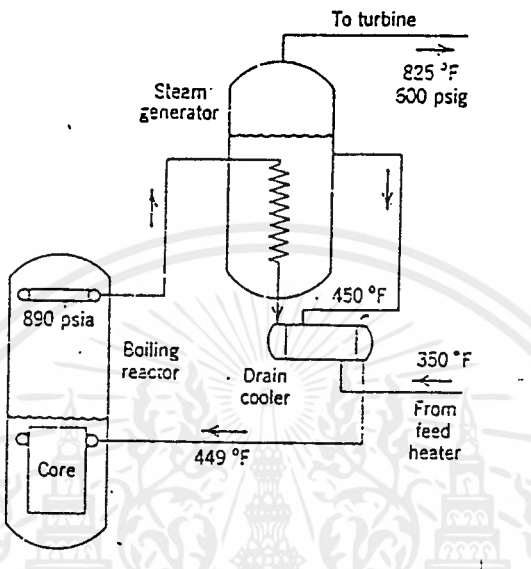
1. ระบบผลิตไอน้ำโดยตรงเป็นระบบเดียวกับที่กล่าวข้างต้น คือ ไอน้ำจากเครื่องปฏิกรณ์จะผ่านเข้าไปในส่วนผลิตไฟฟ้าโดยตรง



รูปที่ 4.32 แสดงเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR ระบบผลิตไอน้ำโดยตรง

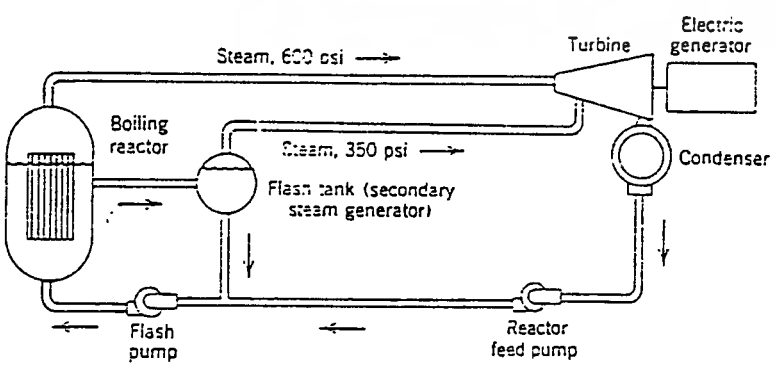
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ระบบผลิตไอน้ำทางอ้อม ระบบนี้ไอน้ำจากเครื่องปฏิกรณ์จะผ่านไปยังเครื่องผลิตไอน้ำ ซึ่งเป็นน้ำอีกระบบหนึ่งที่มารับความร้อนจากไอน้ำที่ออกมาจากแกนปฏิกรณ์ น้ำในเครื่องผลิตไอน้ำจะเดือดกลายเป็นไอน้ำเข้าสู่กังหันผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 4.33 แสดงเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR ระบบผลิตไอน้ำทางอ้อม

3.ระบบผลิตไอน้ำวงจรคู่ ระบบนี้มีเครื่องผลิตไอน้ำ 2 เครื่อง เครื่องแรกคือถังปฏิกรณ์ไอน้ำที่ออกจากแกนปฏิกรณ์จะวิ่งเข้าสู่กังหันความดันสูง อีกส่วนน้ำร้อนจากแกนปฏิกรณ์จะวิ่งเข้าเครื่องผลิตไอน้ำอีกตัวเพื่อผลิตไอน้ำ ซึ่งจะวิ่งเข้าสู่กังหันความดันต่ำ

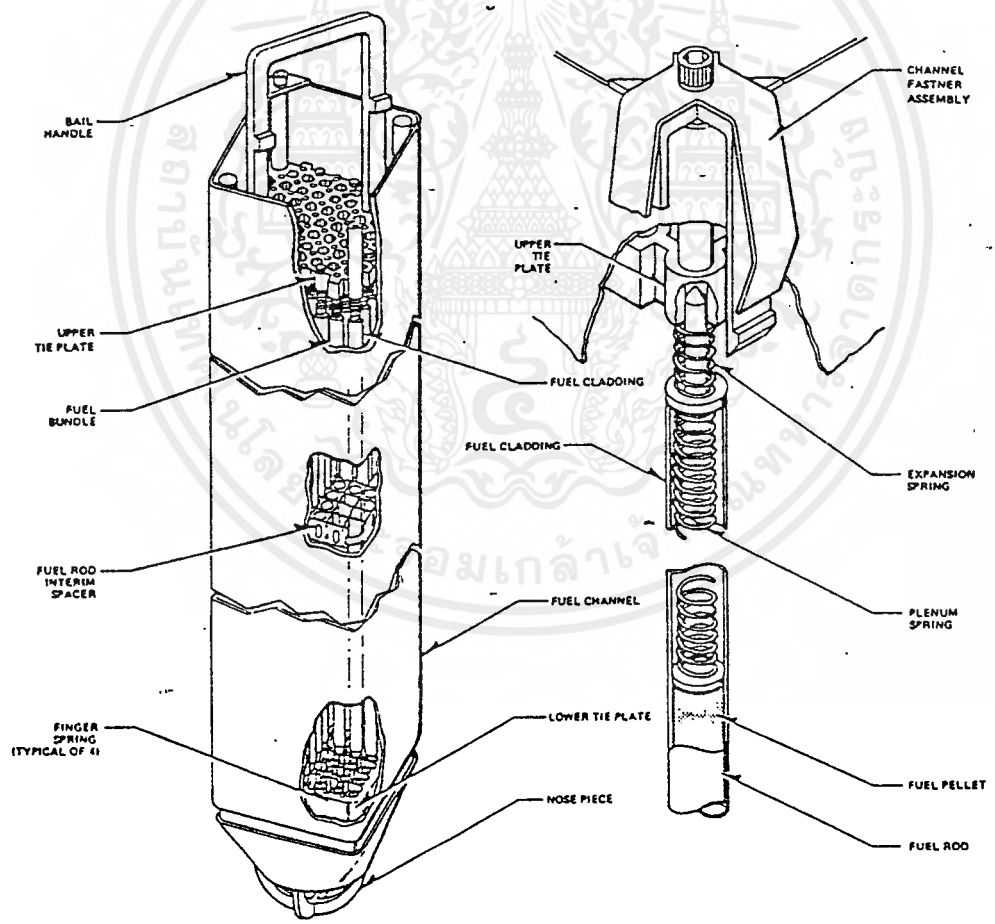


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

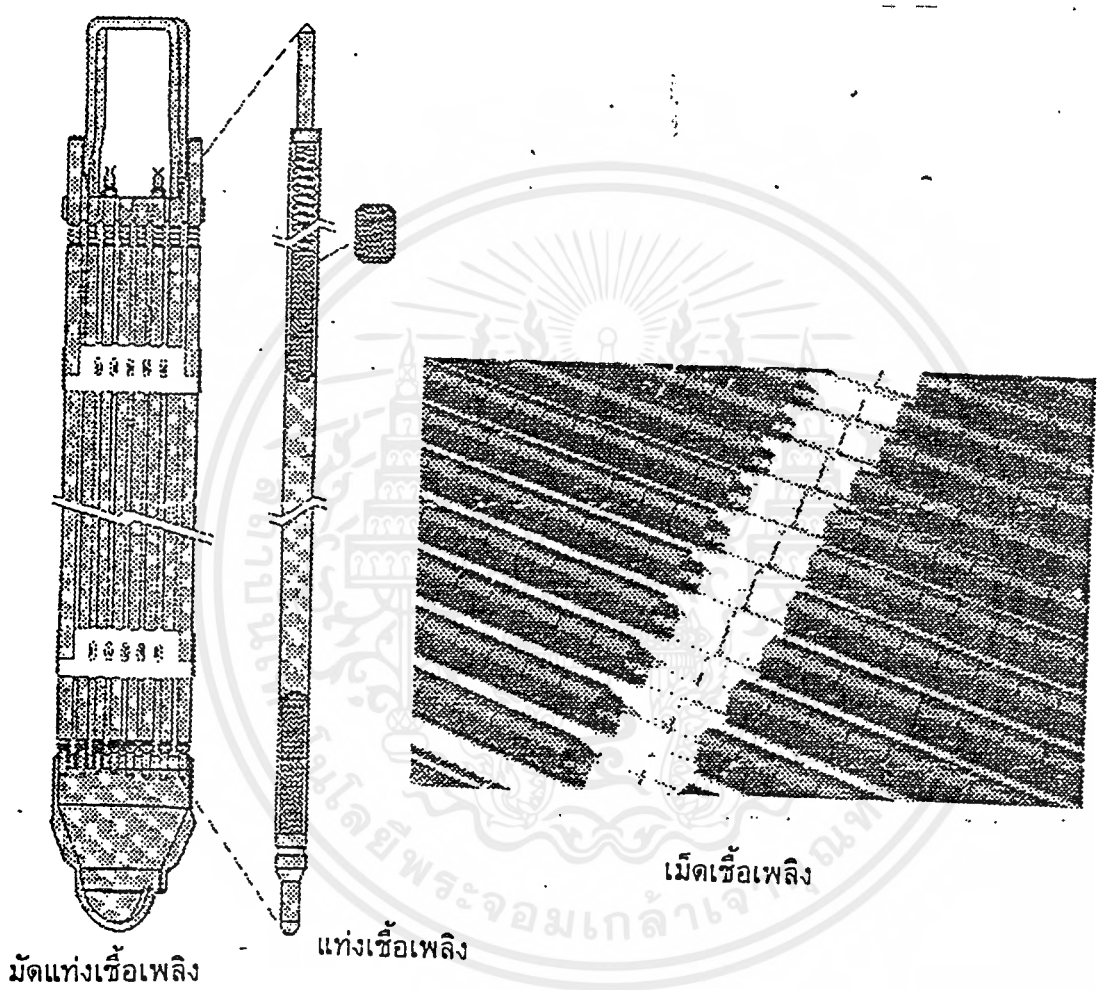
รูปที่ 4.34 แสดงเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR ระบบผลิตไอน้ำวงจรคู่

2.2<u>ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR</u>

1.แท่งเชื้อเพลิง : มีลักษณะเป็นทรงกระบอกทำด้วยโลหะผสมเซอร์โคเนียม บรรจุเชื้อเพลิงยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำอยู่ในรูปยูเรเนียมไดออกไซด์ ที่อัดเป็นรูปทรงกระบอกลักษณะเดียวกับเม็ดเชื้อเพลิงแบบ PWR มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและยาว 1 และ 2 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อนำแท่งเชื้อเพลิงมัดรวมกัน เรียกว่ามัดเชื้อเพลิง ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR มัดเชื้อเพลิงหนึ่งจัดเรียงในลักษณะ 8 X 8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงเม็ดเชื้อเพลิง แท่งเชื้อเพลิงและมัดเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.แกนปฏิกรณ์ : ประกอบด้วยมัดแท่งเชื้อเพลิงประกอบรวมกับแทงควบคุม โดยมัดแท่งเชื้อเพลิงทุก 4 มัด จะมีแท่งควบคุม 1 แท่ง จำนวนของมัดแท่งเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์ขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องปฏิกรณ์

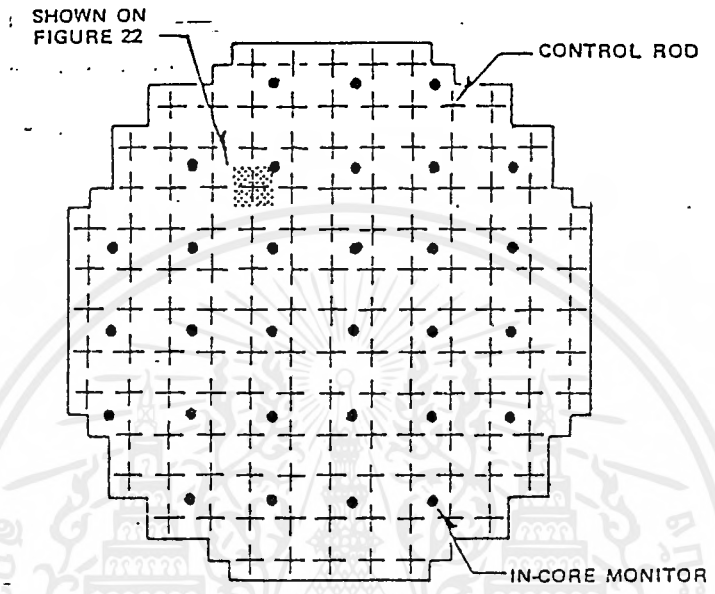
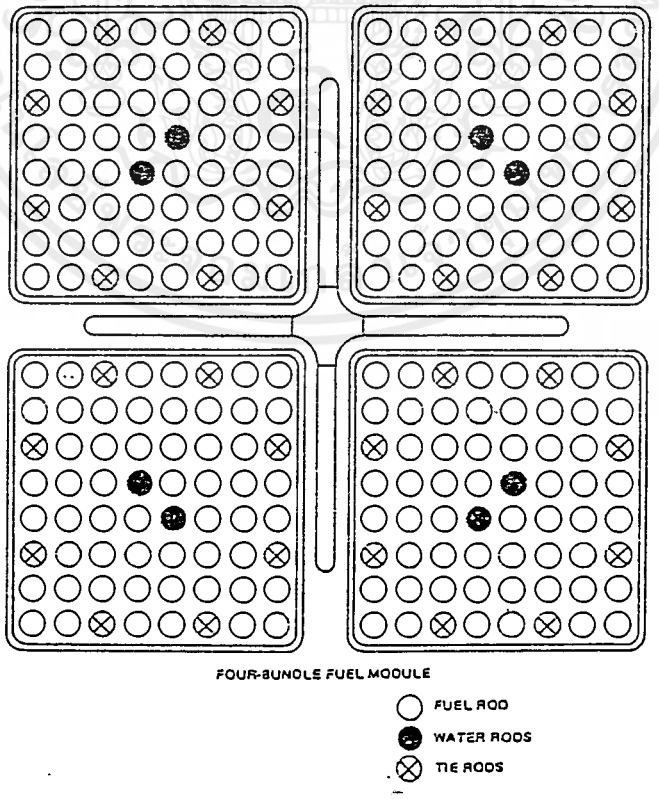


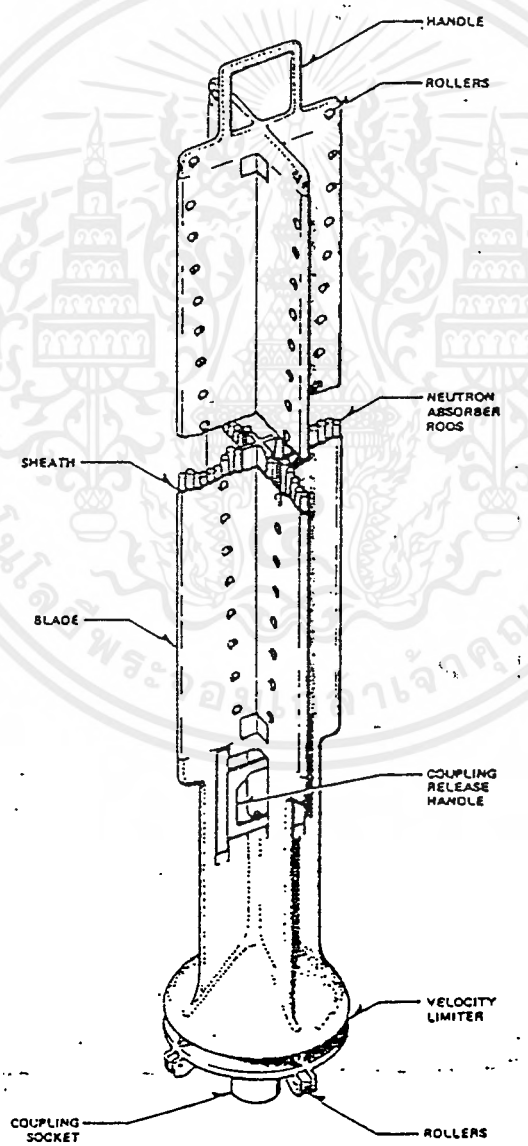
Figure 21. Typical core arrangement.



รูปที่ 4.36 แสดงการจัดเรียงมัดเชื้อเพลิงในแกนปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

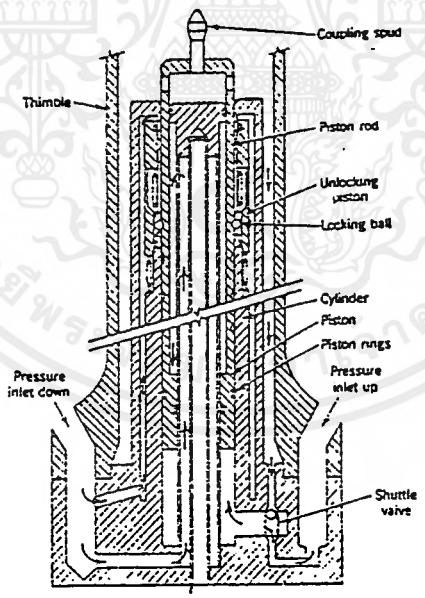
3.แท่งควบคุม : ทำด้วยเหล็กกล้าปลอดสนิมรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 4-6 เมตร ภายในบรรจุผงโบรอนคาร์ไบด์ ซึ่งเป็นสารดูดนิวตรอน แท่งควบคุมอยู่รวมกันเป็นรูปกากบาท โดยแต่ละด้านจะมีแท่งควบคุมบรรจุ 18 แท่ง แท่งกากบาทนี้จัดเรียงตัวในมัดแท่งเชื้อเพลิงโดยมีระบบควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงอยู่ทางด้านล่างของถังปฏิกรณ์



รูปที่ 4.37 แสดงแท่งควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

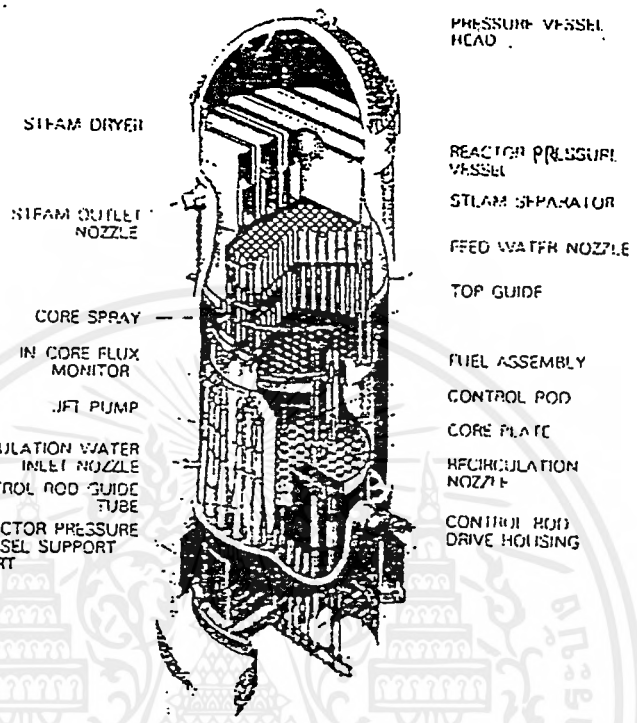
4.ระบบการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม : ติดตั้งอยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ เนื่องจาก ภายในถังปฏิกรณ์ตอนบนประกอบด้วยเครื่องแยกไอน้ำออกจากน้ำ และเครื่องทำให้ไอน้ำแห้ง จึงไม่สะดวกในการออกแบบให้แท่งควบคุมเคลื่อนที่ลงมา ระบบการเคลื่อนที่เป็นระบบไฮโดรลิค สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของลูกสูบซึ่งเคลื่อนที่จากความไม่สมดุลของแรงดันของน้ำที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์ เมื่อต้องการลดกำลังเครื่องปฏิกรณ์แท่งควบคุมจะเคลื่อนที่ขึ้นโดยปล่อยน้ำจาก Insert Valve เข้าไปในกระบอกลูกสูบ น้ำที่เข้ามามีแรงดันมากกว่าน้ำภายในกระบอกสูบจะดันลูกสูบขึ้นทำให้แท่งควบคุมเคลื่อนที่ขึ้นตามในทางกลับกัน ถ้าต้องการเพิ่มกำลังเครื่องปฏิกรณ์น้ำจากกระบอกลูกสูบจะไหลเข้าทาง Withdraw Valve ทำให้แท่งควบคุมเคลื่อนที่ลงมา ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินจะมีน้ำจาก accumulator tank ที่แรงดันสูงไหลเข้าสู่กระบอกสูบเพื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นของแท่งควบคุม



รูปที่ 4.38 แสดงระบบการเคลื่อนที่ของแท่งควบคุม

5.ถังปฏิกรณ์ : มีลักษณะรูปทรงกระบอก วางในแนวตั้งคล้ายคลึงกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR แต่ผนังของถังปฏิกรณ์ของ BWR จะบางกว่าเนื่องจากความดันภายในถังปฏิกรณ์ต่ำกว่าของ PWR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



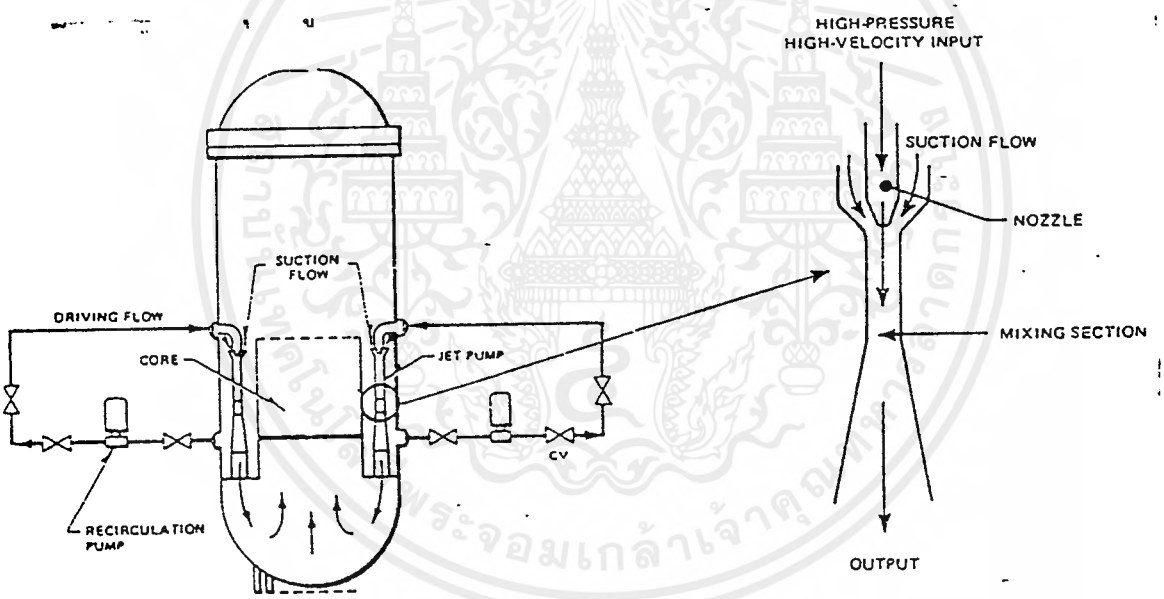
รูปที่ 4.39 แสดงถังปฏิกรณ์และอุปกรณ์ภายใน

6.เครื่องแยกไอน้ำออกจากน้ำ : อยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ ทำหน้าที่ในการแยกน้ำออกจากไอน้ำและนำเอาน้ำที่ถูกแยกออกกลับเข้าสู่แกนปฏิกรณ์อีกครั้ง สำหรับกรณีเป็นระบบผลิตไอน้ำโดยตรง ส่วนระบบผลิตไอน้ำวงจรคู่น้ำจะถูกส่งออกไปสู่ระบบผลิตไอน้ำก่อนที่จะกลับเข้าสู่แกนปฏิกรณ์ สำหรับในการแยกน้ำออกจากไอน้ำนั้นได้อาศัยหลักการของแรงหนีศูนย์กลาง

7.เครื่องทำให้ไอน้ำแห้ง : เป็นส่วนที่อยู่ด้านบนสุดของถังปฏิกรณ์ ทำหน้าที่อบแห้งไอน้ำความชื้นต่ำจากเครื่องแยกไอน้ำ ทั้งนี้ เพื่อให้ไอน้ำที่ผลิตได้มีความชื้นต่ำที่สุดก่อนจะเข้าสู่กังหันไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.เจทปั๊ม (Jet Pump) : ไอน้ำหลังจากผ่านกังหันผลิตไฟฟ้าแล้วจะวิ่งไปยังเครื่องควบแน่น เพื่อถ่ายโอยความร้อนกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและถูกปั๊มมารวมกับน้ำที่มาจากเครื่องแยกไอน้ำโดยปั๊มหมุนเวียน (Circulation Pump) ก่อนปั๊มเข้าเจทปั๊มเพื่อฉีดน้ำลงสู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์ เจทปั๊มจะอยู่รอบบ ๆ ถังปฏิกรณ์ซึ่งมีประมาณ 10-24 ตัว ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง ลักษณะของเจทปั๊มประกอบด้วยท่อขนาดเล็กมีหัวฉีดขนาดใหญ่ปลายบานสวมเข้าไปในท่อเล็ก หัวฉีดจะฉีดน้ำที่ผ่านเข้ามาด้วยความเร็วสูงทำให้บริเวณดดยรอบหัวฉีดมีความดันลดลงเกิดเป็นแรงดูดเพื่อดูดน้ำจากบริเวณโดยรอบให้เข้าไปผสมกับน้ำที่ฉีดออกมา จะทำให้น้ำที่ฉีดเข้ามาใหม่รวมกับน้ำในแกนปฏิกรณ์ เพื่อให้มีอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนสม่ำเสมอกัน



รูปที่ 4.40 แสดงเจทปั๊มและการไหลเวียนของน้ำที่ฉีดออกจากเจทปั๊ม

2.3 <u>การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR</u>

การควบคุมกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR สามารถแยกพิจารณาได้ 2 ประเด็น คือ การควบคุมด้วยตัวเองและการควบคุมด้วยกลไกของระบบความปลอดภัย

การควบคุมด้วยตนเองของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR นั้น เนื่องจากในการเดินเครื่องปกติน้ำภายในแกนปฏิกรณ์จะเดือดซึ่งจะเกิดฟองอากาศขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในสารระบายความร้อน เรียกฟองอากาศนั้นว่า void หากปริมาณความร้อนในแกนปฏิกรณ์เพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้น้ำเดือดอย่างรุนแรง void จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและหาก void ไปเกาะที่ผิวของแท่งหุ้มเชื้อเพลิงจะทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายโอนความร้อนระหว่างแท่งเชื้อเพลิงกับสารระบายความร้อนลดลงเป็นสาเหตุให้แท่งเชื้อเพลิงหลอมละลายได้ ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยในการเดินเครื่องจึงได้ออกแบบให้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง BWR มีการเดินเครื่องแบบ Negative Void Coefficient กล่าวคือ ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR ในขณะเดินเครื่องปกติจะมี void อยู่จำนวนหนึ่ง แต่เมื่ออุณหภูมิในแกนปฏิกรณ์สูงขึ้นเป็นผลให้อุณหภูมิในสารระบายความร้อนสูงทำให้ความหนาแน่นของสารระบายความร้อนต่ำลงปริมาณของ void เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นคุณสมบัติในการหน่วงนิวตรอนต่ำลง ทำให้ปริมาณนิวตรอนช้าลดลงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันต่ำลง

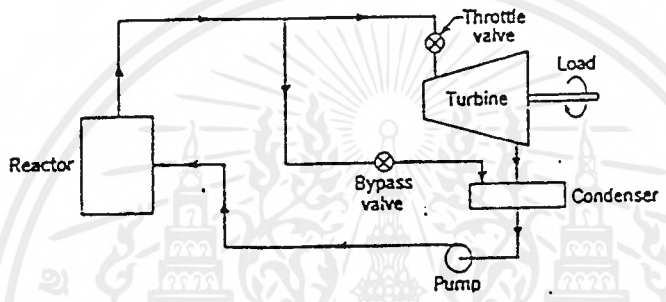
สำหรับการควบคุมด้วยกลไกของระบบความปลอดภัย ได้แก่

1.การควบคุมกำลังด้วยระบบแท่งควบคุม แท่งควบคุมทำหน้าที่ในการควบคุมกำลังในขณะเริ่มเดินเครื่อง ควบคุมกำลังเครื่องปฏิกรณ์ให้คงที่ขณะเดินเครื่องปกติ หยุดเดินเครื่องทั้งในสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉิน โดยแท่งควบคุมจะเคลื่อนที่ขึ้นลงจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ระยะของแท่งควบคุมในแกนปฏิกรณ์จะเป็นตัวแปรหนึ่งในการกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน

2.การควบคุมกำลังเครื่องปฏิกรณ์โดยระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นทำให้ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเพิ่มตามด้วยจึงเป็นผลให้กำลังของเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น ดังนั้นในการควบคุมกำลังเครื่องปฏิกรณ์ให้คงที่อีกนัยคือการควบคุมปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นให้คงที่โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณและมวลของน้ำระบายความร้อนที่เข้าสู่แกนปฏิกรณ์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความร้อนในแกนปฏิกรณ์ การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนหมุนเวียนเป็นการช่วยเร่งระบายความร้อนและทำให้ void ลดลงดังนั้นค่าปริมาณความร้อนจึงคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การควบคุมกำลังด้วยการควบคุมความดันของไอน้ำที่เข้าสู่กังหันโดยการใช้ Pressure Regulator เปรียบเทียบระหว่างแรงดันของไอน้ำที่ไปขับเคลื่อนกังหันกับค่าแรงดันของกังหันที่ตั้งไว้ ถ้าน้ำภายในเตาปฏิกรณ์เดือดอย่างรุนแรง จะทำให้ค่าความดันของไอน้ำที่เข้าสู่กังหันสูงกว่าความดันที่ตั้งไว้ จะมีสัญญาณจาก Pressure Deviation ส่งไปยังวงจร Bypass เพื่อเปิดวาล์วนำไอน้ำที่มากเกินพอผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่นโดยไม่ผ่านกังหันทำให้ปริมาณน้ำที่เข้าสู่ถังปฏิกรณ์จะเพิ่มขึ้นโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.41 แสดงการควบคุมเครื่องปฏิกรณ์ด้วยการควบคุมความดันของไอน้ำ

2.4 ระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน

คือระบบของเครื่องตรวจวัดต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ ในระบบจะประกอบด้วยเครื่องวัดต่าง ๆ ระบบส่งผ่านสัญญาณ ระบบตรรก และสัญญาณเตือนภัย โดยเครื่องวัดเหล่านี้จะส่งสัญญาณที่ผิดปกติไปยังระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินหรือระบบความปลอดพัยทางวิศวกรรม เพื่อให้ระบบทั้งสองแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ไม่ให้เกิดอุบัติเหตุรุนแรงตามมา

เมื่อระบบหยุดเดินเครื่องวัดสัญญาณเหตุผิดปกติใด ๆ ที่อาจจะส่งผลเสียหายแก่แกนปฏิกรณ์ได้ ระบบความปลอดพัยจะทำการหยุดเดินเครื่องทันที เพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดแก่แกนปฏิกรณ์อันจะเป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงได้ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบ BWR นี้ ระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินแรกอบด้วยเครื่องตรวจวัดความผิดปกติต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกเครื่องปฏิกรณ์ เช่น เครื่องวัดความดันภายในถังปฏิกรณ์ เครื่องวัดความสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เป็นต้น หากมีความผิดปกติเครื่องวัดจะส่งสัญญาณไปยัง Scram Valve ของระบบขับเคลื่อนแท่งควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อทำการหยุดเดินเครื่องโดยทันที จุดต่าง ๆ ที่ได้มีการติดตั้งเครื่องวัดความผิดปกติที่สามารถส่งสัญญาณให้หยุดเดินเครื่องได้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและสัญญาณที่จะทำให้มีการหยุดเดินเครื่องได้

บริเวณที่ติดตั้งเครื่องวัด	สัญญาณที่ทำให้หยุดเดินเครื่อง
Reactor pressure	high
Reactor water level	low
Drywell pressure	high
Neutron flux	high
Scram discharge volume	water level high
Main steam line radiation	high
Earthquake acceleration	high

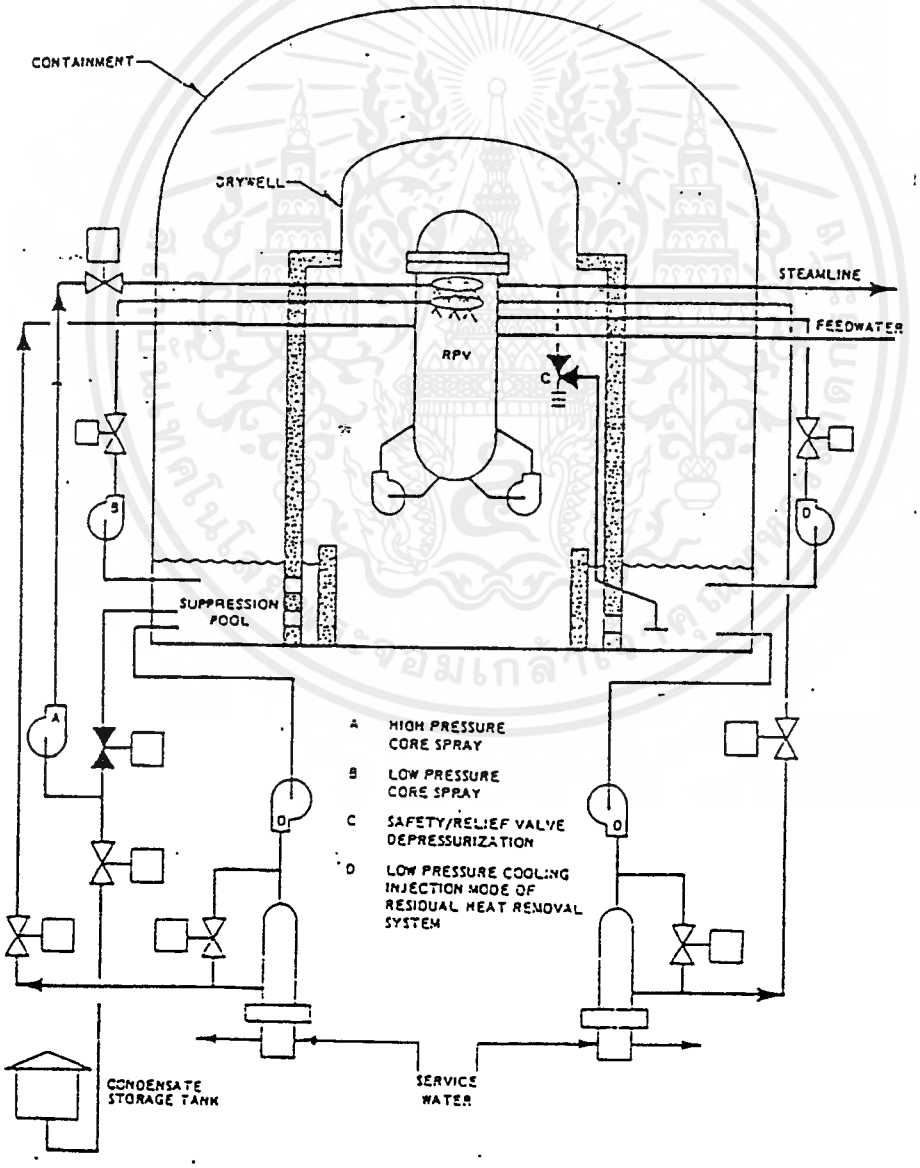
2.5 ระบบความปลอดภัยทางวิศวกรรม

ถึงแม้อุบัติเหตุที่เกิดจากแกนเครื่องปฏิกรณ์สูญเสียน้ำระบายความร้อน ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้แกนปฏิกรณ์แตกหักหรือหลอมละลาย และสารกัมมันตรังสีรั่วออกสู่สิ่งแวดล้อมจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก แต่ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยจึงได้มีการออกแบบระบบความลอดภัยทางวิศวกรรมไว้เพื่อป้องกันหรือลดความรุนแรงของอุบัติเหตุดังกล่าวข้างต้น โดยระบบความปลอดพัยทางวัศวกรรมจะประกอบด้วย

1.ระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน จะประกอบด้วย 4 ระบบย่อย คือ Low pressure core spray system (LPCS), Low pressure cooling injection system (LPCI), High pressure core spray system (HPCS), และ Automatic depressurization system (ADS) การทำงานของทั้ง 4 ระบบ จะเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติ การเกิดอุบัติเหตุที่ทำให้แกนปฏิกรณ์ขาดน้ำระบายความร้อนนั้นจะทำให้น้ำที่เหลืออยู่ในแกนปฏิกรณ์ได้รับความร้อนสูงมากและเดือดอย่างรุนแรง ทำให้ปริมาณไอน้ำมากขึ้นและความดันสูง จะมีสัญญาณส่งไปยังระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน และจะเริ่มฉีดน้ำเข้ามาระบายความร้อนในแกนปฏิกรณ์เพื่อป้องกันไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แกนปฏิกรณ์หลอมละลาย โดย LPCS จะฉีดน้ำจาก suppression pool ส่วน LPCI จะฉีดน้ำจากระบบระบายความร้อนสำรองในขณะหยุดเดินเครื่องและ HPCS จะฉีดน้ำจาก Condensate storage tank ส่วน ADS จะมีวาล์วปิดเปิด เพื่อให้ไอน้ำภายในถังปฏิกรณ์มาควบแน่นที่ suppression pool เพื่อลดความดันภายในถังปฏิกรณ์ลง และ ADS มีวาล์วติดต่อกับระบบ LPCS และ LPCI เพื่อนำน้ำมาระบายความค้อนในถังปฏิกรณ์อีกทางหนึ่ง

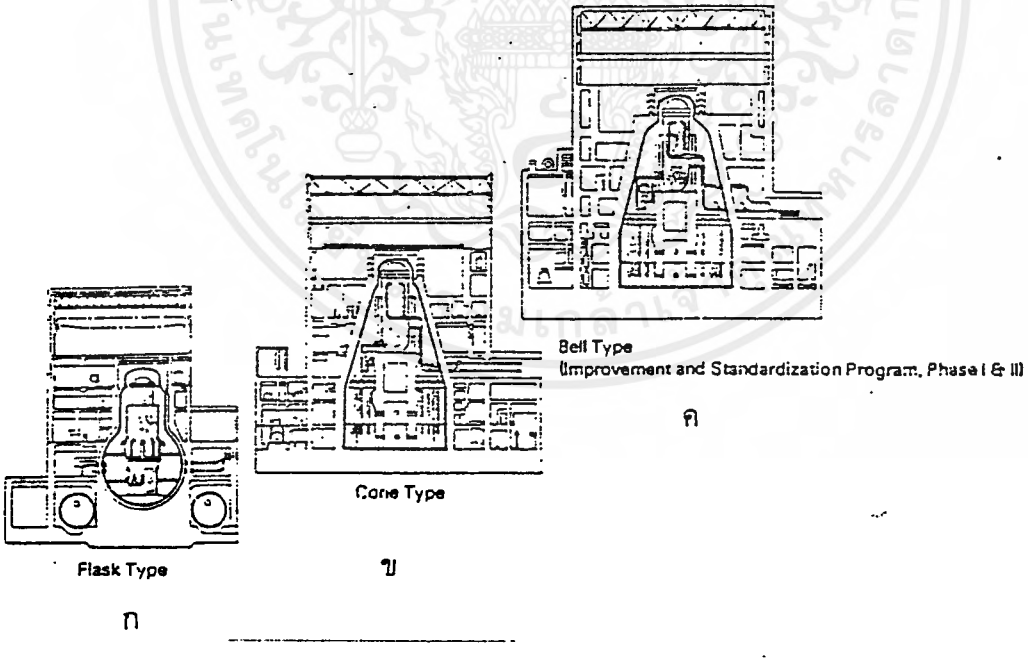


รูปที่ 4.42 แสดงระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ มีระบบต่าง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้สารกัมมันตรังสีรั่วสู่สิ่งแวดล้อมหลังจากที่เกิดอุบัติเหตุโดยให้สารกัมมันตรังสีแบะผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาฟิชชันที่อาจจะรั่วออกมาจากแท่งหุ้มเชื้อเพลิงจะถูกกักเก็บไว้ภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์โดยภายในอาคารประกอบด้วย อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ชั้นใน ระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ และ ระบบควบคุมความเข้มข้นของก๊าซภายในอาคาร

- อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ชั้นในของเครื่องปฏิกรณ์ BWR มีอยู่ 3 แบบ คือ Mark I มีลักษณะเป็นทรงกลม Mark II มีลักษณะคล้ายกรวย และ Mark III มีลักษณะคล้ายรูประฆัง อาคารทั้ง 3 แบบ เป็นอาคารที่ออกแบบให้ทนแรงดันที่เกิดจากการระเบิดของถังปฏิกรณ์ แลแรงดันจากไอน้ำ อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ชั้นในออกแบบให้มีส่วน drywell เป็นส่วนที่วางถังปฏิกรณ์ และส่วน suppression pool เป็นส่วนที่มีน้ำบรรจุอยู่เพื่อใช้ระบายความร้อนในอาคาร



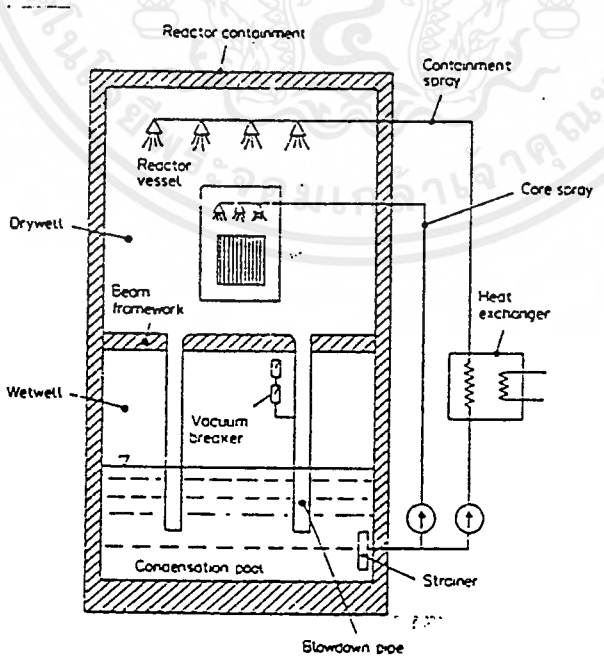
รูปที่ 4.43 แสดงอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ชั้นในแบบต่าง ๆ

(ก) Mark I (ข) Mark II (ค) Mark III

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบระบายความร้อนในอาคารคุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อเกิดอุบัติเหตุ ความร้อนภายในแกนปฏิกรณ์สูงขึ้นมากไอน้ำและอากาศภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์ขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิและความดันสูงขึ้นตาม ดังนั้น เพื่อลดความดันมิให้สูงเกินกว่าที่อาคารคลุมปฏิกรณ์จะทนทานได้ ระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมปฏิกรณ์ จะฉีดน้ำจาก suppression pool เข้าสู่ภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์ และน้ำที่ฉีดจะกลับเข้าสู่ suppression pool และสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ได้อีก

- ระบบควบคุมความเข้มข้นของก๊าซภายในอาคารคลุมปฏิกรณ์ในสภาวะปกติระบบนี้จะช่วยควบคุมให้ความดันภายในอาคารให้ต่ำกว่าบรรยากาศโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเพื่อว่าหากเกิดอุบัติเหตุอากาศภายในอาคารจะไม่ฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม และควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนเพื่อมิให้เกิดเพลิงไหม้ได้ ในสภาวะฉุกเฉินจะมีระบบควบคุมปริมาณก๊าซไวไฟ ซึ่งเป็นระบบที่ทำงานโดยเจ้าหน้าที่ ระบบควบคุมปริมาณก๊าซไวไฟ จะนำก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจากบริเวณ drywell ไปที่ suppression pool เพื่อป้องกันการเกิดเพลิงไหม้และการระเบิดจากก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 4.44 แสดงระบบระบายความร้อนในอาคารคลุมปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบที่ใช้น้ำมวลหนักเป็นสารหน่วงนิวตรอนมีชื่อทั่วไปว่า Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR) ได้รับการพัฒนาทั้งจากประเทศแคนาดา โดยบริษัท Atomic Energy of Canada Limited (AECL) ประเทศเยอรมันนี โดยบริษัทKraftwerk Union และประเทศญี่ปุ่น จุดประสงค์หลักของการพัฒนาคือ ต้องการใช้ยูเรเนียมธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ แต่การพัฒนาของทั้ง 3 ประเทศมีข้อแตกต่างกันคือ ประเทศแคนาดาได้ออกแบบให้มัดเชื้อเพลิงบรรจุในท่อความดัน นำท่อความดันหลาย ๆ ท่อรวมกันเป็นแกนปฏิกรณ์บรรจุในถังคาแลนเดรีย (Calandria) ดังนั้น เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของประเทศแคนาดาจึงไม่จำเป็นต้องสร้างถังปฏิกรณ์ทนความดันขนาดใหญ่สำหรับประเทศเยอรมันนี แกนปฏิกรณ์ยังคงบรรจุอยู่ในถังปฏิกรณ์เช่นเดิม ซึ่งโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบนี้มีชื่อว่า Atucha ในประเทศอาเจนตินาซึ่งเป็นประเทศเดียวที่ประเทศเยอรมันนีส่งออกโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบนี้ ส่วนประเทศญี่ปุ่น ได้พัฒนาเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PHWR ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ชื่อว่า Fugen มีความแตกต่างจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบ CANDU ที่ภายในท่อความดันจะบรรจุน้ำธรรมดาซึ่งน้ำดังกล่าวจะเดือดภายในแกนปฏิกรณ์ และท่งเชื้อเพลิงใช้ยูเรเนียมธรรมชาติและพลูโทเนียม ทำให้แกนปฏิกรณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ Fugen เล็กกว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบ CANDU

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ PHWR ที่นิยมมากคือ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบ CANDU ในปี พ.ศ. 2536 เดินเครื่องอยู่ทั่วโลก 32 โรง กำลังก่อสร้าง 13 โรง ดังนั้น ในการกล่าวรายละเอียดของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PHWR เป็นการออกแบบภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบ CANDU

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ LWR จำเป็นต้องใช้ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวต้องใช้โรงงานผลิตยูเรเนียมเข้มข้นที่ใช้เทคโนโลยีสูงและมีการลงทุนมหาศาล จึงได้เกิดแนวทางการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิวเคลียร์กำลังแบบ PHWR ที่ใช้ยูเรเนียมธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยการใช้น้ำมวลหนักเป็นสารหน่วงนิวตรอนและสารระบายความร้อนแทนน้ำธรรมดา

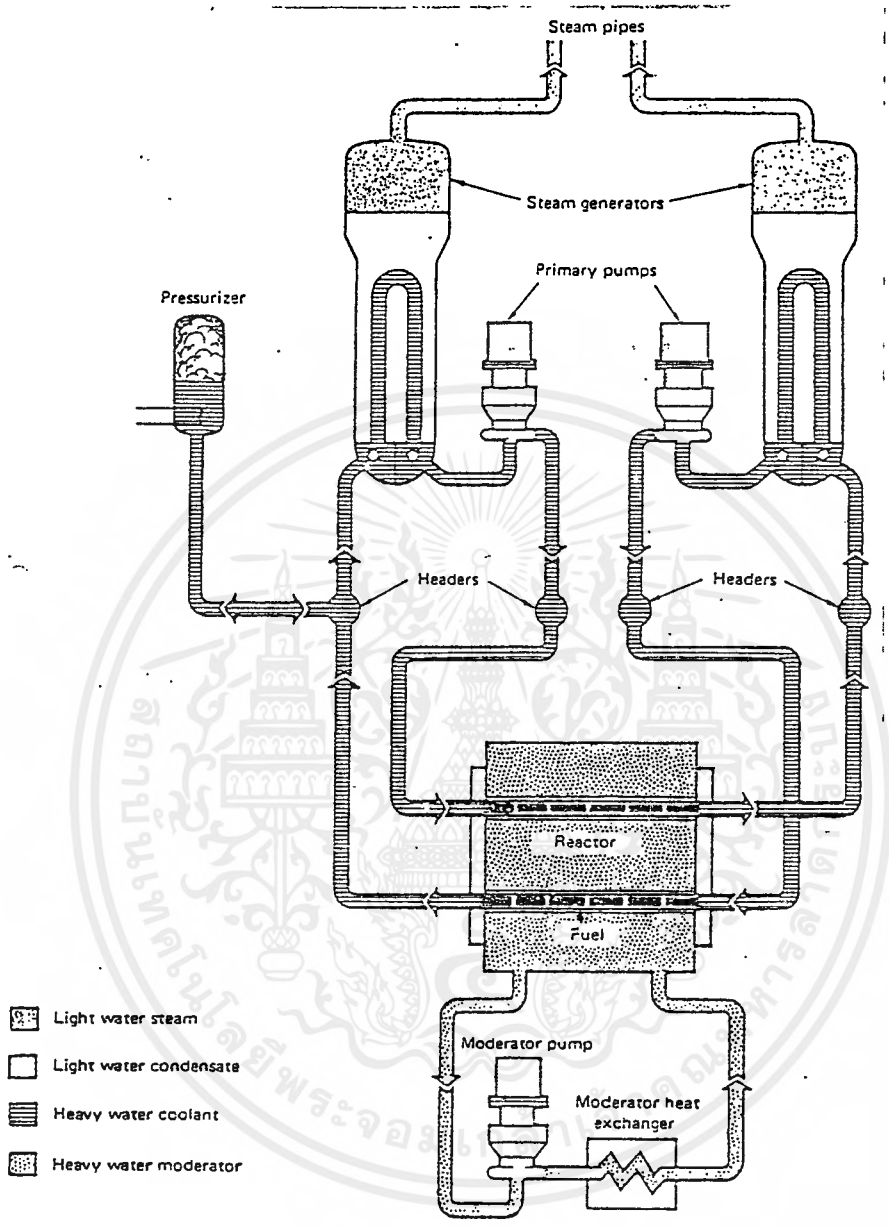
น้ำมวลหนัก เป็นน้ำซึ่งมีองประกอบอะตอมของไฮโดรเจน เป็นไอโซโทปที่เรียกว่า "ดิวทีเรียม (deuterium , D หรือ $_1H^2$)"มีสูตรทางเคมีของน้ำมวลหนักคือ D_2O สาเหตุที่เรียกว่าน้ำมวลหนัก เนื่องจากนิวเคลียสของดิวที่เรียมจะประกอบด้วยนิวตรอน 1 ตัว โปรตอน 2 ตัว ขณะที่นิวเคลียสของไฮโดรเจนประกอบด้วยโปรตอนเพียง 1 ตัว จึงทำให้น้ำมวลมากกว่าน้ำธรรมดา คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมวลหนักคือ สามารถลดความเร็วของนิวตรอนได้คล้ายคลึงกับน้ำธรรมดาแต่ดูดกลืนนิวตรอนได้น้อยกว่าทำให้จำนวนนิวตรอนย่านพลังงานต่ำในแกนปฏิกรณ์มากกว่าในระบบที่ใช้น้ำธรรมดา ดังนั้นเมื่อนำยูเรเนียมธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาแตกตัวอย่างต่อเนื่องได้

ตามปกติน้ำมวลหนักจะอยู่ปะปนกับน้ำธรรมชาติ ในอัตราส่วนของน้ำที่มีอะตอมไฮโดรเจน 6500 โมเลกุลต่ออะตอมดิวทีเรียม 1 โมเลกุลสำหรับเครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้น้ำมวลหนักนี้ต้องการอัตราส่วนของอะตอมไฮโดรเจน 1 โมเลกุลต่ออะตอมดิวทีเรียม 400 โมเลกุล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโรงงานผลิตน้ำมวลหนักซึ่งสกัดมาจากน้ำในธรรมชาติ ซึ่งโรงงานดังกล่าวต้องใช้การลงทุนสูง ถึงแม้จะไม่เท่ากับโรงงานผลิตยูเรเนียมเสริมสมรรถนะก็ตามแต่ยังขึ้นอยู่กับความชำนาญในเทคโนโลยีของแต่ละประเทศอีกด้วย

3.1 <u>หลักการทำงาน</u>

การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบ CANDU นอกจากจะหลีกเลี่ยงการใช้ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะแล้ว ยังได้ออกแบบหลีกเลี่ยงการใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และราคาแพง ทั้งนี้ โดยภายนอกใช้ถังที่เรียกว่า คาแลนเดรีย วางในแนวนอน ภายในบรรจุท่อขนาดเล็กที่ทนความดันสูง เรียกว่า ท่อความดันจำนวนมากแทนถังปฏิกรณ์ โดยที่ภายในท่อความดันแต่ละท่อจะบรรจุมัดแท่งเชื้อเพลิงและน้ำมวลหนักทำหน้าที่ระบายความร้อน ส่วนภายในคาแลนเดรียบรรจุน้ำมวลหนักที่ความดันปกติทำหน้าที่

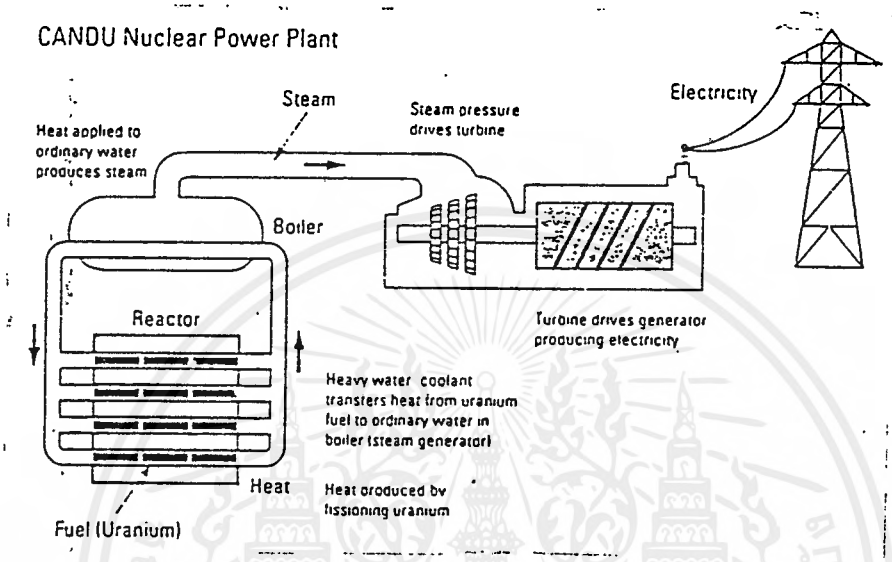
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 แสดงการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU

สำหรับการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์แบบ CANDU ก็คล้ายคลึงกับเครื่องปฏิกรณ์แบบ PWR กล่าวคือ มีระบบระบายความร้อนเป็น 2 วงจร วงจรแรกหรือวงจรปฐมภูมิใช้น้ำมวลหนักเป็นสารระบายความร้อนอยู่ภายใต้ความกดดันสูงประมาณ 100 เท่าของบรรยากาศ เพื่อป้องกันมิให้น้ำมวลหนักเกิดการเดือด น้ำมวลหนักนี้จะวิ่งผ่านเข้าไปในท่อความดันสัมผัสกับแท่งเชื้อเพลิงรับความร้อน โดยมีอุณหภูมิก่อนเข้าท่อความดันประมาณ 260° ซ. เมื่อรับความร้อนแล้วมีอุณหภูมิประมาณ 310° ซ. โดยน้ำ

สารหน่วงนิวตรอน ดังนั้น ผนังของคาแลนเดรียจึงมีขนาดไม่หนา เพราะไม่ต้องทนต่อความดันสูง



รูปที่ 4.45 แสดงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลหนักที่ไหลออกมาแต่ละท่อจะไหลมารวมกันแล้ววิ่งเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำแบบ U-tube และถ่ายโอนความร้อนให้แก่น้ำระบายความร้อนระบบที่ 2 หรือวงจรทุติยภูมิซึ่งเป็นน้ำธรรมดาโดยการสัมผัสทางท่อเพื่อถ่ายโอนความร้อน น้ำวงจรทุติยภูมิควบคุมความดันที่ 47 เท่าของบรรยากาศ เพื่อให้น้ำสามารถเดือดได้ ไอน้ำที่ออกจากเครื่องกำเนิดไอน้ำจะถูกส่งเข้าไปยังกังหันไอน้ำผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้น ส่วนน้ำมวลหนักในระบบปฐมภูมิ หลังจากถ่ายโอนความร้อนแล้ว จะถูกปั๊มกลับเข้าสู่แกนปฏิกรณ์เพื่อรับความร้อนใหม่อีกต่อไป การควบคุมความดันของระบบนั้นใช้เครื่องควบคุมความดันเช่นเดียวกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR

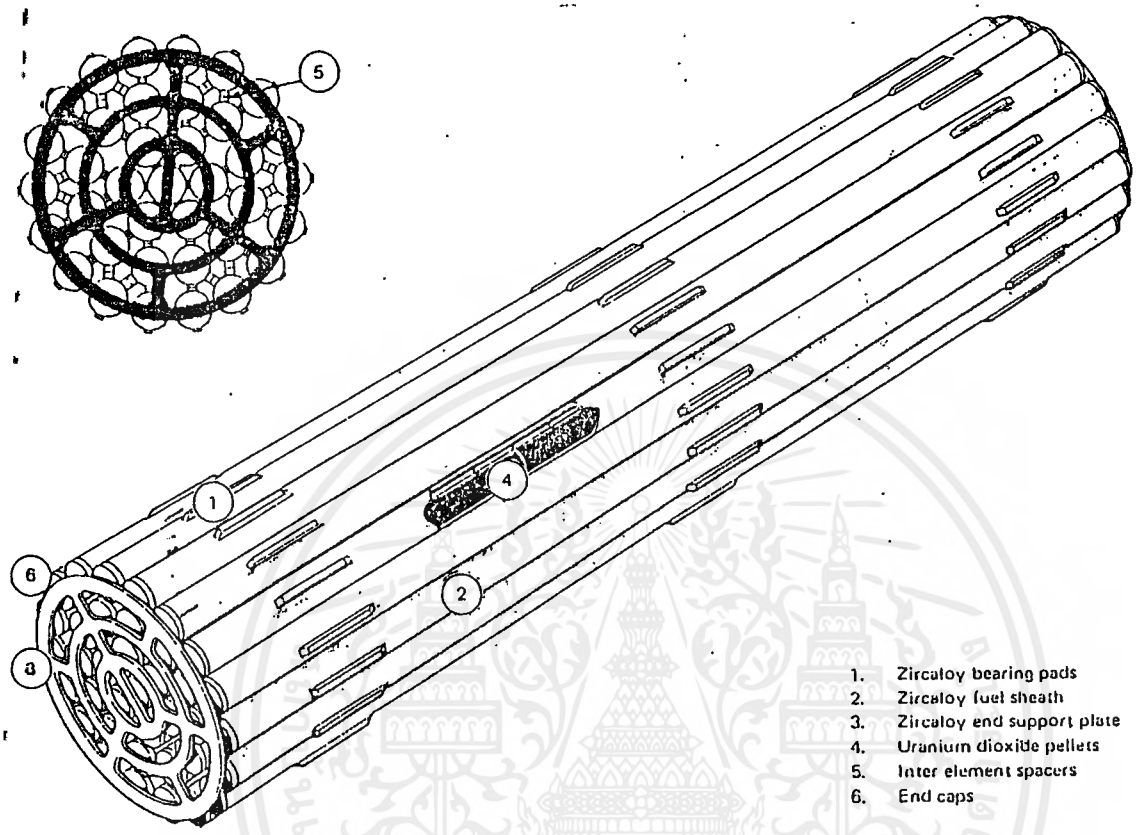
สำหรับสารหน่วงนิวตรอนซึ่งเป็นน้ำมวลหนักภายในคาแลนเดรีย จะถูกควบคุมให้มีอุณหภูมิประมาณ 70° ซ. และความดันปกติ ทั้งนี้เพื่อมิให้มีการสูญเสียน้ำมวลหนัก ดังนั้น ความร้อนบางส่วนที่สะสมอยู่จึงต้องมีระบบระบายความร้อนให้แก่สารหน่วงนิวตรอนนี้แยกออกมาอีกวงจรหนึ่ง

3.2 <u>ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU</u>

1.แท่งเชื้อเพลิง : ใช้ยูเรเนียมธรรมชาติอยู่ในรูปของยูเรเนียมไดออกไซด์อัดเป็นรูปทรงกระบอกลักษณะเดียวกับเม็ดเชื้อเพลิงของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ LWR คือมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 2 เซนติเมตร เรียกว่าเม็ดเชื้อเพลิง บรรจุอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงรูปทรงกระบอกทำด้วยโลหะผสมเซอร์โคเนียม ปิดผนึกหัวท้าย

2.มัดแท่งเชื้อเพลิง : การนำแท่งเชื้อเพลิงมามัดรวมกัน โดยมัดแท่งเชื้อเพลิงเครื่องปฏิกรณ์แบบ CANDU มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.2 เซนติเมตร ยาว 49.5 เซนติเมตร มัดแท่งเชื้อเพลิงหนึ่งมัดจะมีแท่งเชื้อเพลิงประมาณ 37 แท่ง มัดแท่งเชื้อเพลิงแต่ละมัดจะถูกบรรจุภายในท่อความดันแต่ละท่อความดันมีมัดแท่งเชื้อเพลิงอยู่ 12 มัด

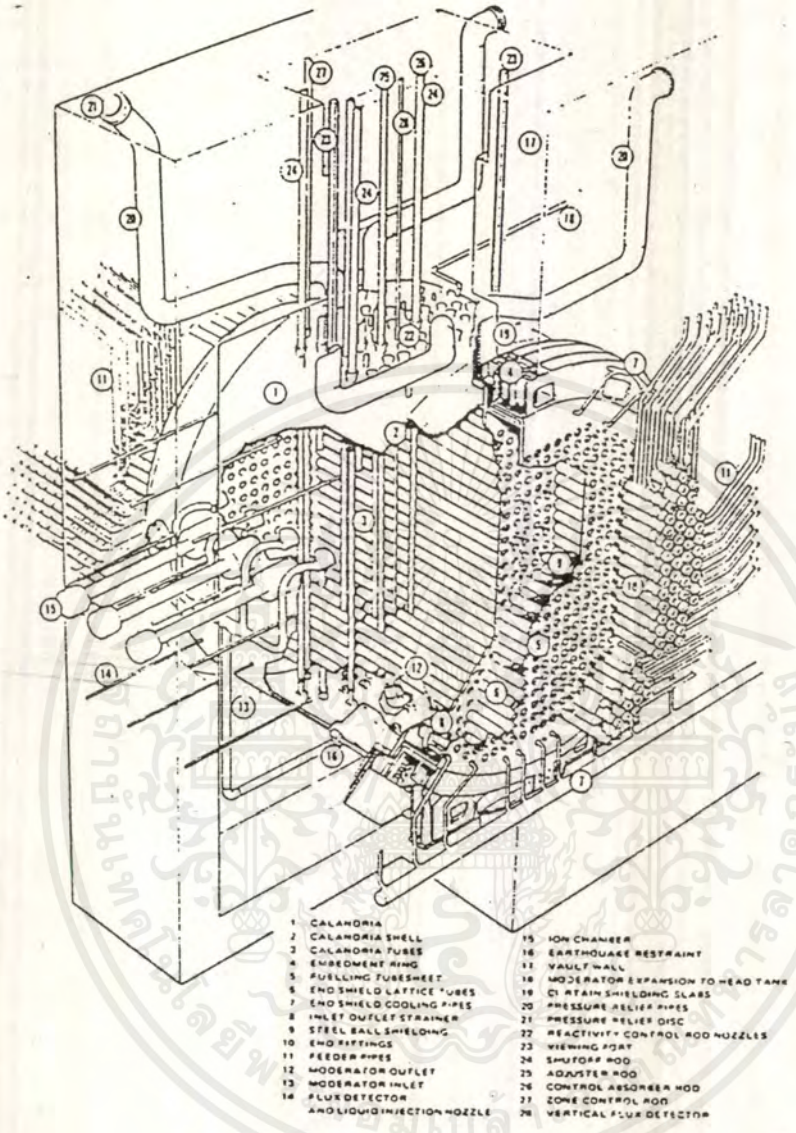
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 แสดงเชื้อเพลิงและมัดเชื้อเพลิง

3.แกนปฏิกรณ์ : นำท่อความดันที่บรรจุมัดแงเชื้อเพลิงมารวมกันในถังคาแลนเดรีย ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.6 เมตร ยาว 6 เมตร โดยวางในแนวนอน ภายในถังคาแลนเดรียจะบรรจุท่อความดัน 380 ท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



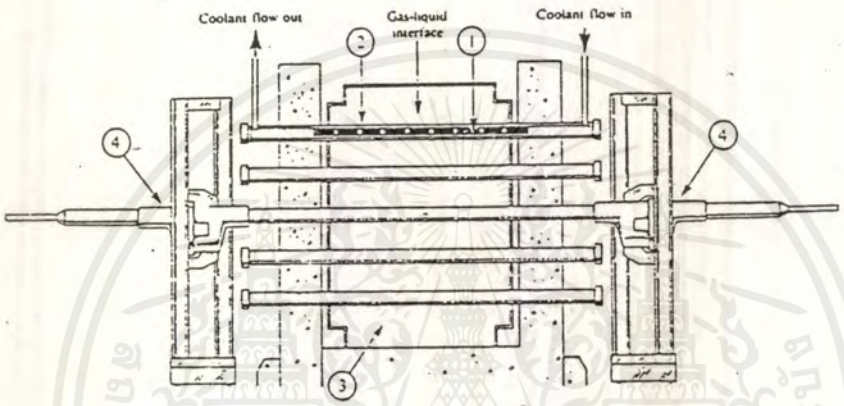
รูปที่ 4.48 แสดงถังคาแลนเครีย

4.แท่งควบคุม : ทำด้วยเหล็กกล้าปลอดสนิมรูปทรงกระบอก อยู่ทางด้านบนของคาแลนเครีย ภายในบรรจุแคดเมียม ทำหน้าที่ดูดจับนิวตรอน โดยการเคลื่อนที่ขึ้นลง

5.เครื่องเปลี่ยนเชื้อเพลิง : เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU ได้มีการออกแบบพิเศษอีกประการหนึ่งคือ สามารถเปลี่ยนมัดแท่งเชื้อเพลิงได้ในขณะที่เดินเครื่องปฏิกรณ์ การเปลี่ยนมัดแท่งเชื้อเพลิงทำได้โดยปิดระบบระบายความร้อนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อความดันที่ต้องการจะเปลี่ยนมัดแท่งเชื้อเพลิง ต่อเครื่องเปลี่ยนเชื้อเพลิง 2 เครื่อง เข้ากับปลายท่อความดันทั้งสองข้าง สอดมัดแท่งเชื้อเพลิงใหม่เข้าไปโดยมัดแท่งเชื้อเพลิงใหม่นี้จะไปดันให้มัดแท่งเชื้อเพลิงเก่าหลุดเข้าสู่เครื่องเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่รองรับที่ปลายของอีกข้างหนึ่งหลังจากเปลี่ยนมัดแท่งเชื้อเพลิงเรียบร้อยแล้วจึงเปิดระบบระบายความร้อนของท่อความดันให้ทำงานตามปกติต่อไป

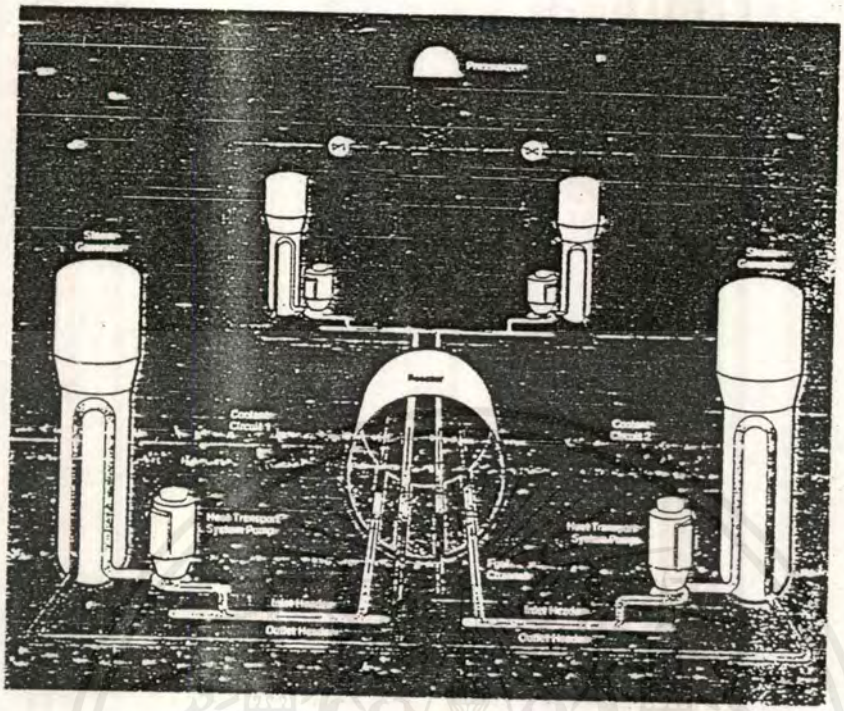


รูปที่ 4.49 แสดงเครื่องเปลี่ยนเชื้อเพลิง

(1)มัดแท่งความดัน (2)ท่อความดัน (3) สารหน่วงนิวตรอน (4)เครื่องเปลี่ยนเชื้อเพลิง

6.เครื่องผลิตไอน้ำ : เครื่องผลิตไอน้ำที่เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังใช้เป็นแบบ U-tube เช่นเดียวกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ LWR โดยเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง 1 เครื่อง ประกอบด้วยเครื่องไอน้ำ 4 ตัว เมื่อน้ำในระบบทุติยภูมิรับความร้อนจากน้ำมวลหนักในระบบปฐมภูมิโดยผ่านทางท่อแล้วน้ำระบบทุติยภูมิจะเดือดกลายเป็นไอน้ำ เนื่องจากว่าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU ไม่สามารถผลิตไอน้ำที่มีความดันสูงมากไอน้ำดังกล่าวจะวิ่งเข้าสู่กังหันไอน้ำโดยไม่ต้องผ่านเครื่องทำให้ไอน้ำแห้ง ทำให้ไอน้ำที่เข้าสู่กังหันมีความชื้นสูง ดังนั้น กังหันไอน้ำจึงต้องออกแบบให้ทนต่อการกัดกร่อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.50 แสดงทิศทางการไหลเข้า-ออกของน้ำระบบความร้อนปฐมภูมิ

3.3 การควบคุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU

เพื่อให้กำลังการเดินเครื่องปฏิกรณ์คงที่ตามที่ต้องการ เครื่องปฏิกรณ์แบบ CANDU จึงได้ออกแบบระบบที่ใช้ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน 5 ระบบ คือ

- Light Water Zone Control Absorber : ประกอบด้วยแท่งควบคุมที่ภายในบรรจุน้ำธรรมดา เนื่องจากน้ำธรรมดามีคุณสมบัติดูดซับนิวตรอนช้าได้มากกว่าน้ำมวลหนัก ทำให้ปริมาณนิวตรอนที่จะทำปฏิกิริยาลดลง ตำแหน่งของอท่งควบคุมนี้วางแนวตั้ง ดังนั้น การเคลื่อนที่ขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันเร็วขึ้น และการเคลื่อนที่ลงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาฟิชชันลดลง แท่งควบคุมที่บรรจุน้ำนี้แบ่งออกเป็น 14 เขต ภายในแกนปฏิกรณ์ โดยแต่ละเขตจะมีระดับบรรจุน้ำแตกต่างกัน ทั้งนี้ เพื่อทำให้การดูดซับนิวตรอนของแต่ละเขตแตกต่างกันจึงสามารถควบคุมความหนาแน่นของนิวตรอนช้าที่จะทำปฏิกิริยาในแต่ละเขตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mechanical Control Absorber : แท่งควบคุมที่ภายในบรรจุสารดูดซับนิวตรอน ได้แก่ แคดเมียม เป็นแท่งควบคุมที่ใช้สำหรับหยุดเดินเครื่องทั้งในสภาวะปกติ การควบคุมมีหลักการเคลื่อนที่คล้ายกับในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR แต่สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU ยังมีระบบสปริงเพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่ในสภาวะฉุกเฉินได้เร็วยิ่งขึ้น

- Adjusters : เป็นแท่งควบคุมเปล่า มีจำนวน 21 แท่ง เคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวตั้ง ทำหน้าที่ปรับปริมาณของสารระบายความร้อนเพื่อปรับอัตราการเกิดปฏิกิริยา และให้การกระจายความหนาแน่นของนิวตรอนสม่ำเสมอทั่วทั้งแกนปฏิกรณ์

- Poison Addition : คือระบบการเติมสารละลายของสารดูดซับนิวตรอนเข้าไปในสารหน่วงนิวตรอนเพื่อลดอัตราการเกิดปฏิกิริยา สารดูดซับนิวตรอนที่ใช้ได้แก่ สารละลายโบรอน สารละลายกาโดลิเนียม โดยที่สารละลายของโบรอน มักใช้ลดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อเปลี่ยนเชื้อเพลิงใหม่ สำหรับสารละลายกาโดลิเนียมไนเตรต ใช้เมื่อปริมาณของซีนอน ในแกนปฏิกรณ์ลดน้อยลง

- Hardware Interlock : เป็นการควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ หากการเดินเครื่องสามารถดำเนินไปตามขอบเขตที่กำหนดไว้ Hardware Interlock จะป้องกันไม่ให้มีการเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้โดยเจ้าหน้าที่ เช่น ไม่สามารถดึงแท่ง Adjusters หรือ Mechanical Control Absorbers ขึ้น และไม่สามารถปรับเปลี่ยนปริมาณสารดูดซับนิวตรอน เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้

3.4 <u>ระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน</u>

สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU ระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน มี 2 ระบบด้วยกันคือ SDS-1 และ SDS-2 (Shutdown system No.1 , Shutdown system No.2) ซึ่งระบบทั้งสองมีการทำงานที่แยกอิสระ โดยจะทำงานเมื่อได้รับสัญญาณแสดงความผิดปกติในการเดินเครื่องหรือระบบทำงานอยู่ในช่วงที่เกินขอบเขตอาจเกิดอันตรายได้ ซึ่งสัญญาณเหล่านี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

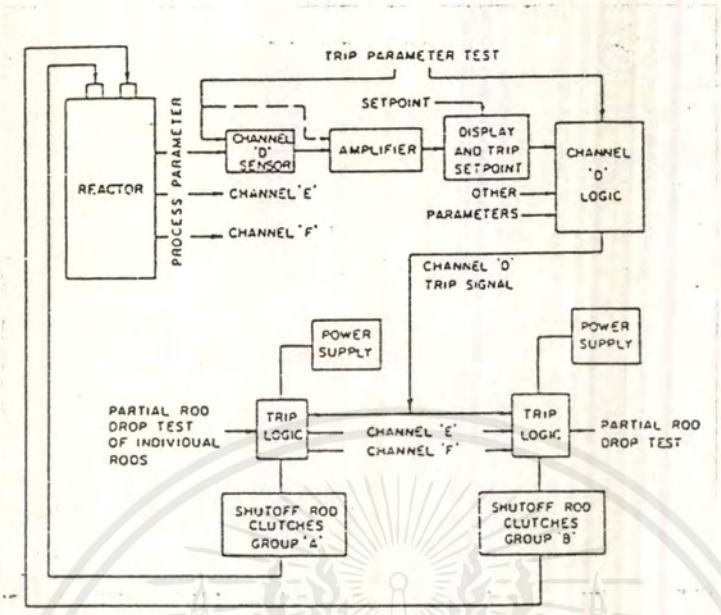
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและสัญญาณที่ทำให้มีการหยุดเดินเครื่อง

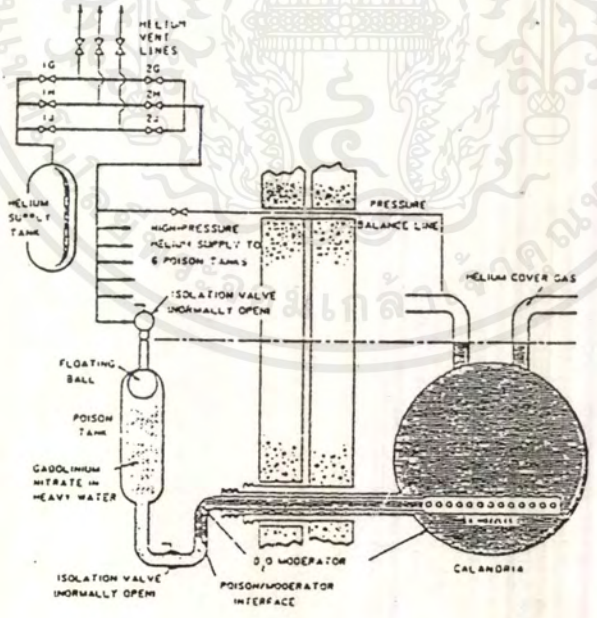
บริเวณที่ติดตั้งเครื่องวัด	สัญญาณที่ทำให้หยุดเดินเครื่อง
Neutron power	high
Rate log neutron power	high
Heat transport pressure	high and low
Core differential pressure	low
Gross coolant flow	low
Reactor building pressure	high
Pressurizer level	low
Steam generator level	low
Boiler feedline pressure	low

สำหรับระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินนี้ ต้องมีระบบการตรวจสอบสัญญาณซ้ำเพื่อให้มั่นใจว่าเกิดเหตุการณ์ผิดปกติจริง ดังนั้น ทั้ง SDS-1 และ SDS-2 จึงมีช่องสัญญาณถึง 3 ช่องและแต่ละช่องทำงานแยกอิสระจากกัน และต้องได้รับสัญญาณจำนวน 2 ใน 3 ของช่องสัญญาณ จึงจะทำการหยุดเดินเครื่อง สำหรับ SDS-1 ประกอบด้วยช่องสัญญาณ D E และ F เมื่อได้รับสัญญาณ SDS-1 จะปลดแทงควบคุมลงสู่แกนปฏิกรณ์อย่างรวดเร็ว ส่วน SDS-2 จะฉีดสารละลายกาโดลิเนียมไนเตรตเข้าไปในสารหน่วงนิวตรอน เพื่อลดปริมาณนิวตรอนที่จะทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

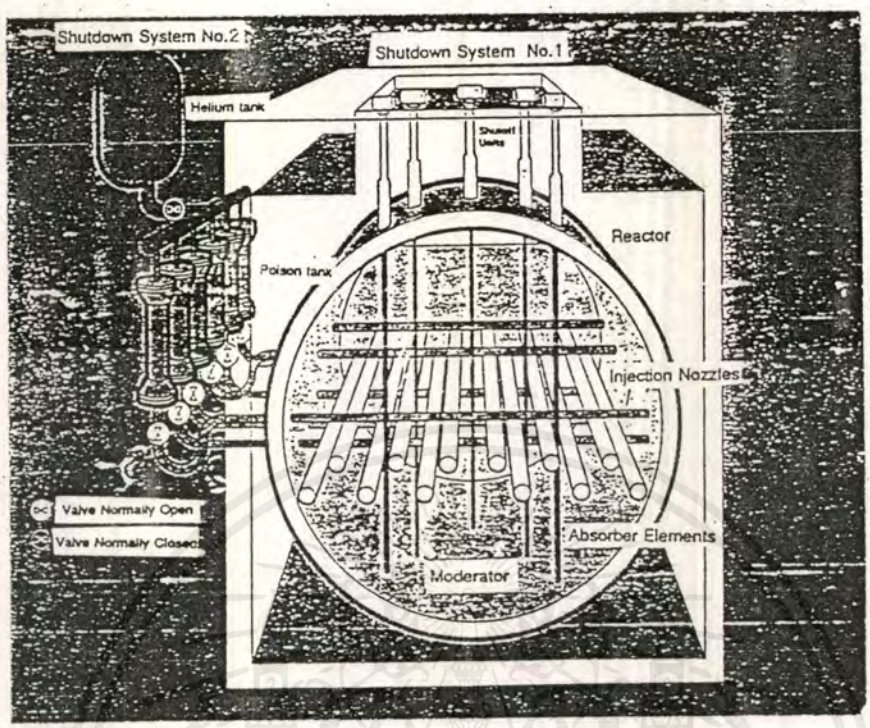


รูปที่ 4.51 แสดง Shutdown System No.1



รูปที่ 4.52 แสดงระบบฉีดสารละลายกาโดลิเนียมไนเตรตของ Shutdown System No.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 แสดงระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉิน (SDS-1 และ SDS-2)

3.5 <u>ระบบความปลอดภัยทางวิศวกรรม</u>

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU มีระบบความปลอดภัยวิศวกรรม 2 ระบบ คือระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์สภาวะฉุกเฉิน และอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ ทั้งสองระบบทำงานเพื่อลดความรุนแรงของอุบัติเหตุ และจำกัดอุบัติเหตุให้อยู่ในขอบเขต

1.ระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉิน เมื่อเกิดเหตุผิดปกติ เช่น ปั๊มน้ำระบายความร้อนขัดข้อง ท่อส่งน้ำระบายความร้อนแตกหรือรั่ว กรณีเช่นนี้น้ำภายในแกนปฏิกรณ์เดือดและความร้อนที่แท่งเชื้อเพลิงสูงมากจะทำให้เปลือกหุ้มแท่งเชื้อเพลิงหลอมละลายและสารกัมมันตรังสีหลุดลอดออกมาได้ ดังนั้น เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติแล้วจะมีสัญญาณส่งไปยังระบบระบายความร้อน ระบบดังกล่าวจะฉีดน้ำระบายความร้อนเข้าสู่แกนปฏิกรณ์ เพื่อลดอุณหภูมิของแท่งเชื้อเพลิงและป้องกันมิให้เปลือกหุ้มแท่งเชื้อเพลิงหลอมละลายได้ ระบบระบายความร้อนนี้ประกอบด้วย 3 ระบบย่อย High Pressure Injection (HP) ซึ่งประกอบด้วยถังเก็บน้ำที่มีปริมาณน้ำมาก

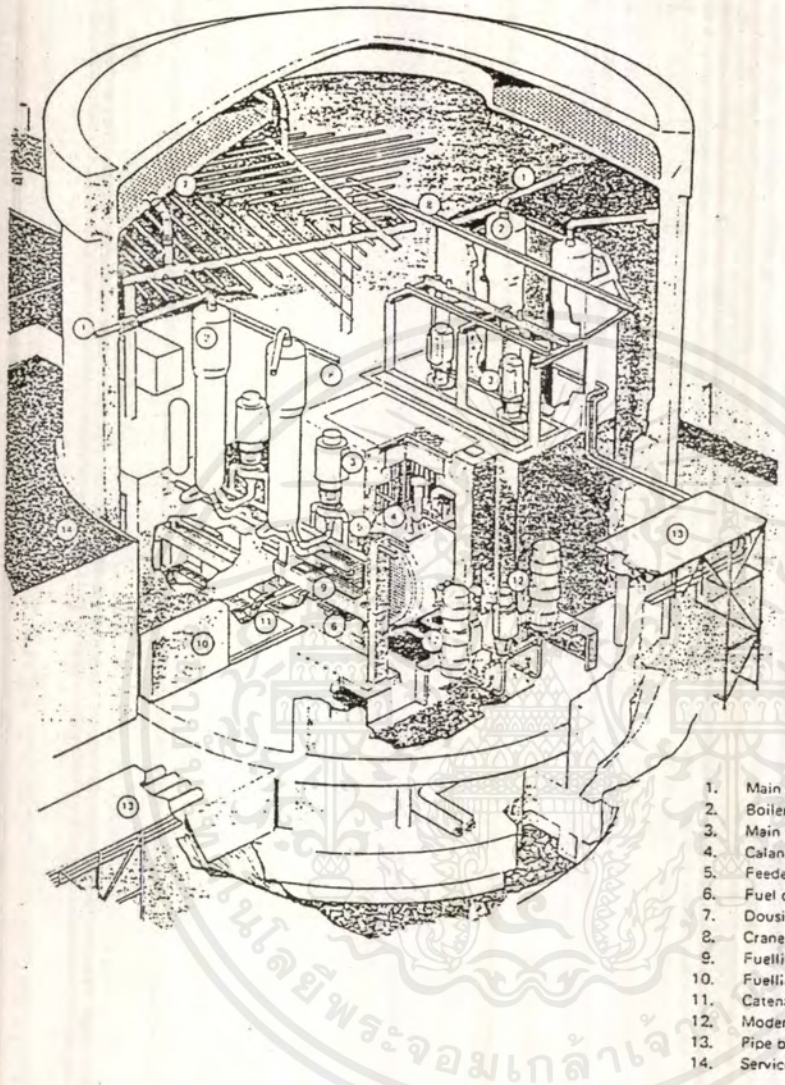
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าน้ำในระบบระบายความร้อนปฐมภูมิ 3 เท่า อยู่ภายนอกอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ ควบคุมความดันที่ 0.275 Mpa อุณหภูมิ 21° ซ. และถังก๊าซไนโตรเจนควบคุมความดันที่ 4.1-5.5 Mpa Medium Pressure Injection (MP) มีท่อลำเลียงน้ำจากถังเก็บน้ำดับเพลิง และ Low Pressure Injection (LP)

เมื่อได้รับสัญญาณในขั้นแรก HP นำน้ำในถังเก็บฉุกฉิดเข้าสู่แกนปฏิกรณ์ด้วยแรงดันของก๊าซไนโตรเจน เมื่อความดันลดลงถึงระดับหนึ่งวาล์วของ HP จะปิดลงโดยอัตโนมัติวาล์วของ MP จะเปิดเพื่อนำน้ำจากถังเก็บเข้าสู่แกนปฏิกรณ์ สำหรับ HP และ MP จะสามารถระบายความร้อนในกรณีขาดน้ำระบายความร้อนรุนแรงที่สุดได้เพียง 2.5 นาที และ 13 นาที ตามลำดับ (อัตราไหล 1400 ลิตร/วินาที และ 645 ลิตร/นาที ตามลำดับ) น้ำที่สำรองจะหมด ดังนั้นเมื่อน้ำสำรองใน MP ใกล้หมด วาล์วของ LP จะเป็นระบบที่ระบายความร้อนในระยะยาวหลังจากเกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นจึงมีระบบจ่ายน้ำในสภาวะฉุกเฉินให้แก่ LP

2.อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ เมื่อเกิดเหตุขัดข้องแล้วระบบความปลอดภัยต่าง ๆ ไม่สามารถระงับเหตุการณ์ได้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดอุบัติเหตุตามมา อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์จะเป็นเครื่องป้องกันมิให้สารกัมมันตรังสีออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์จึงต้องมีความแข็งแรง ทนทานแรงกดดันสูง สำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ CANDU เป็นอาคารขนาดใหญ่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตอัดแรง ภายในมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติซึ่งจะทำงานเมื่อแรงดันภายในอาคารสูงถึงขีดระดับ ระบบกรองอากาศเป็นเครื่องดักไม่ให้สารกัมมันตรังสีแพร่กระจายออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.54 แสดงอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสำรวจหาสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และใช้พลังงานนิวเคลียร์ต้องมีการคัดเลือกสถานที่ตั้งที่มีความเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ สำรวจตรวจสอบและวิเคราะห์อย่างละเอียด เพื่อให้ได้สถานที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้าง แต่ละประเทศในโลกต่างก็มีเกณฑ์ในการคัดเลือกสถานที่ตั้งตามความเหมาะสมของประเทศนั้น ๆ โดยทั่วไปการพิจารณาคัดเลือกสถานที่ตั้งจะต้องพิจารณาความเหมาะสมโดยคำนึงถึง ขนาดของโรงไฟฟ้า ระยะทางถึงแหล่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ความปลอดภัย ผลกระทบต่อประชาชนและสภาวะแวดล้อม โดยการพิจารณาประกอบกับเกณฑ์มาตรฐาน (Criterion) ทางด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรม (Science Technology and Engineering) เศรษฐกิจ (Economics) สถานภาพทางการเมือง (Politics) กฎหมาย (Law) และจิตวิทยาสังคมของประชาชน (Social Paychology) ในทางปฏิบัติสถานที่ตั้งที่ได้รับคัดเลือก จึงอาจไม่ใช่สถานที่ตั้งที่สมบูรณ์ที่สุดด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะ แต่เป็นสถานที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดที่ได้รับการคัดเลือกโดยพิจารณาจากหลาย ๆ ด้าน ตามแนวทางที่ใช้เป็นหลักในการเลือกตามแบบสากล เช่น "Code of Federation Regulation Title 10 Part 100" ของคณะกรรมาธิการพลังงานปรมาณูแห่งสหรัฐอเมริกา (USAEC) หลักเกณฑ์การคัดเลือกตามแนวทางของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)

ก. หลักเกณฑ์ทั่วไปในการคัดเลือกสถานที่ตั้ง

การคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ต้องพิจารณาถึงความปลอดภัยของประชาชนในบริเวณโดยรอบ และความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ

ด้านความปลอดภัยของประชาชน สถานที่ซึ่งสมควรนำมาใช้เป็นสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ควรมีลักษณะ ดังนี้

1)เป็นสถานที่ซึ่งมีฐานรากแข็งแรงปลอดภัย

2)ไม่มีปรากฏการณ์แผ่นดินไหวร้ายแรงเกิดขึ้นในบริเวณนั้น

3)ลักษณะการกระจายของอากาศดีพอควร

4)เป็นสถานที่ซึ่งไม่มีน้ำท่วม มีทางระบายน้ำฝนได้ดี

5)ต้องไม่เคยมีภัยธรรมชาติรุนแรง เช่น คลื่นทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6)จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่โดยรอบสถานที่ตั้งไม่หนาแน่น และสถานที่ตั้งของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะต้องไม่กระทบกระเทือนต่อการใช้ที่ดินในบริเวณโดยรอบ

ด้านความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ พิจารณาถึง

1)ตั้งอยู่ใกล้เคียงกับบริเวณที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก

2)มีแหล่งน้ำระบายความร้อนจากเครื่องควบแน่นของโรงไฟฟ้าเพียงพอ

3)มีฐานรากแข็งแรง มั่นคง ตามหลักวิศวกรรมที่มีผลดีทางเศรษฐศาสตร์

4)สะดวกต่อการคมนาคมขนส่งอุปกรณ์หนัก

5)ไม่ส่งผลกระทบกระเทือนต่อสภาพแวดล้อมในบริเวณใกล้เคียง

6)ราคาที่ดินไม่สูงนัก เหมาะกับการลงทุน

สำหรับความเหมาะสมทางด้านวิศวกรรมและสิ่งแวดล้อมเป็นองค์ประกอบที่จัดรองลงมาเนื่องจากสามารถแก้ไขไม่ยาก

ข. วิธีการคัดเลือกสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ใช้หลักการพิจารณาจากพื้นที่ใหญ่ไปสู่พื้นที่เล็ก ซึ่งใช้เป็นสถานที่ตั้ง ลักษณะวิธีการพิจารณาใช้แบบวิธีการเปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้ด้วยเกณฑ์มาตรฐาน และวิธีการให้คะแนนเพื่อจัดอันดับ (Ranking) การคัดเลือกแบ่งเป็น 2 ขั้นคือ ขั้นสรรหา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระยะและขั้นกลั่นกรองคุณสมบัติ ซึ่งมี 1 ระยะ

ขั้นสรรหา

ระยะที่ 1 นำพื้นที่มาพิจารณา (Project Announced) ทำการทอนพื้นที่ให้ได้พื้นที่หลังการตัดทอน (Region of Interest) ทำการกำหนดพื้นที่ในเกณฑ์ใช้ได้ (Candidate Siting Zone)

ระยะที่ 2 กำหนดสถานที่ตั้งในเกฎฑ์ใช้ได้ ใช้วิธีการเปรียบเทียบด้วยเกณฑ์มาตรฐาน หาสถานที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดเรียงลำดับเป็นสถานที่ตั้งในเกณฑ์ใช้ได้ (Potential Sitng) แล้วนำมาใช้คะแนนเพื่อจัดอันดับ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เป็นกลุ่มสถานที่ตั้งที่ดีที่สุดประกอบด้วย 3-5 สถานที่ตั้ง (Candidate Sites) ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลด้านต่าง ๆ ที่ละเอียดขึ้น เพื่อทำการคัดเลือกไว้ 1 สถานที่ตั้ง โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เพื่อให้ได้สถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า (Proposed Site) ที่เหมาะสม

ขั้นกลั่นกรองคุณสมบัติ

ระยะที่ 3 เป็นการกลั่นกรองคุณสมบัติ ศึกษารายละเอียดของสถานที่ตั้งเพื่อนำมาจัดทำรายงานความปลอดภัยของสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ค. เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบและการให้คะแนนเพื่อจัดอันดับในการคัดเลือกสถานที่ตั้งขั้นสรรหา

1)พื้นที่พิจารณา (Project Announced) เป็นพื้นที่น่าสนใจของผู้ดำเนินโครงการซึ่งคาดไว้ก่อนการประกาศโครงการ ใช้เกณฑ์การพิจารณาเบื้องต้น ถึงสถานะทางเศรษฐศาสตร์ กฎหมาย และจิตวิทยาสังคมทั่วไป ประชากร

2)พื้นที่หลังการตัดทอน (Region of Interest) ได้จากการตัดทอนจากพื้นที่พิจารณา อาจใช้หลายวิธีตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศ แต่วิธีที่ควรนำมาใช้คือ แหล่งน้ำระบายความร้อนมีพอเพียงเป็นหลัก ใช้เกณฑ์แหล่งน้ำที่มีปริมาณเทียบเท่ากับอัตราการไหลของกระแสน้ำอย่างน้อย 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

3)พื้นที่ในเกณฑ์ใช้ได้ (Candidate Siting Zones) พิจารณาจากขั้นตอนพื้นที่หลังการตัดทอน อาณาบริเวณที่ได้รับการคัดเลือกเป็นพื้นที่ในเกณฑ์ใช้ได้ดี ประกอบด้วยที่ตั้งของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์หลายแห่ง ในการเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน โดยการพิจารณาจากข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

-ประชากร (Demography) จำนวนและลักษณะการกระจาย

-อุทกวิทยา (Hydrology) แหล่งน้ำและน้ำใต้ดิน

-ธรณีวิทยา (Geology) สภาพทางธรณีวิทยาทั่วไป และแนวแยกของพื้นดิน

-สิ่งแวดล้อม (Environment) ลักษณะอากาศโดยทั่วไป สิ่งมีชีวิตและจำนวนผู้ที่อยู่อาศัยในบริเวณนั้น

-ลักษณะภูมิประเทศ (Topography) สภาพทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เศรษฐศาสตร์ (Economy) ความใกล้สถานที่ต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก สภาพการคมนาคมขนส่ง

4)สถานที่ตั้งในเกณฑ์ใช้ได้ (Potential Siting) ใช้การเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ละเอียดยิ่งขึ้น เพื่อให้ได้พื้นที่ในเกณฑ์ใช้ได้ สถานที่ที่ได้นี้เป็นพื้นฐาน ที่ซึ่งอาจประกอบด้วยสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์หลายแห่งในการคัดเลือก โดยวิธีเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ใช้พิจารณาจากหลักการใหญ่ ๆ 4 หลักการ คือ ความปลอดภัย วิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม โดยการพิจารณาจากข้อมูลดังนี้

ความปลอดภัย (Safety) โดยการคัดเลือกสถานที่ตั้ง ซึ่งมีฐานรากแข็งแรงดี ไม่มีแผ่นดินไหวในเกณฑ์อันตราย ลักษณะลมฟ้าอากาศอยู่ในเกณฑ์ดี เป็นบริเวณที่ไม่มีน้ำท่วมมีทางระบายน้ำดีพอสมควร ไม่มีภัยธรรมชาติรุนแรง เช่น พายุไต้ฝุ่น และคลื่นทะเลขนาดใหญ่

วิศวกรรม (Engineering) มีข้อดีในเชิงวิศวกรรมเกี่ยวกับลักษณะทางธรณีวิทยา โครงสร้างและชนิดของหิน ลักษณะทางอุทกวิทยา คือ แหล่งน้ำสำหรับระบบระบายความร้อน และแหล่งน้ำจืด ลักษณะทางสมุทรศาสตร์ (Oceanographic Data) ความชันของท้องทะเล ความแรงและทิศทางของกระแสน้ำชายฝั่ง และตะกอนของท้องทะเลบริเวณชายฝั่ง สภาพการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก (Tectonic) ข้อมูลของการเกิดแผ่นดินไหว (Siesmic Data) เกี่ยวกับความเข้มสูงสุด จุดศูนย์กลางการไหวตัวของแผ่นดินตลอดจนข้อกำหนดเกี่ยวกับความรุนแรงของการไหวตัวของแผ่นดินชนิดต่าง ๆ

เศรษฐศาสตร์ (Economy) สถานที่ตั้งกับความใกล้กับสถานที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามาก (Load Center) การคมนาคมในส่วนที่เกี่ยวกับความเป็นไปได้ด้านการขนส่งทางบก ทางรถไฟ แม่น้ำ ทะเล และทางอากาศ ระบบสายส่งไฟฟ้าราคาที่ดิน

สิ่งแวดล้อม (Environment) พิจารณาแผนการใช้ที่ดินของชาติ (National Planning) กฎหมายและข้อบังคับเกี่ยวกับการป้องกันทรัพย์สินบางอย่างในธรรมชาติ เช่น แร่ธาตุบางอย่าง จุลชีววิทยา การสงวนพันธ์ การประมง อุทยานแห่งชาติ กฎหมาย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างประเทศที่เกี่ยวข้อง พื้นที่อันตรายเนื่องจากการก่อการร้าย การใช้ประโยชน์ในที่ดิน สถานที่อยู่อาศัยของประชาชน การประกอบอาชีพกสิกรรม และอุตสาหกรรม โบราณสถานทางประวัติศาสตร์ และศาสนา ป่าสงวน ประชากร จำนวนประชากร การกระจายของประชากร การท่องเที่ยว เป็นต้น

5)กลุ่มสถานที่ตั้งที่ดีที่สุด (Condidate Sites) จากการนำสถานที่ตั้งในเกณฑ์ใช้ได้ (Potential Sites) มาพิจารณาตามเกณฑ์กำหนดองค์ประกอบต่าง ๆ และให้คะแนนแต่ละสถานที่ตั้ง เพื่อจัดอันดับเป็นสถานที่ตั้งที่มีคะแนนสูงสุด 3-5 แห่ง เป็นกลุ่มสถานที่ตั้งที่ดีที่สุด สำหรับเกณฑ์กำหนดในแต่ละประเทศก็มีเกณฑ์ไว้พิจารณาเอง แต่มีหลักการส่วนใหญ่คล้าย ๆ กัน คือ องค์ประกอบ 3 ประการได้แก่ องค์ประกอบทางวิศวกรรม (Engineering Factor) ซึ่งรวมหมายถึง ความปลอดภัย องค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อม (Environment Factor) และองค์ประกอบทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Factor) ในแต่ละองค์ประกอบต่างก็แบ่งเป็นข้อปลีกย่อยต่าง ๆ ที่แจกแจงเป็นคะแนนเพื่อการจัดอันดับ

องค์ประกอบทางด้านวิศวกรรม ประกอบด้วยข้อดี ข้อเสีย ทางด้านอุทกวิทยา และคุณลักษณะทางอุทกวิทยา ค่าระดับน้ำ ความเร็วสูงสุด และปริมาณน้ำในระบบระบายความร้อน ด้านธรณีวิทยา เกี่ยกับคุณลักษณะทางธรณีวิทยา และแผ่นดินไหว ลักษณะทางธรณีเทคนิค (Geotechnique) ในส่วนเกี่ยวข้องกับข้อมูลการออกแบบโครงสร้างลักษณะทางภูมิประเทศ ศึกษาจากภาพถ่ายทางอากาศ ด้านสมุทรศาสตร์ ลักษณะความชันของท้องทะเล กระแสน้ำ และตะกอนชายฝั่ง โครงสร้างเศรษฐกิจพื้นฐาน ในส่วนเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการคมนาคมขนส่ง อุปกรณ์และส่วนเกี่ยวข้อง อุตุนิยมวิทยา ข้อมูลด้านภูมิศาสตร์ ลักษณะอากาศที่รุนแรง และลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาต่อการกระจายบรรยากาศที่สัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศ ขนาดของสถานที่ตั้งในเชิงวิศวกรรม ขนาดของสถานที่ตั้งในเชิงวิศวกรรม (Site Size) และส่วนที่เกี่ยวข้องกับความต้องการปรับปรุง

องค์ประกอบทางด้านสิ่งแวดล้อม ใช้ข้อมูลจากการวางแผนในการใช้ที่ดิน เพื่อเป็นพื้นที่ต้นน้ำลำธาร แหล่งน้ำใต้ดิน เขตอุตสาหกรรมท่องเที่ยว แผนการขยายเขตอุตสาหกรรม สถานที่เป็นแหล่งพันธุ์พืชและสัตว์ป่าหายาก ที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำและ

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ในรูปแบบอื่นใด นอกจากการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ตัวอ่อน แหล่งแร่ โบราณสถานและเขตอนุรักษ์ศิลปกรรม การใช้ประโยชน์ของที่ดิน เพื่อใช้เป็นเขตทหาร เขตเทศบาล สถานที่สำคัญทางศาสนา เขตอุตสาหกรรม เขตการทำกสิกรรม เขตการเลี้ยงสัตว์ แหล่งการประมง เขตเพาะพันธุ์สัตว์น้ำ ที่อยู่อาศัย สถานะทางสังคมวิทยาที่มีผลกระทบต่อสถานที่ตั้ง ได้แก่ จำนวนประชากร ระดับการศึกษา การประกอบอาชีพ การสาธารณสุข ความเชื่อทางศาสนา เป็นต้น

องค์ประกอบทางเศรษฐศาสตร์โดยตรง เกี่ยวกับข้อมูลความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในด้านการลงทุน ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ที่เป็นองค์ประกอบเกี่ยวกับสถานที่ตั้ง ข้อมูลองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมิใช่องค์ประกอบทางเศรษฐศาสตร์โดยตรง คือ คุณค่าทางสภาวะนิเวศ์วิทยา และการสันทนาการ การยอมรับของสังคม (Public Acceptance)

ผลจากการให้คะแนนเพื่อจัดอันดับ (Ranking) ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด เพื่อให้ได้สถานที่ตั้งที่ดีที่สุด 3-5 แห่ง จะนำมาให้คณะกรรมการคัดเลือกสถานที่ตั้ง 1 แห่ง พร้อมที่ตั้งสำรองเพื่อเป็นสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า (Proposed Site) สถานที่ตั้งโรงไฟฟ้าที่เลือกได้จะนำมากลั่นกรองคุณสมบัติ ศึกษารายละเอียดของสถานที่ตั้ง รวบรวมข้อมูลเพื่อจัดทำรายงานวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการ จัดทำรายงานความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมของสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ให้เป็นไปตามกฎข้อบังคับและดำเนินการตามวิธีที่ถูกต้องที่ใช้กันในนานาประเทศ

ภาพ4.55.1 เป็นภาพแสดงพื้นที่ที่เหมาะสมจากเกณฑ์ที่ใช้จากข้างต้น

ภาพ4.55.2 เป็นภาพแสดงบริเวณ Site1 ว่ารอบๆประกอบไปด้วยอะไรบ้าง เพื่อใช้ในการให้คะแนนต่อไป

ภาพ4.55.3 เป็นภาพแสดงบริเวณ Site2 ว่ารอบๆประกอบไปด้วยอะไรบ้าง เพื่อใช้ในการให้คะแนนต่อไป

ภาพ4.55.4 เป็นภาพแสดงบริเวณ Site3 ว่ารอบๆประกอบไปด้วยอะไรบ้าง เพื่อใช้ในการให้คะแนนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HAILAND ประเทศไทย 1:50,000

AMPHOE BANG SAPHAN อำเภอบางสะพาน

1-RTSD L7017S 4831

GULF OF THAILAND

อ่าวไทย

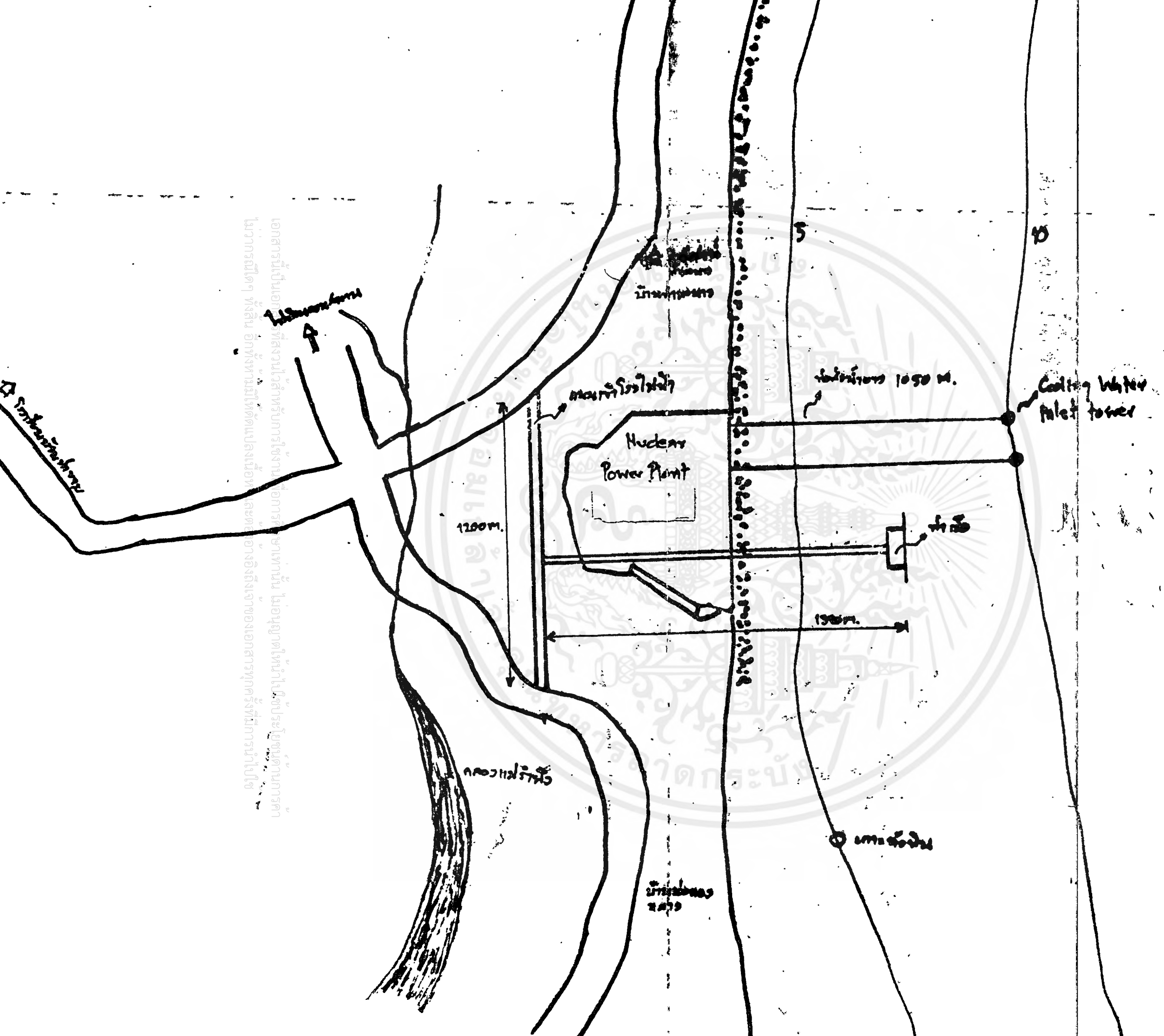
LEGEND

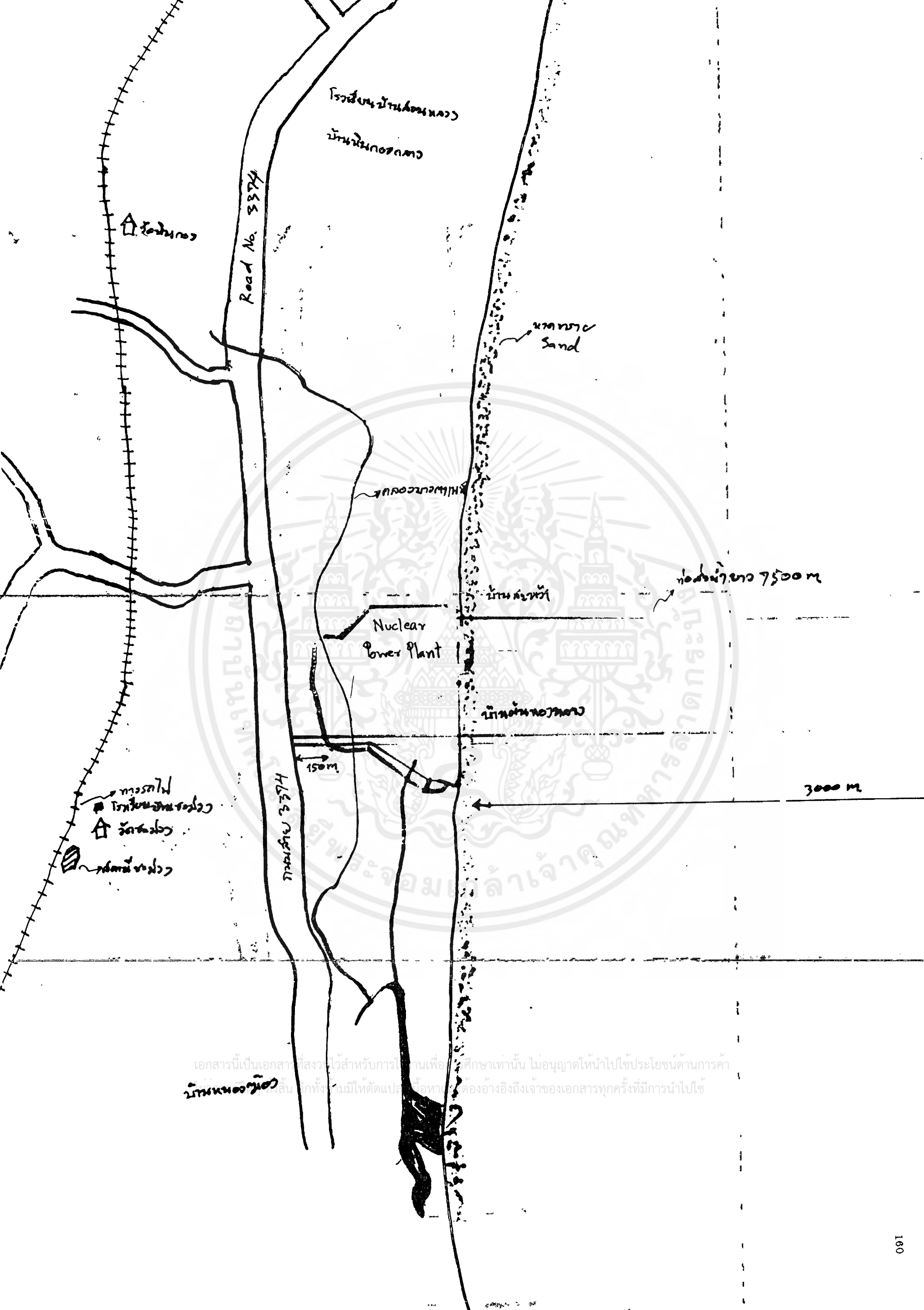
Scale มาตราส่วน 1:50,000

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

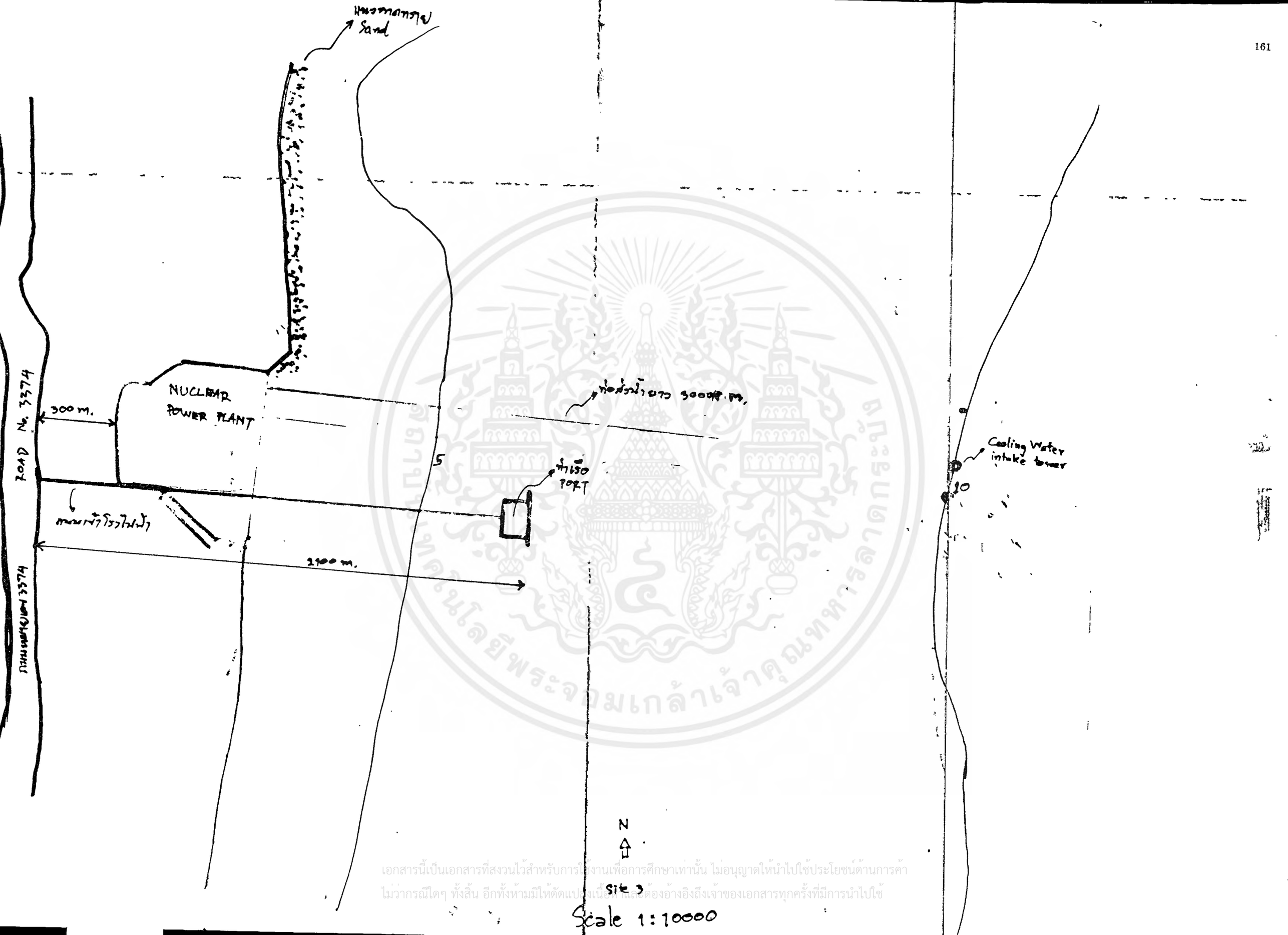
4831 II L7017S 1-RTSD AMPHOE BANG SAPHAN อำเภอบางสะพาน

STOCK NO. L7017S 4831 II


Nuclear
Power Plant
1200 m.
1950 m.
Cooling Water
Inlet tower
Scale 1:10000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการให้คะแนน(RANKING)

ในการให้คะแนนเพื่อเลือกสถานที่ตั้ง จะต้องพิจารณาพร้อมกันทั้ง 3 ด้านดังนี้

1 ด้านความปลอดภัย (SAFTY)

2 ด้านเศรษศาสตร์ (ECONOMIC)

3 ด้านสิ่งแวดล้อม (ENVIRONMENT)

โดยมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาหลักๆอยู่ 2 ตัวแปรคือ Weight Score และ Unweight Score และเพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้น จะเปรียบเทียบกับการคิดเกรดเฉลี่ย กล่าวคือในการคิดเกรดเฉลี่ย เราจะนำค่าของหน่วยกิต คูณกับเกรดที่เราได้ และนำค่าที่ได้มาเก็บไว้เพื่อรวบรวมต่อไป จากที่กล่าวมาข้างต้นเราจะให้ Weight Score มีค่าเท่ากับหน่วยกิต และ Unweight Score มีค่าเท่ากับเกรดที่ได้นั่นเองโดยมีหลักการที่แตกต่างไปคือ ผลรวม Weight Score ในข้อย่อยต่างๆของแต่ละด้าน(จาก 3ข้อข้างต้น) จะมีค่าเท่ากับ 100 และ Unweight Score จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่จะเพิ่มค่าทีละ 0.2ดังนั้นค่าของ Unweight Score จะมีค่าเท่ากับ 0,0.2,0.4,0.6,0.8,และ1 ตามลำดับว่ามีผลกระทบเท่าไร โดยถ้ามีผลกระทบมากจะมีค่าน้อย และถ้ามีผลกระทบน้อยก็จะมีค่ามาก และเมื่อนำ Weight Score คูณกับ Unweight Score ของในแต่ละข้อย่อย(เรียกว่า Evaluation Point) แล้วนำมารวมกัน Site ที่มีคะแนนมากที่สุด จะเป็น Site ที่ดีที่สุด

1 ด้านความปลอดภัย(SAFTY) มีหัวข้อต่างๆที่ทำการพิจารณาดังนี้

1.1 ภูเขาไฟ ถ้าเกิดการระเบิดขึ้นสิ่งก่อสร้างต่างๆคงไม่อาจทนทานต่อความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงให้ Weight มากที่สุดคือ 25 คะแนน

1.2 รอยแยกของเปลือกโลก ถ้ามีการก่อสร้างในบริเวณนั้นๆ ก็ต้องมีผลกระทบอย่างมากแน่นอนแต่ก็ยังน้อยกว่าภูเขาไฟระเบิด ให้ 20 คะแนน

1.3 ความเหมาะสมของพื้นผิว ถ้าผิวโครงสร้างไม่มีความแข็งแรงพอการก่อสร้างก็จะมีความยุ่งยากและเปลืองงบประมาณสูง และมีผลให้ความปลอดภัยน้อยลง ให้ 20 คะแนน

1.4 แผ่นดินไหว เป็นภัยธรรมชาติที่ก่อความเสียหายได้อย่างมาก แต่จากกรณีแผ่นดินไหวที่ญี่ปุ่น ปรากฏว่าโรงไฟฟ้ายังใช้งานต่อไปได้เป็นอย่างดี ดังนั้นให้ 15 คะแนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 คลื่นใต้น้ำ ถ้าสร้างในบริเวณที่มีคลื่นใต้น้ำก็จะต้องเพิ่มความแข็งแรงของฐานรากแต่สามารถป้องกันได้ และไม่พบบ่อยนัก ให้ 5 คะแนน

1.6 คลื่นลม มีความรุนแรงน้อยเมื่อเทียบกับปรากฏการณ์อื่นๆ ให้ 3 คะแนน

1.7 น้ำท่วม ถึงจะเกิดขึ้นก็ไม่เกิดผลใดๆกับโครงสร้างแต่จะมีความยุ่งยากในการดำเนินงาน ให้ 7 คะแนน

1.8 พายุ ลักษณะคล้ายคลื่นลมแต่มีความรุนแรงกว่า แต่ไม่มีผลต่อโครงสร้างอยู่ดี ให้ 5 คะแนน

2 ด้านสิ่งแวดล้อม(ENVIRONMENT) มีหัวข้อต่างๆที่พิจารณาต่อไปนี้

2.1 จำนวนประชากรใน Site หรือบริเวณรอบๆในระยะใกล้ชิด จะให้ความสำคัญในข้อนี้มากที่สุด เนื่องจากการก่อสร้างโรงไฟฟ้าต้องการให้มีผลกระทบต่อประชาชนน้อยที่สุด ให้ 15 คะแนน

2.2 จำนวนประชากรในระยะ 1 ถึง 5 กิโลเมตร เหตุผลเหมือนข้อ1 แต่พิจารณาบริเวณที่ใกลกว่า ให้ 10 คะแนน

2.3 จำนวนประชากรในระยะ 5 ถึง 20 กิโลเมตร เหตุผลเหมือนข้อ2ให้5 คะแนน

2.4 เครื่องบินตก เกิดขึ้นได้ยากแต่มีความรุนแรง แต่ในการป้องกันถ้าการก่อสร้างอยู่ในแนวของเส้นทางการบินจะมีการป้องกันเพิ่มขึ้น(แต่ในความเป็นจริงจะมีการป้องกันอยู่แล้วถึงแม้จะไม่อยู่ในแนวการบินก็ตาม) ดังนั้นให้ 8 คะแนน

2.5 อันตรายจากน้ำ เป็นลักษณะว่าในพื้นที่นั้นๆเดิมเป็น แม่น้ำ ลำคลอง ฯลฯ หรือไม่ แต่จะเป็นลักษณะที่ไม่มีผลกระทบมากนัก และสามารถแก้ไขได้ ดั้งนั้นให้ 3 คะแนน

2.6 การก่อการร้าย โดยปกติจะมีระบบรักษาความปลอดภัยที่ดีอยู่แล้ว และถ้าเป็นการก่อการร้ายที่ไม่รุนแรงแล้วผลกระทบยิ่งน้อยลงไปอีก แต่เนื่องจากการก่อสร้างอยู่ทางภาคใต้ซึ่งเป็นภาคที่มีการก่อการร้ายบ่อยครั้ง ดังนั้นให้ 7 คะแนน

2.7 ไฟไหม้ ถ้าหากเกิดขึ้นจะทำอันตรายกับสิ่งแวดล้อมอย่างมากและการป้องกันทำได้ลำบาก ดังนั้นให้ 10 คะแนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ค่ายทหาร มีผลกระทบค่อนข้างน้อย แต่ถ้าภายในค่ายมีอาวุธชนิดร้ายแรงอยู่ก็จะเป็นอันตรายได้ แต่โดยส่วนใหญ่การเก็บอาวุธลักษณะนี้จะมีการเก็บที่ดีอยู่แล้ว ดังนั้นให้ 7 คะแนน

2.9 น้ำท่วม ถึงแม้จะเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมขึ้นก็ตามก็ยังมีผลกระทบน้อยกว่าด้านอื่นๆ และป้องกันได้โดยเลือกพื้นที่ที่น้ำท่วมไม่ถึงในการก่อสร้าง ดังนั้นให้ 3 คะแนน

2.10 การขาดน้ำ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการระเบิดได้เนื่องจากการระบายความร้อนที่ไม่เพียงพอ และจะเกิดผลเสียตามมาอีกหลายประการ ดังนั้นให้ 15 คะแนน

2.11 แผ่นดินทรุดตัว จะมีผลให้โครงสร้างต่างๆเกิดอันตรายได้ แต่ตัวเตาปฏิกรณ์จะยังสามารถทานกำลังได้ ดังนั้นให้ 6 คะแนน

2.12 การสั่นตัวของดิน จะมีผลต่อโครงสร้างเหมือนแผ่นดินทรุดตัว แต่ความรุนแรงจะน้อยกว่า ดังนั้นให้ 5 คะแนน

1.13 แผนการในอนาคต จะมีผลกระทบหรือไม่ขึ้นอยู่กับการวางแผนและเป็นผลที่เกิดในอนาคต ดังนั้นให้ 3 คะแนน

1.14 อุปสรรคของสายส่ง มีผลกระทบน้อยกว่าในหัวข้อที่กล่าวมา และแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ดังนั้นให้ 3 คะแนน

3 ด้านเศรษฐศาสตร์(ECONOMIC) มีหัวข้อที่พิจารณาดังนี้

3.1 การได้มาซึ่งที่ดิน มีผลกระทบมากเนื่องจากการหาสถานที่ตั้งต้องการเนื้อที่จำนวนมากเป็นพันไร่ ถึงแม้ตัวขอบเขตการก่อสร้างของอาคารต่างๆอาจมีเนื้อที่ประมาณ 400 ไร่ก็ตามแต่เพื่อความปลอดภัย ดังนั้นจึงให้คะแนนเพียง 15 คะแนน

3.2 ทางเข้าโรงไฟฟ้า ต้องมีความสะดวกและมีความปลอดภัยจึงต้องมีระบบต่างๆเพื่อป้องกันซึ่งที่อาจก่อให้เกิดอันตรายกับโรงไฟฟ้าได้ ดังนั้นให้คะแนน 10 คะแนน

3.3 การปรับปรุงที่ดิน ในการก่อสร้างถ้าลักษณะดินเป็นแบบดินโคลนหรือชื้นแฉะไม่มีความแข็งแรงก็ต้องมีการปรับปรุงมากและเนื่องจากมีพื้นที่ขนาดใหญ่จึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ดังนั้นให้ 20 คะแนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ระบบน้ำหล่อเย็น ต้องการน้ำเข้ามาระบายจำนวนมากถ้าอยู่ใกล้ทะเลต้องต่อท่อเพื่อดูดน้ำในระดับน้ำที่ลึกพอสมควร (ประมาณ 10 เมตร) ดังนั้นถ้าการต่อท่อยิ่งยาวขนาดปั๊มก็ต้องใหญ่ขึ้นหรืออาจจะใหญ่เกินไปจนไม่สามารถใช้ได้ ถ้าระดับน้ำบริเวณนั้นค่อนข้างตื้นอย่างมาก ก็จะต้องสร้างเป็น Cooling Tower ช่วยแทนแต่ก็จะเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นให้ 30 คะแนน

3.5 การขนส่ง มีการขนส่ง 3 ทางหลักๆคือ รถยนต์ เรือ รถไฟ ซึ่งสามารถก่อสร้างเพิ่มได้และจะต้องก่อสร้างเป็นระยะทางไกล ก็ยังก่อสร้างได้ค่อนข้างง่ายกว่าด้านอย่างอื่นอยู่ดี ให้คะแนน 15 คะแนน

3.6 สายส่ง เพื่อส่งกระแสไฟฟ้าออกจากตัวเก็บเพื่อส่งกระแสไฟฟ้า แจกจ่ายประชาชนตามที่ต่างๆ โดยทั่วไประบบสายส่งจะค่อนข้างทั่วถึงอยู่แล้วเพียงแต่ต้องสร้างสายส่งแรงสูงก่อน ดังนั้นให้ 10 คะแนน

เมื่อได้ Weight Score มาแล้วก็ต้องหา Unweight Score ออกมา โดยได้กล่าวมาจากข้างต้น จะมีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยผลกระทบยิ่งมาก Unweight Score ยิ่งน้อย ยกตัวอย่างเช่น ระบบน้ำหล่อเย็นของ Site ที่ 2 ระยะห่างระหว่างแนวน้ำลึก 10 เมตรกับฝั่งห่างกันเกิน 50 เมตรจึงให้Unweight Score เพียง 0.2 ในขณะที่ Site ที่1 ห่างจากแนวน้ำลึกเพียง 1050 เมตรเท่านั้น จึงให้ Unweight Score เท่ากับ 1 เป็นต้น ส่วนในหัวข้ออื่นๆเราก็ทำการพิจารณาตามความเหมาะสมของแต่ละบุคคล (Unweight Score อาจเปลี่ยนแปลงได้แล้วแต่เหตุผลของแต่ละบุคคลว่าเมื่อเจอสภาพแบบหนึ่งจะให้คะแนนเท่าไหร่เนื่องจากในประเทศไทย ยังไม่มีทฤษฎีตัวนี้อย่างเป็นทางการ)

เมื่อรวม Evaluation Point ของแต่ละ Site ทั้ง 3 ด้าน (Safty,Environment, Economics) แล้วก็ให้ทำการ Weight อีกครั้งหนึ่งว่าจะให้ความสำคัญด้านไหนมากที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการด้านใดแต่จากตัวอย่างทางกลุ่มโครงงานพิเศษ จะให้ความสำคัญแต่ละด้านเท่ากัน

จากตารางการจัดอันดับ จะเห็นว่า Site1 และ Site3 มีคะแนนเกือบจะเท่ากัน ดังนั้น Site ทั้งสองจึงมีความเหมาะสมสามารถสร้างได้ทั้งคู่ ซึ่งการที่จะเลือก Site ไหนก็จำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าข้อมูลที่กลุ่มโครงงานพิเศษได้ทำการศึกษา แต่จากข้อมูลเพียงเท่านี้ทางกลุ่มโครงงานพิเศษจะขอเลือก Site3 เป็นสถานที่ที่จะมีการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Safety

Safety							
คุณลักษณะ	Weight	Unweight Score			Evaluation Point		
		1	2	3	1	2	3
รอยแยกของเปลือกโลก	20	1	1	1	20	20	20
แผ่นดินไหว	15	1	1	1	15	15	15
ภูเขาไฟ	25	1	1	1	25	25	25
ความเหมาะสมของพื้นผิวดิน	20	1	0.8	0.8	20	16	16
คลื่นใต้น้ำ	5	1	1	1	5	5	5
คลื่นลม	3	1	1	1	3	3	3
น้ำท่วม	5	0.8	0.8	1	4	4	5
พายุ	7	1	1	1	7	7	7
รวม	100				99	95	96

Environment

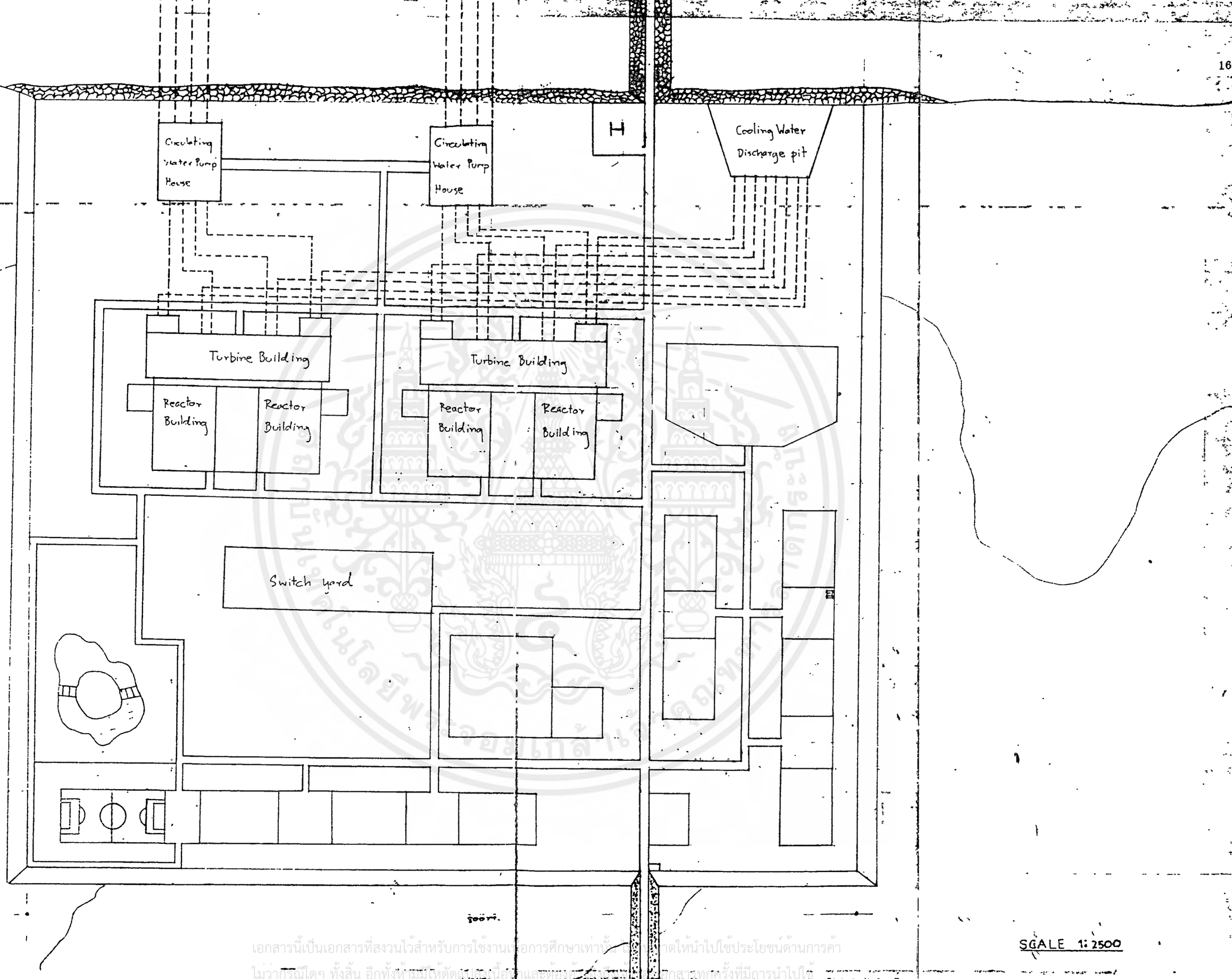
Environment							
คุณลักษณะ	Weight	Unweight Score			Evaluation Point		
		1	2	3	1	2	3
เครื่องบินตก	8	0.2	0.2	0.2	1.6	1.6	1.6
อันตรายจากน้ำ	4	0.8	0.8	0.2	3.2	3.2	0.8
การก่อการร้าย	7	0.6	0.4	0.8	4.2	2.8	5.6
ไฟไหม้	10	1	1	1	10	10	10
ค่ายทหาร	7	0.8	0.8	1	5.6	5.6	7
น้ำท่วม	3	1	1	1	3	3	3
การขาดน้ำ	14	1	1	1	14	14	14
แผ่นดินทรุด	6	1	1	1	6	6	6
การสั่นตัวของดิน	5	1	1	1	5	5	5
แผนการในอนาคต	3	1	1	1	3	3	3
จำนวนประชากรใน Site	15	0.4	0.2	1	6	3	15
จำนวนประชากรในระยะ 1-5 km.	10	0.8	0.4	1	8	4	10
จำนวนประชากรในระยะ 5-20 km.	5	0.4	0.2	0.8	2	1	4
อุปสรรคของสายส่ง	3	1	1	0.8	3	3	2.4
รวม	100				74.6	85.2	87.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Economics							
คุณลักษณะ	Weight	Unweight Score			Evaluation Point		
		1	2	3	1	2	3
การได้มาซึ่งที่ดิน	15	0.8	0.6	1	12	9	15
ทางเข้า	10	0.6	1	0.8	6	10	8
การปรับปรุงที่ดิน	20	0.8	0.8	0.6	16	16	12
ระบบน้ำหล่อเย็น	30	1	0.2	0.8	30	6	24
การขนส่ง	15	1	0.6	0.8	15	9	12
สายส่ง	10	1	1	0.8	10	10	8
รวม	100				89	60	79

RANKING					
SITE	TOTAL POINT			SUM	RANK
	SAFTY	ENVIRONMENT	ECONOMIC		
1	99	74.6	89	262.6	1
2	95	65.2	60	220.2	3
3	96	87.4	79	262.4	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SCALE 1:2500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รังสี

รังสี คือ พลังงานรูปหนึ่งซึ่งเคลื่อนที่ไปในอากาศหรืออวกาศ ในรูปของอนุภาคหรือคลื่น รังสีอัลฟา เบตาและนิวตรอนเป็นอนุภาคที่มีมวล ส่วนรังสีเอกซ์และรังสีแกมมาเป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นวิทยุ-โทรทัศน์ เรดาห์ ไมโครเวฟและแสง

รังสีให้ประโยชน์แก่มนุษย์ในขณะเดียวกันรังสีก็ก่อให้เกิดอันตรายต่มนุษย์ เช่น การได้รับรังสีที่เกิดจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสีหรือจากเครื่องมือที่มนุษย์ผลิตขึ้น การได้รับรังสีอุลตราไวโอเลตจากแสงแดดมากไป ทำให้บริเวณผิวหนังเกิดอาการแสบร้อนหรือมีสีคล้ำ ในบางกรณีอาจเป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนัง

ประเภทของรังสี

รังสีแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่

1. รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่าน
2. รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่าน

รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุ

รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุ เป็นรังสีที่มีพลังงานสูง เช่น รังสีคอสมิก รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ รังสีเบตา และรังสีแอลฟา รังสีเหล่านี้เมื่อวิ่งชนอะตอมซึ่งเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของสสารจะทำให้อิเลกตรอนของธาตุนั้นหลุดออกจากอะตอมหรือโมเลกุลกลายเป็นอิออนบวก ผลจากการแตกตัวเป็นอิออนของอะตอมหรือโมเลกุล อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ได้ สำหรับเซลล์สิ่งมีชีวิตอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา ตามปริมาณและชนิดของรังสีที่ได้รับ

รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุ

รังสีประเภทนี้ ได้แก่ คลื่นวิทยุและโทรทัศน์ คลื่นไมโครเวฟ คลื่นความร้อน (อินฟราเรด) แสงที่มองเห็นได้และรังสีอุลตราไวโอเลตในแสงแดด เป็นต้น ในชีวิตประจำวันของเรา เราได้รับประโยชน์จากรังสี ประเภทนี้มากมาย เช่น คลื่นวิทยุและโทร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทัศน์ ซึ่งใช้ส่งข่าวสารและรายการบันเทิง ไมโครเวฟที่ใช้ประกอบอาหาร แสงสว่างจากหลอดไฟและแสงแดดจากดวงอาทิตย์ เป็นต้น

<u>รังสีอัลฟา เบตาและแกมมา</u>

รังสีอัลฟา เป็นอนุภาคที่มีอำนาจทะลุทะลวงต่ำกระดาษเพียงแผ่นเดียวก็สามารถกั้นรังสีชนิดนี้ได้

รังสีเบตา เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารังสีอัลฟา การกั้นรังสีชนิดนี้ ควรใช้แผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ

รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ เป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีอำนาจทะลุทะลวงสูง การกั้นรังสีชนิดนี้ควรใช้คอนกรีตหนา ๆ หรือโลหะ

<u>ที่มาของรังสี</u>

มนุษย์ได้รับรังสีจากรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและจากรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น

รังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ได้แก่

-รังสีคอสมิกจากนอกโลก

-รังสีที่เกิดจากธาตุกัมมันตรังสีบนพื้นโลก ได้แก่ ยูเรเนียม โปแตสเซียม ธอเรียม ที่มีอยู่ในดิน หินและน้ำ

-รังสีจากวัสดุก่อสร้าง เช่น อิฐ หิน ปูน

-รังสีจากอาหารที่เรารับประทาน

-รังสีจากร่างกายของเรา ได้แก่ คาร์บอน-14 และโปแตสเซียม-40

รังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น ได้แก่

-รังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้ในทางการแพทย์ ทางทันตกรรม และทางอุตสาหกรรม

-การใช้ไอโซโทปรังสีเพื่อการวินิจฉัยและบำบัดโรค

ฝุ่นกัมมันตรังสีจากการทดลองอาวุธนิวเคลียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-รังสีจากสินค้าอุปโภค-บริโภคบางชนิด เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ ก๊าซหุงต้ม จอคอมพิวเตอร์

-รังสีจากเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

-การใช้สารรังสีในอุตสาหกรรมและกิจกรรมอื่น ๆ

เราได้รับรังสีจากก๊าซรังสีที่มีชื่อเรียกว่า เรดอน ซึ่งมีอยู่ในอากาศ ในอาคารบ้านเรือน ถ้าเป็นห้องที่ปิดมิดชิด การระบายอากาศไม่ดี ก๊าซเรดอนจะสะสมอยู่ในอากาศทำให้มีความเข้มข้นของก๊าซเรดอนในอากาศสูงขึ้น ก๊าซเรดอนเกิดจากการสลายตัวของธาตุยูเรเนียมที่ปะปนอยู่ในดินหินและวัสดุก่อสร้าง

หน่วยวัดปริมาณรังสี

หน่วยที่นิยมใช้ในการวัดรังสี คือ ซีเวิร์ต หรือ มิลลิซีเวิร์ต โดยที่ 1 มิลลิซีเวิร์ต = 1/1000 ซีเวิร์ต ปริมาณที่วัดได้โดยหน่วยนี้คำนึงถึงผลของรังสีที่มีต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิต โดยปกติร่างกายคนเราจะได้รับรังสีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยเฉลี่ยประมาณ 2 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี

ปริมาณรังสีที่แต่ละบุคคลได้รับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

-การดำเนินชีวิตประจำวัน

-อุปนิสัยในการรับประทานอาหาร

-บริเวณที่ตั้งของที่อยู่อาศัย ตัวอย่างเช่น ผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณพื้นที่สูงจะได้รับรังสีคอสมิกเพิ่มขึ้น เนื่องจากชั้นบรรยากาศช่วยกำบังรังสีน้อยลง การขึ้นไปบนยอดตึกสูง 583 เมตรจะได้รับรังสีคอสมิกเพิ่มขึ้น 17% จากปริมาณรังสีคอสมิกที่ระดับน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลอันเนื่องมาจากการได้รับรังสีในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณรังสี	ผลที่เกิดขึ้น
100 มิลลิซีเวิร์ต	-ไม่เกิดการเจ็บป่วยในทันที -มีโอกาสเป็นมะเร็ง
3,000-6,000 มิลลิซีเวิร์ต	-คลื่นไส้ อาเจียน น้ำหนักลด และตายประมาณ 50% หรือทำลายระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย
20,000 มิลลิซีเวิร์ต	-ป่วยและตายภายใน 2 ชั่วโมงหรือทำลายระบบประสาทในส่วนสมอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดกากกัมมันตรังสี (Radioactive Waste Management)

กากกัมมันตรังสี หมายถึง ของเสียทั้งของแข็ง ของเหลวและก๊าซ ที่ประกอบหรือเปื้อนปนด้วยสารกัมมันตรังสีที่ไม่ใช้แล้วในระดับกัมมันตภาพรังสีสูงกว่าเกณฑ์ปกติในธรรมชาติ

นับตั้งแต่ Henri Becquerel ได้พบ "กัมมันตภาพรังสี" ในปี พ.ศ. 2439 เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาพัฒนาความรู้และการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ต่าง ๆ มากมายเช่น การใช้ในรูปของพลังงาน และการใช้สารกัมมันตรังสีในการศึกษาวิจัยและในการปฏิบัติงานอื่น ๆ การใช้งานของสารกัมมัตนรังสีเพื่อประโยชน์ต่าง ๆ ดังกล่าวยังผลให้เกิดกากกัมมันตรังสีขึ้น ผู้ใช้สารกัมมันตรังสีควรจะต้องทราบถึงกรรมวิธีจัดการกากที่ถูกต้องเพื่อมิให้เกิดปัญหามลภาวะทางรังสีต่อไป

ต้นกำเนิดและลักษณะชนิดของกากกัมมันตรังสี

กากกัมมันตรังสี ประกอบด้วยสารกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ และมีระดับความแรงรังสีแตกต่างกันไป ทั้งนี้สารกัมมันตรังสีในกากนั้นอาจจะเป็นสารกัมมันตรังสีตามธรรมชาติ (natural radioactivity) หรือสารกัมมันตรังสีที่เกิดจากการประดิษฐ์ของมนุษย์ (artificial radioactivity)

การจัดจำพวกของกากกัมมันตรังสีนั้น อาจแยกได้หลายวิธี เช่น

-คุณสมบัติทางเคมี (อินทรียสาร อนินทรียสาร ฯลฯ)

-ชนิดของกัมมันตรังสีที่ปล่อยออกมา (แอลฟา เบตา และแกมมา)

-ระดับของการเปรอะเปื้อนสารรังสี (รังสีสูง : High Activity รังสีต่ำและปานกลาง : Low - Intermediate Activity)

-แหล่งกำเนิดกากกัมมันตรังสี หมายถึง สถานที่ปฏิบัติการทางรังสี

กากกัมมันตรังสีจากแหล่งกำเนิดกาก

1) กากกัมมันตรังสีจากการทำเหมืองแร่ยูเรเนียม

ปริมาณและคุณภาพของกากกัมมันตรังสีจากเหมืองแร่ยูเรเนียม ขึ้นอยู่กับแหล่งแร่และกรรมวิธีการผลิต จึงไม่สามารถจะกำหนดลักษณะกากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นแน่นอนได้อย่างไรก็ตาม กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น ไม่เป็นปัญหาสำคัญนัก เพราะแหล่งแร่

ยูเรเนียม มักจะอยู่ห่างไกลแหล่งชุมชน สำหรับชนิดของสารกัมมันตรังสีที่สำคัญคือ ก๊าซเรดอน ซึ่งจะเป็นอันตรายมากถ้าเหมืองแร่นั้นเป็นเหมืองปิด วิธีการป้องกันในกรณีนี้คือการจัดสร้างระบบระบายอากาศที่ดีสำหรับเหมืองปิดนั้น แต่ถ้าเป็นเหมืองเปิดก็จะไม่มีปัญหาจากเรดอนแต่อย่างไร

2) กากกัมมันตภาพรังสีจากการแต่งแร่ยูเรเนียม

สินแร่ยูเรเนียม จะมียูเรเนียมออกไซด์ U_3O_8 ประมาณ 0.25% เมื่อส่งออกจากเหมืองแร่สินแร่ดังกล่าวจะถูกส่งเข้าโรงงานแต่งแร่ ซึ่งจะแยกสารประกอบยูเรเนียมออกมาจากสิ่งเจอปนทั้งหมดโดยการนำสินแรมาบดให้แตกละเอียด แล้งสกัดเอาสารประกอบยูเรเนียมออกมาโดยขบวนการทางเคมีซึ่งมี 2 วิธี คือการสกัดโดยกรดและการสกัดด้วยด่าง สารประกอบยูเรเนียมจะละลายในสารละลายและจุถูกนำไปแยกออกจากสารละลายโดยวิธีไอออนเอ็กซ์เชน หรือโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) ต่อไป

กากกัมมันตภาพรังสีจากการแต่งแร่ ส่วนใหญ่คือหางแร่ ซึ่งจะเปื้อนปนด้วยสารรังสีที่มาจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม เช่น Th-234 Th-230 และ Ra-226 กากกัมมันตรังสีเหล่านี้จุถูกระบายออกสู่บ่อพักและจะตกตะกอนลงสู่ก้นบ่อ โดยจะมีโลหะธาตุอื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วย เช่น Mn,Cu,Pb,As ฯลฯ กากกัมมันตรังสีชนิดเดียวกันนี้จะเกิดขึ้นในการแต่งแร่ โมนาไซด์ ซึ่งเป็นแร่ที่มี ธาตุทอเรียมผสมอยู่ด้วย

โดยสรุปแล้วกากกัมมันตรังสีในกลุ่มนี้ไม่ก่อปัญหาสำคัญแต่อย่างไร

3) กากกัมมันตภาพรังสีจากขบวนการยูเรเนียมบริสุทธิ

ผลิตผลจากการแต่งแร่ยูเรเนียม จะได้เป็นสารประกอบยูเรเนียมที่มีเนื้อยูเรเนียมประมาณ 70% ซึ่งจะต้องนำไปทำให้บริสุทธิมากยิ่งขึ้น เพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปทำเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ต่อไป ทั้งนี้โดยการทำละลายสารประกอบนั้นด้วยกรดดินประสิวแล้วทำการสกัดด้วยสารประกอบ ไตรบิวทิลฟอสเฟต (tributyl phosphate) ซึ่งจะทำให้สามารถแยกยูเรเนียมเป็นสารประกอบบริสุทธิได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับกากกัมมันตรังสีในกรณีนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารละลาย ในปริมาณ 5000 ลิตรต่อยูเรเนียม 1 ตัน กัมมันตภาพรังสีในกากนั้นจะมาจาก เรเดียม ยูเรเนียม และผลิตผลจากการสลายตัวของอนุกรมยูเรเนียม เช่น ทอเรียมและโปรเทคติเนียม เป็นต้น

หลังจากการสกัดด้วย TBP แล้ว จะได้สารประกอบบริสุทธิของ uranyl nitrate ซึ่งต่อมาจะถูก อ๊อกซิไดซ์กลายเป็น uranium oxide (U_3O_8) ซึ่งจะถูกนำไปทำปฏิกิริยาต่อไปกับ hydrogen และกรดกัดแก้ว (HF) กลายเป็นก๊าซ uranium tetrafluoride ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ด้วย Mg กลายเป็นโลหะรูปยูเรเนียมบริสุทธิในที่สุด

4) กากกัมมันตรังสีจากการประดิษฐ์แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

การสร้างประกอบแท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์นั้นจะเกี่ยวกับการนำโลหะยูเรเนียมไปทำเป็นโลหะผสมที่ความคงทนต่อสภาพต่าง ๆ อาทิเช่น ความร้อน ความดัน ความเครียด ในแท่งเชื้อเพลิง เป็นต้น การสร้างแท่งเชื้อเพลิงจะต้องอาศัยขบวนการเชิงกล เช่น การหลอมโลหะ กากลึงให้เข้ารูป การเจาะ และการขัดทำความสะอาด เป็นต้น

กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น จะประกอบด้วยเศษโลหะ สารละลายที่ใช้ความสะอาด กระดาษ ฝุ่นละออง ต่าง ๆ ซึ่งเศษโลหะจากขบวนการนี้จะถูกเก็บกลับไปใช้งานใหม่และกากส่วนอื่น ๆ นั้นมีระดับรังสีต่ำมาก

5) กากกัมมันตรังสีจากการเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู

การเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู จะทำให้เกิดสารกัมมันตรังสีสองจำพวก คือ ผลิตผลของการฟิชชัน (fission product) และผลิตผลจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนกับวัสดุอื่น ๆ ในเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู (ผลิตผลแอคติเวชัน : activation products) ปกติในส่วนของผลิตผลแอคติเวชันนั้น จะปะปนอยู่ในตัวทำความเย็น และวัสดุโครงสร้างอื่น ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูซึ่งอาจจะถูกชะล้างออกมาในตัวทำความเย็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกัมมันตรังสีที่อยู่ในกลุ่มนี้ประกอบด้วยไอโซโทปต่าง ๆ มากมาย แต่อาจสรุปที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้ :- H-3,C-14,Ar-41,Fe-55,Co-60,Ni-63,Kr-85,Sr-89,Sr-90,Y-91,Zr-93,Zr-95,Nb-95,Tc-99,Ru-106,I-129,I-131,Xe-133,Cs-134,Cs-137,Ce-141,Ce-144,Pm--147,Sm-151,Eu-154,Pb-210,Rn-222,Ra-226,Th-229,Th-230,U-234,U-235,U-238,Np-237,Pu-238, Pu-239,Pu-240,Pu-241,Pu-242,Am-241,Am-243 และ Cm-242 เป็นต้น

6) กากกัมมันตรังสีจากขบวนการฟอกกากนิวเคลียร์

แท่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่นำไปใช้งานจนเสื่อมสมรรถนะภาพแล้ว อาจจะนำไปปรุงแต่งให้คืนสภาพใช้งานได้อีกครั้งหนึ่ง โดยขบวนการแยกทางเคมี โดยมีวิธีการประกอบด้วย การทำละลายแท่งเชื้อเพลิงด้วยกรดดินประสิว ซึ่งจะทำให้ได้กากกัมมันตรังสีในรูปของสารละลายที่มีสารกัมมันตรังสีชนิดผลิตผลฟิชชันที่มีความแรงรังสีสูงมาก (high level waste) โดยปกติผลิตผลฟิชชันนั้นประกอบด้วยธาตุประมาณ 35 ธาตุและเป็นไอโซโทปรังสีประมาณ 120 ชนิด แต่ส่วนใหญ่เป็นไอโซโทปรังสีที่มีอายุสั้น ๆ สำหรับผลิตผลฟิชชันที่มีครึ่งชีวิตยาวมีไม่มากนัก ที่สำคัญคือ Cs-137 มีครึ่งชีวิต 30 ปี Sr-90 มีครึ่งชีวิต 29 ปีและ Ru-103 มีครึ่งชีวิต 1 ปีเป็นต้น

นอกจากผลิตผลฟิชชันแล้ว กากกัมมันตรังสีชุดนี้ยังประกอบด้วยสารรังสีชนิดทรานสยูเรนิต (transurenic elements) ซึ่งเป็นไอโซโทปรังสีของธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่า ธาตุยูเรเนียมและเป็นไอโซโทปที่ให้รังสีแอลฟาเป็นส่วนใหญ่และมีครึ่งอายุค่อนข้างยาวนานอีกด้วย

7) กากกัมมันตรังสีจากศูนย์วิจัยและสถาบันการศึกษา

กัมมันตรังสีของกากกัมมันตรังสีในกลุ่มนี้มีระดับรังสีต่ำมาก แต่ปรากฏว่าปริมาณของกากรังสี เพิ่มมากขึ้นทุกทีเนื่องจาก ปัจจุบันมีการใช้สารรังสีในการศึกษาวิจัยในโครงการต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น กากกัมมันตรังสีในกลุ่มนี้มีสภาพทางกายภาพคล้ายคลึงกันแต่องค์ประกอบของกากแตกต่างกัน ขึ้นกับโครงงานที่ปฏิบัติอาทิเช่น กากของเหลวอาจเป็นพวกสารอนินทรีย์ที่มีการเจือปนด้วยสารเคมีต่างชนิดกัน หรืออาจเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ เป็นต้น สำหรับกากของแข็งนั้น ส่วนมากประกอบด้วย วัสดุ อุปกรณ์ที่ชำรุด หรือ เศษกระดาษ ผ้า เฟอร์นิเจอร์ ขวดแก้ว พลาสติค และอื่น ๆ

8) กากกัมมันตรังสีที่มาจากการใช้งานทางการแพทย์

การใช้ประโยชน์ทางรังสีในกิจการแพทย์ประกอบด้วย การใช้ในการตรวจวินิจฉัย และการบำบัดรักษา อาการโรค เช่นการใช้สารรังสีฉีดเข้าไปในร่างกาย และตรวจสอบการทำงานของระบบอวัยวะต่าง ๆ โดยการติดตามวัดปริมาณรังสี การใช้รังสีจากต้นกำเนิดรังสีฉายไปยังบริเวณอวัยวะที่เป็นเนื้องอก เพื่อระงับการแพร่ขยายของเนื้อร้าย ณ อวัยวะส่วนนั้น และการใช้รังสี เอ็กซ์ ฉายผ่านอวัยวะของร่างกายเพื่อตรวจหาความผิดปกติ เป็นต้น

กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้น อาจจะอยู่ในรูปของเสียที่ขับถ่ายจากผู้ป่วยที่ได้รับสารรังสีเข้าสู่ร่างกาย น้ำเสียจากการทำความสะอาดภาชนะหรือเครื่องแต่งกายของผู้ป่วย และภาชนะบรรจุสารกัมมันตรังสี เข็มฉีดยาและอื่น ๆ สารรังสีที่ใช้ในกิจการนี้มักเป็นพวกที่มีครึ่งอายุไม่ยาวนัก อาทิเช่น ทองคำ-198 ไอโอดีน-131 ไอโอดีน-125 โครเมียม-51 และ เทคนิเซียม-99 เอ็ม เป็นต้น

9) กากกัมมันตรังสีจากโรงงานอุตสาหกรรม

ปกติสารกัมมันตรังสีที่ใช้ในกิจการอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น มักอยู่ในสภาพของสารรังสีชนิดผนึกสนิทในภาชนะ (seal source) โดยส่วนจะมีการใช้งานในการถ่ายภาพทางรังสี (radiography) ของชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆ หรือเครื่องยนต์กลไก การใช้เป็นเครื่องตรวจสอบ ความหนาของวัสดุ ตรวจสอบความหนาแน่น ตรวจสอบระดับของเหลวในถังทึบ เป็นต้น ต้นกำเนิดรังสีเหล่านั้นจะถูกเรียกว่ากากกัมมันตรังสีก็ต่อเมื่อเลิกใช้งานแล้ว และเป็นกากที่แยกจากองค์ประกอบอื่น ๆ ได้ง่าย ตัวอย่างไอโซโทปรังสีในกรณีนี้มีเช่น โคบอลต์-60 เออริเดียม-192 ซีเซียม-137 เป็นต้น

10) กากกัมมันตรังสีจากการใช้งานทางการเกษตร

การศึกษาวิจัยทางการเกษตรหลายอย่างเป็นต้นกำเนิดกากกัมมันตรังสีประเภทนี้ อาทิเช่น การตรวจสอบสภาพดิน หรือการศึกษาความสามารถในการดูดซึมปุ๋ยของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดต่าง ๆ การตรวจหาความชื้นใต้ดิน ฯลฯ กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นมักจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกากกัมมันตรังสีที่เกิดจากศูนย์วิจัยทางนิวเคลียร์ทั่วไป

หลักการจัดการกากกัมมันตรังสี

การขจัดกากกัมมันตรังสีมิได้หมายถึงการทำลายสารกัมมันตรังสีให้หมดสิ้นไป ทั้งนี้เพราะวิธีการทางเคมี-ฟิสิกส์สามัญ ไม่สามารถทำลายสภาพกัมมันตรังสีได้ จะมีเพียงวิธีทางนิวเคลียร์ ซึ่งยุ่งยากและสิ้นเปลือง และขบวนการสลายตัวตามธรรมชาติของสารกัมมันตรังสีนั้นเท่านั้น ที่จะแปรสภาพความเป็นกัมมันตภาพรังสีของสารได้ การจัดการกากกัมมันตรังสีจึงเป็นการดำเนินการใด ๆ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของกากกัมมันตรังสีในสภาวะแวดล้อมเกิดการเปรอะเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสี ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยทั่วไป

โดยที่กากกัมมันตรังสีอาจเกิดอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซและประกอบด้วยสารกัมมันตรังสีชนิดต่าง ๆ และมีระดับความแรงรังสีแตกต่างกันไป (ระดับรังสีสูง ปานกลาง หรือต่ำ) วิธีการที่ใช้ปฏิบัติต่อกากกัมมันตรังสีเหล่านั้นมีมากมายหลายวิธีตามลักษณะคุณภาพและปริมาณของกากกัมมันตรังสีเหล่านั้น แต่โดยส่วนรวมแล้ว การขจัดกากกัมมันตรังสีทุก ๆ วิธีจะมีหลักการร่วมกัน 3 ประการ

1.การทำให้เข้มข้น แล้วเก็บรวบรวม (concentrate and contain)

2.การทำให้เจือจาง แล้วระบายทิ้ง (dilute and disperse)

3.การเก็บทอดระยะเวลา และปล่อยให้สารกัมมันตรังสีสลายตัวไปเอง (delay and decay)

การขจัดกากของเหลวกัมมันตรังสี

ก. กากของเหลวระดับรังสีสูง (Highly-active liquid waste (10^4-10^6 Ci/m^3))

กากกัมมันตรังสีชุดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารละลายของ fission - product จากโรงงานคืนสภาพเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (vitrification) หรือ ทำให้เป็นเกลือแคลไซน์ (calcination) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. กากกัมมันตรังสีของเหลวระดับรังสีต่ำและปานกลาง (Low - Medium active waste (10^{-6}-1 Ci/m^3)

ตามปกติกากของเหลวกัมมันตรังสีมักจะอยู่ในรูปสารละลายของน้ำ เพราะน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในการปฏิบัติงานทุกประเภท เช่นใช้น้ำทำความสะอาดอุปกรณ์ ใช้ทำละลายสารเคมีต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการ การดำเนินการขจัดกากของเหลวกัมมันตรังสีนั้นจะเริ่มด้วยการรวบรวมกากของเหลวไว้จนกระทั่งมีปริมาณมากพอ ซึ่งจะได้ประโยชน์สองประการคือ เป็นการทอดระยะเวลาให้สารกัมมันตรังสีที่มีอายุสั้น ๆ สลายตัวหมดไป (ตามหลักการข้อที่ 3) และเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย เพราะสามารถดำเนินการต่อกากกัมมันตรังสี จำนวนพอเหมาะ ในการเดินเครื่องครั้งหนึ่ง ๆ วิธาการดำเนินการขจัดกากของเหลงมีหลายวิธีเช่น

กากตะกอนเคมี เป็นวิธีที่ใช้สารเคมีผสมลงในของเหลว ทำให้สารกัมมันตรังสีเกิดตกตะกอนร่วมกับสารเคมีนั้น (หลักการข้อที่ 1) และสารละลายใสส่วนที่เหลือหลังจากเกิดการตกตะกอน จะถูกระบายทิ้งต่อไป (หลักการข้อที่ 2)

การเลือกใช้กรรมวิธีตกตะกอนเคมีนั้น ต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทางเคมีของกากฯและประสิทธิภาพของการขจัดกากฯที่ต้องการสำหรังกากกัมมันตรังสีที่ต้องการสำหรับกากกัมมันตรังสีชุดนั้น ๆ วิธีการโดยสรุปมีดังต่อไปนี้

- การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ของกากกัมมันตรังสีให้เป็นกลาง ซึ่งอาจมีตะกอนเกิด ขึ้นได้ด้วย
- การทำให้เกิดตะกอนแขวนลอย (coagulation or flocculationX ซึ่งรวมตั้งแต่การ destabilizations ของไอออนในสารละลาย การรวมตัวเป็นกลุ่มของ colloid เกิด เป็นตะกอนแขวนลอย (flocs) ซึ่งจะดูดจับพวกสารที่ละลาย หรือแขวนลอยในน้ำได้
- การตกตะกอน หรือการตกตะกอนร่วม (precipitation and coprecipitation) เกิด เป็นผลึกสารประกอบ ซึ่งมีไอออนอื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วยอย่างสม่ำเสมอ ตะกอนที่เกิดขึ้นอาจถูกจับโดย floc เป็นตะกอนแขวนลอยก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากวิธีทางเคมี คือการเกิดสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมักเป็นเกลือ hydroxide carbonate หรือ phosphate ขึ้นกับ วิธีการ และสารเคมีที่ใช้งาน

สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดขึ้นนั้น จะถึงเอากากกัมมันตรังสีถูกจับอยู่ในรูป sludge ที่ไม่ละลายน้ำ และมีปริมาณลดน้อยลง สะดวกในการทิ้งกากฯต่อไป สำหรับวิธี Coagulation Process นี้ จะมี D.F value ~ 10 (แต่ถ้าใช้วิธีพิเศษเฉพาะสารรังสีบางตัว จะสามารถเพิ่มค่าD.F สูงถึง 200 ได้)

** D.F value = ระดับรังสีก่อนการขจัดกากกัมมันตรังสี/ระดับรังสีภายหลังการขจัดกากกัมมันตรังสี**

ปกติวิธีทางเคมีนี้ มักใช้กับ liquid waste ที่มีระดับรังสี 10^{-3} -10^{-2} mCi/ml

ขบวนการเคมีพื้นฐาน ในการ Coagulation - Flucculation ประกอบด้วย :-

1. Lime - Soda Process เป็นกรรมวิธีมาตรฐาน ในการทำให้น้ำกระด้างเป็นน้ำอ่อนซึ่งเหมาะกับการขจัดสารชนิด polyvalent cations (cation ที่มี valency > 1) ทั้งนี้โดยที่ Lime คือ $Ca(OH)_2$ จะรวมตัวกับ soda ash (Na_2CO_3) เกิดเป็นตะกอน ในขณะเดียวกันมันสามารถดูดจับอิออนของธาตุอื่น ๆ รวมเข้าในตะกอนนั้นด้วย

ปฏิกริยาหลัก $Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCo_3 + 2\,NaOH$

ปฏิกริยาร่วม $2\,Ca(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2\,CaCO_3 + H_2O$

$2\,Ca(OH)_2 + Mg(HCO_3)_2 \longrightarrow 2\,CaCO_3 + Mg(OH)_2 + H_2O$

$Ca(OH)_2 + MgSO_4 \longrightarrow Mg(OH)_2 + CaSO_4$

$CaSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$

ขณะเดียวกันจะเกิดตกตะกอน co-precipitation

$Sr^{2+} \longrightarrow SrCO_3$

$Ba - La \longrightarrow BaCO_3 , LaCO_3$

$Cd \longrightarrow CdCO_3$

ฯลฯ

pH ที่ใช้งาน pH ~ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Aluminum or Ferric Salt

โดยเติม filter alum $Al_2(SO_4)_3$ หรือ ferric salt เช่น $Fe_2(SO_4)_3$,$FeCl_3$ ฯลฯ และปรับ pH ด้วย $Ca(OH)_2$ หรือ $NaCO_3$ หรือ NaOH จนกระทั่งเกิด hydroxide ของ Al^{+3},Fe^{+3} พร้อมกับ พวก heavy metal hydroxides อื่น ๆ

$$Al^{+3} + 3\ OH^{-} \text{ ----------> } Al(OH)_3$$

$$Fe^{+3} + 3\ OH^{-} \text{ ----------> } Fe(OH)_3$$

ใช้ขจัด cation พวก polyvalent ที่ไม่ใช่พวก alkali และ alkali-earth และไม่ใช้กับ สารรับสีที่เป็นไอออนลบ

3. Phosphates

พวก heavy metal phosphates นั้น ละลายน้ำได้ยากกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ ดังนั้นการตกตะกอน phosphates ก็ใช้ขจัดกากฯได้ กระบวนการนี้กระทำโดยเติม Na_3PO_4 ลงผสมในกากของเหลว ถ้ากากฯนั้นเป็นน้ำกระด้างอยู่แล้ว ก็จะเกิดตะกอนของ $Ca_3(PO_4)_2$ ได้เลย แต่ถ้ากากฯนั้นเป็นน้ำอ่อน ก็จะต้องเติม Ca^{+2} ลงไปในกากฯของเหลวนั้นด้วย และสำหรับ pH ที่เหมาะสม สำหรับการขจัดนี้อยู่ในช่วง pH 11 - 11.5

ใช้ขจัดพวก polyvalent element , mixed fission product และพวกที่ให้ alpha-activity แต่ไม่เหมาะสมกับพวกที่เป็น anionic element

4. Ferrocyanide precipitation

เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการขจัด Cs-137,Ru-106 อาศัยปฏิกริยาระหว่าง metal source ที่ใช้ เช่น เกลือของเหล็ก,โคบอลต์,นิเกิล,สังกะสี ขบวนการนี้อาจได้ค่า DF สูงถึง 1000 สำหรับขจัด Cs-137 ได้

<u>การต้มระเหย (Evaporation)</u> เป็นวิธีที่ใช้ความร้อนในการต้มระเหยน้ำทิ้งกัมมันตรังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกที่มีระดับรังสีปานกลาง กรรมวิธีนี้จะทำให้ค่า DF สูงมาก การต้มระเหยนี้ จะได้ผลเป็นกากกัมมันตรังสีที่เข้มข้นในรูปตะกอน หรือของเหลวข้น ๆ (conoentrated residue) ตามหลักการข้อที่ 1 และส่วนที่เป็นไอน้ำ (distillate) จะถูกระบายออกไป ตามหลักการข้อที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดจับด้วยสารแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchange)

เนื่องจากสารกัมมันตรังสีในกากของเหลว จะอยู่ในรูปอนุมูลของธาตุด้วย ดังนั้นจึงสามารถใช้วิธีแลกเปลี่ยนไอออนในการขจัดกากของเหลวฯ ได้โดยให้กากของเหลวไหลผ่านคอลัมน์ของสารแลกเปลี่ยนไอออน ซึ่งอาจเป็นสารสังเคราะห์ เช่น ไอออนเอ็กเชนจ์เรซิน (ion exchange resin) หรือสารที่มีกำเนิดแต่ธรรมชาติ เช่น ถ่านเกลือ ซีโอไลต์ เบนโตไนท์ และดินเคลย์ ต่าง ๆ สารกัมมันตรังสีจะถูกดูดจับไว้ในสารแลกเปลี่ยนไอออน (หลักข้อที่ 1) และสารละลายที่ผ่านออกไปสามารถละลายทิ้งได้ (หลักข้อที่ 2)

สำหรับการปฏิบัติงานขจัดกากของเหลวกัมมันตรังสีของสำนักงาน พปส.นั้น กระทำโดยใช้วิธีตกตะกอนเคมี

การขจัดกากของแข็งกัมมันตรังสี

ก.กากกัมมันตรังสีระดับรังสีสูง (High radioactive waste)

กากของแข็งชุดนี้ได้จาก โรงงานคืนสภาพเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (nuclear fuel reprocessing plant) ลักษณะของกากก็คือ อ๊อกไซด์ของธาตุต่าง ๆ การบำบัดกากกัมมันตรังสีจะกระทำโดยแปรสภาพของกากให้เป็นวัสดุที่คงทนต่อปฏิกริยาเคมี อาทิ เช่น แก้ว หรือเซรามิค กากของแข็งที่แปรสภาพแล้ว เรียกว่า ผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสี (Waste product) จะถูกบรรจุลงในภาชนะที่เหมาะสม และเก็บไว้รอการทิ้งกากโดยถาวรต่อไป

ข.กากกัมมันตรังสีระดับรังสีต่ำและปานกลาง (Low and Intermediate level Waste)

กากของแข็งในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย

กากตะกอนเข้มข้น (liquid residue) จากการต้มระเหยกากของเหลว จากขบวนการตกตะกอนเคมีของกากของเหลว และ/หรือ จากสารแลกเปลี่ยนไอออนที่ใช้แล้ว เป็นต้น กากตะกอนเหล่านี้มักจะมีความชื้นปะปนอยู่ด้วยและยังไม่คงทนต่อสภาวะแวดล้อมดังนั้นจะต้องมีการแปรสภาพเป็นผลิตภัณฑ์กากที่เหมาะสมเช่นกัน การแปรสภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กากดังกล่าวนี้อาจกระทำได้โดยวิธีซีเมนเตชัน (cementation) หรือวิธีไบทูมิไนเซชัน (bituminization)

<u>กากของแข็งจากการใช้งานทั่วไป</u>

กากของแข็งกัมมันตรังสีส่วนใหญ่มาจากอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงานทางรังสี เช่น ภาชนะต่าง ๆ เศษกระดาษ และ ซากสัตว์ทดลอง เป็นต้น วิธีการปฏิบัติต่อกากกลุ่มนี้ก็คือ ลดปริมาตรของกากกัมมันตรังสีและเก็บรวบรวมไว้ การลดปริมาตรของกากกัมมันตรังสีสามารถกระทำได้ โดยที่

เนื่องจาก Solid Waste ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปนั้น มีปริมาตรมากและปริมาณรังสีน้อย ไม่สะดวกต่อการเก็บ/ทิ้ง หรือ ขนส่งไป เก็บ/ทิ้ง จึงต้องมีการลดปริมาตรซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธี

ก.Mechanical techniques เช่น การ compacting และ การ fragmentation (บด/ตัด) (ลดปริมาตร)

ข.Incineration (ลดทั้งปริมาตร & ลดน้ำหนักได้ด้วย)

ปกติแล้ว อาจคาดคะเนได้ว่า Raw Waste จาก research center นั้น จะประกอบด้วย

~70% compressible or combustible material ซึ่งแยกเป็น

~plastic	25%
~paper & cloth	25%
~metallic & glass	15%
~อื่น ๆ เช่น ไม้,ซากสัตว์	5%

~20% hard material เช่น metal components, พวก coating or lining fragments

~10% ผงฝุ่น จากกากอิฐ เศษปูน/sludge จากการขจัดกากกัมมันตรังสี เป็นต้น

การลดปริมาตรด้วยวิธี Mechanical technique เพื่อเปลี่ยนแปลงรูปลักษณะของ Waste ให้มีปริมาตรลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

~Compacting เป็นไล่อากาศออกจาก Waste โดยการอัดด้วยเครื่องอัดขนาดต่าง ๆ ซึ่งหากจะต้องอัดกากที่มีระดับรังสีสูง หรือกากที่อาจมีการปลดปล่อยไอก๊าซรังสีได้ จำเป็นต้องกระทำในห้องปิดที่มีระบบระบายอากาศที่ดี แต่ถ้าระดับรังสีต่ำอาจกระทำในห้องโปร่งได้ ความสามารถในการลดปริมาตรนั้นขึ้นกับขนาดของเครื่องอัดและชนิดของกาก แต่โดยทั่ว ๆ ไปพบว่า Waste ชนิดที่อัดให้ลดปริมาตรได้ง่าย เช่น laboratory waste เมื่อใช้แรงอัด 50 kg/cm^2 จะมีค่า Reducting factor 5-15 ขณะที่ waste ชนิดที่ยากต่อการอัด เมื่อใช้แรงอัดเท่ากัน จะมีค่า R.F เพียง 1.5-3 เท่านั้น

Fragmentation ใช้กับ Waste ขนาด large item ที่ต้อง reduced รูปร่างลงมา เช่น Waste Tanks, heat exchangers, glove boxes ฯลฯ โดยมีเครื่องมือเครื่องใช้เป็นเครื่องบดหรือตัดชนิดต่าง ๆ เช่น shearing machine,guillotine,saws,electric are or oxyacetylene catters และ hammer mill เป็นต้น ซึ่งการบด/ตัดเหล่านี้ ควรกระทำในที่ปิดเพราะจะมีการกระจายของ Waste ออกจากเครื่องบด/ตัดได้

การลดปริมาตรด้วยการเผา Incineration ทั้งนี้เพราะ Waste ส่วนใหญ่มีค่าของความร้อนอยู่ในตัวเองเช่น

Rubber	มี calorific value	9800-10,000	kcal/kg.
Polyethylene	มี calorific value	9,000	kcal/kg.
PVC	มี calorific value	6,500	kcal/kg.
Paper/card board	มี calorific value	6,000	kcal/kg.
Wood	มี calorific value	3,500	kcal/kg.

ฯลฯ

ซึ่งเมื่อนำมาเผามันจะติดไฟ และจะให้ความร้อนให้สามารถเผากากอื่น ๆ ได้อีกต่อเนื่องกันไปการเผาจะเป็นการลดปริมาตร และลดน้ำหนักของกากกัมมันตรังสีด้วยพร้อมกัน เช่น อาจมีค่า reduction factor ในเชิงปริมาตรสูงถึง 100 และ reductive factor ในเชิงน้ำหนักถึง 25 เป็นต้น

แต่ระบบการเผากากนั้น จะต้องมีการออกแบบที่รัดกุม/ปลอดภัยและให้ประสิทธิภาพการขจัดกากได้สูง โดยจะต้องมีส่วนประกอบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

~เตาเผากาก

~ส่วนควบคุมการเผากาก

~ส่วนเก็บเถ้ากาก

~ส่วนทำความสะอาดไอ ก๊าซจากการเผากาก

~การทำความเย็นแก่ไอก๊าซ

~การควบคุมความปลอดภัยโดยส่วนรวม

การลดปริมาตรด้วยวิธีอื่น ๆ - จะพิจารณาจากวัตถุประสงค์พิเศษต่าง ๆ การจะมีการลดปริมาตรกากกัมมันตรังสีได้โดย

~Lead melting - แยกเอาตะกั่วที่ปริสุทธิออกจาก impurity ที่เป็น Waste ได้

~Melting of ferrous Material - แยกเอาเหล็กออกจาก impurity

~Waste จะอยู่ในสภาพของ Slag

~Acid reduction - โดยการต้มของแข็งบางชนิด ให้ละลายในกรด ส่วนที่เป็น waste จะกลายเป็นเกลือตกตะกอนอยู่ ส่วนกรดนำกลับไปใช้งานได้อีก

กากของแข็งที่ทำการลดปริมาตรลงแล้ว จะเก็บรวบรวมไว้และนำไปแปรสภาพให้เหมาะสม เพื่อนำไปเก็บหรือทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ โดยไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางรังสีต่อสภาวะแวดล้อม

<u>การขจัดกากกัมมันตรังสีชนิดที่เป็นไอหรือก๊าซ</u>

กากกัมมันตรังสีที่อยู่ในสถานะของก๊าซนั้นมีอยู่ 2 ลักษณะได้แก่ ก๊าซกัมมันตภาพรังสี (radioactive gas) เช่น I_2,Kr,Ar,Rn และ Xe เป็นต้นหรือไอสารหรือฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสี (aerosols)

การบำบัดกากกัมมันตรังสีชนิดแอโรโซลนั้นกระทำได้โดยวิธีกรองกากกัมมันตรังสีในอากาศด้วยระบบกรองพิเศษ ซึ่งมักจะประกอบด้วย activated charcoal เป็นตัวดูดจับสารกัมมันตรังสีและมีอุปกรณ์กรองมลสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้ดี (HEPA filter:High Efficiency Particulate Air filter) จากการขจัดกากกัมมันตรังสีโดยการกรองแล้ว เครื่องกรองจะถูกทิ้งเป็นกากของแข็งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำบัดการชนิดที่เป็นก๊าซกัมมันตรังสีนั้นจำเป็นต้องอาศัยกรรมวิธีเฉพาะอาทิ เช่น

<u>เทคนิคการดูดจับ</u> (Adsorption technique) ได้แก่ การดูดจับก๊าซกัมมันตรังสีด้วยสารตัวกลางที่เหมาะสม เช่น activated carbon หรือ porous matter ที่เคลือบหรือจุ่มให้โชกด้วยเกลือของเงิน (silver nitrate impregnated) ในกรณีของ I_2

<u>การสกัดแยก</u> (Extraction) เช่นการสกัดแยกด้วยวิธีการกลั่นเย็น (cryogenic distillation) ซึ่งกระทำได้โดยการลดอุณหภูมิของก๊าซให้เย็นจัดจนกลายเป็นของเหลว แล้วปล่อยให้อุณหภูมิสูงขึ้นทีละน้อย ก๊าซแต่ละชนิดที่มีจุดเดือดแตกต่างกันก็จะระเหยออกมา ณ ที่อุณหภูมิต่างกัน ตัวอย่างเช่น Ne มีจุดเดือดเท่ากับ -245.92 celcius Kr มีจุดเดือดเท่ากับ -156.6 celcius Xe มีจุดเดือดเท่ากับ -111.9 celcius เป็นต้น

<u>การแพร่</u> (diffusion) เป็นการสกัดแยกก๊าซอีกแบบหนึ่งโดยอาศัยหลักการที่ว่าก๊าซแต่ละชนิดมี อัตราการแพร่ (rate of diffusion) ในตัวกลางต่าง ๆ ไม่เท่ากัน ดังนั้นสามารถแยกออกจากกันได้

หลังจากการกรองหรือการสกัดแยกก๊าซ ด้วยวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว ชุดเครื่องกรอง (filter unit) ก็จะเป็นที่สะสมของสารกัมมันตรังสี และจะต้องนำไปบำบัดเป็นกากของแข็งต่อไป ส่วนก๊าซที่สกัดแยกเอาไว้ก็บรรจุใส่ท่อหรือถังก๊าซเพื่อนำไปทิ้งโดยถาวรต่อไป

<u>การแปรสภาพของแข็งกัมมันตรังสีให้เหมาะต่อการเก็บทิ้งโดยถาวร</u> (Conditioning of Rad. Waste)

เพื่อทำให้สภาพของกากกัมมันตรังสีคงทนต่อสภาพแวดล้อม ในเมื่อจะมีการเก็บทิ้งโดยถาวรจะต้องมีการแปรสภาพกากกัมมันตรังสีเช่น การผนึกกากกัมมันตรังสีในเนื้อซีเมนต์ (cementation) โดยใช้ซีเมนต์เป็นตัวยึด/เชื่อมกากกัมมันตรังสี และป้องกันไม่ให้สารกัมมันตรังสีในกากกัมมันตรังสีกระจายออกมาสู่สภาวะแวดล้อม หรืออาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะผนึกกากกัมมันตรังสีในสารบิทูเมนหรือยางมะตอย (bituminazation) หรืออาจจะแปรสภาพของกากกัมมันตรังสีให้อยู่ในรูปของสารที่เสถียรมาก ๆ เช่น แก้วและเซรามิค (Vitrification) เป็นต้น การเลือกวิธีแปรสภาพนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของกากกัมมันตรังสีนั้น ๆ และเหตุผลทางเศรษฐกิจของการจัดการกากนั้น ๆ

1.Bitumentation

คุณสมบัติของ Bitumen - Bitument เป็น mixtures ของ high molecular weight aliphatic และ aromatic hydrocarbon สามารถแบ่ง Bitumen เป็นกลุ่ม ๆ ได้หลายกลุ่ม แต่สำหรับชนิดที่นำมาใช้งานผนึกกากกัมมันตรังสี คือ Direct distillation Bitumen และ Blown bitumen

กากกัมมันตรังสีที่จะใช้ทำ Bituminization คือ

1. Chemical Sludges
2. Ion exchange Material
3. Regenerants and Concentrated Salt Solution
4. Organic Solvents
5. Incineration Ash
6. Plastic Waste

การผนึกกากกัมมันตรังสีด้วย Bitumen

ต้องมีความเหมาะสมระหว่างกากกัมมันตรังสีและ Bitumen กากกัมมันตรังสีควรเป็นเกลือที่เสถียร เช่น Sodium Salts เช่น Sodium Sulphate, Sodium Borate

ต้องจำกัดความเข้มข้นของ reducing ions เช่น Fe^{+2},$NaNO_2$

กากกัมมันตรังสีของ Cs-137 หรือ Sr-90 ควรอยู่ใน form ที่เป็นตะกอนเคมี

มีปริมาณของน้ำใน Bitument ในจำนวนจำกัด (ไม่มากกว่า 5%)

ไม่ใช้กับ Metallic Solid เช่น Iron,Stainless Steel ฯลฯ

ไม่ควรใช้กับ glass,rubbish และ Air filters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ควรใช้กับ Chemical solutions ที่เป็น Acid (pH ต่ำกว่า 4)หรือเป็น Alkaling (pH > 12)

ใช้ได้กับกากกัมมันตรังสี < 200 Ci/m^3 ของ β,r for distilled bitumen

< 10,000 Ci/m^3 ของ β,r for blown bitumen

อุณหภูมิใช้งาน ควรไม่เกิน 160 องศาเซลเซียส

2.Cementation

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ได้จากการเผาหินปูนและดินเหนียวในเตาอบ มีส่วนผสมเป็น Tricalcium Silicate (3 $CaO.SiO_2$),Dicalcium Silicate (2. $CaO.SiO_2$),Tricalcium Aluminate (3 $CaO.Al_2O_3$),Tetracalcium Aluminoferrite 4 $CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

เมื่อปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น เรียกว่า Hydration reaction เมื่อปฏิกิริยานี้เกิดขึ้น สารประกอบแต่ละนิดในซีเมนต์จะคายความร้อนได้ไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลทำให้การแข็งตัวของซีเมนต์ต่างไป ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ (กาก) ที่ได้ จะขึ้นกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์และขึ้นกับ ปริมาณน้ำ,ทรายและกากกัมมันตรังสีที่ผสม นอกจากนั้นยังขึ้นกับวิธีผสม (เวลา,อุณหภูมิและเครื่องมือผสม) และการบ่ม (Caring) ผลิตภัณฑ์กากกัมมันตรังสี

คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กาก - cementation ที่ต้องการคือ

-ให้มีความต้านทานการชะล้างของสารละลายและมีความต้านทานการผุกร่อน

-ไม่ให้มีการปล่อยก๊าซหรือของเหลวออกมา

-ไม่ให้มีการปลดปล่อย activity ออกมา

-มี compressive strength สูง ; -m.p. ของ cement สูง,ไม่มีอุบัติเหตุไฟไหม้

-แข็ง-ยากที่จะทำลาย ; -มีความทนทานต่อรังสี

กากกัมมันตรังสีที่ใช้วิธี cementation ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Concentrated Waste Residue
2. Sludge
3. Spent ion exchangers
4. Tritiated Waste (waste ที่มี tritium ผสมด้วย)
5. Ash จาก incineration

การเก็บรักษาและทิ้งกากโดยถาวร

กากกัมมันตรังสีที่แปรสภาพแล้วสามารถนำไปทิ้งโดยถาวรได้ ซึ่งมีวิธีทิ้งหลายวิธี เช่น การเก็บฝังลงใต้ดินชนิดตื้น ๆ การเก็บฝังในเหมืองแร่ร้างใต้ดินและการเก็บทิ้งลงในมหาสมุทร เป็นต้น

1. การทิ้งกากแบบฝังดิน

สามารถกระทำได้ 2 วิธี

1.1 การทิ้งกากแบบฝังดินตื้น (shallow land burial)

เป็นวิธีการที่ใช้กับกากกัมมันตรังสีของแข็งที่มีความแรงรังสีต่ำและมีครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีสั้น (ไม่เกิน 20 ปี) ที่ฝังกากแบบนี้อาจเป็นหลุมดินธรรมดา หรือเป็นบ่อที่มีโครงสร้างแข็งแรงก็ได้ (engineered structure)

1.2 การทิ้งกากแบบฝังดินลึก (deep underground disposal)

เป็นการทิ้งกากที่เหมาะสมสำหรับกากกัมมันตรังสีที่มีครึ่งชีวิตยาวและมีระดับความแรงรังสีสูงและต้องการแยกกากจากมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับประชาชนให้มากที่สุด วิธีทิ้งกากแบบฝังดินลึกอาจจำแนกได้หลายลักษณะ อาทิเช่น disposal into deep aquifer, disposal into unsealed rock chamber, disposal into deep geological formation, disposal into salt deposits และวิธีการทิ้งแบบ hydrofracturing เป็นต้น

2. การทิ้งกากแบบทิ้งทะเล (disposal into the sea)

การทิ้งกากแบบนี้อาจกระทำโดยการทิ้งผลิตภัณฑ์กากที่ผนึกสนิทแล้วลงสู่ท้องทะเลโดยตรงหรือโดยวิธีฝังกากใต้ดินใต้ท้องทะเลลึก แต่จะต้องปฏิบัติตามกฎเกณฑ์ข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกลงนานาชาติว่าด้วย การทิ้งกากสารอันตรายลงสู่ท้องทะเล (The London Dumping Convention) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้ยกเลิกการทิ้งกากวิธีนี้แล้ว

3. <u>การทิ้ง/ทำลายกากโดยถาวรวิธีอื่น ๆ</u>

ยังมีวิธีการทำลายกากอีกหลายวิธีที่มีการพิจารณาว่าอาจจะนำมาใช้ปฏิบัติได้ ตัวอย่างเช่นการฝังกากลงในน้ำแข็ง (disposal into ice sheet) การทำลายกากโดยวิธีนิวเคลียร์ (nuclear transmutation) และการทิ้งกากออกไปสู่อวกาศ (disposal into space) เป็นต้น อย่างไรก็ตามเทคนิคการทิ้งกากด้วยวิธีดังกล่าวยังมิได้นำมาใช้ปฏิบัติในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความปลอดภัย

1. หลักปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย

หลักปฏิบัติเพื่อความปลอดภัย อาจแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือการออกแบบโรงไฟฟ้า การก่อสร้าง และการเดินเครื่อง

1.1 การออกแบบโรงไฟฟ้า ได้ใช้หลักพิเศษที่เรียกว่า "defense in depth" อันมีวิธีป้องกันอันตรายหลายชั้น ได้แก่

ก. การป้องกันอุบัติเหตุโดยตรง การคัดเลือกสถานที่ตั้ง การออกแบบการก่อสร้าง การตรวจสอบ การทดสอบเครื่อง การเดินเครื่องตลอดจนการบำรุงรักษาเครื่องต้องเป็นไปตามกฎข้อบังคับตามมาตรฐานที่กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด ซึ่งการดำเนินงานขั้นต่าง ๆ ดังกล่าว จะต้องมีหน่วยตรวจสอบและควบคุมคุณภาพให้ถูกต้องและดีที่สุดอีกหน่วยหนึ่งต่างหาก นอกจากนั้น ยังกำหนดให้มีอุปกรณ์และระบบที่สำคัญสำรองไว้หลายชุด โดยต่างมีอิสระต่อกันและต้องสามารถตรวจสอบหรือทดสอบได้ในระหว่างการใช้งานประจำด้วย

ข.การป้องกันอันตรายไม่ให้เกิดกับผู้ใช้และประชาชน โดยสมมุติให้การป้องกันอุบัติเหตุโดยตรงในชั้นแรกประสบความล้มเหลว จึงได้กำหนดให้มีระบบป้องกันภัยต่าง ๆ ให้สามารถควบคุมเครื่องและระงับภัยที่อาจเกิดขึ้นจากสมมติฐานดังกล่าว ระบบป้องกันภัยต่าง ๆ ที่ใช้ได้แก่ระบบเตือนภัยล่วงหน้าทั้งภายในและภายนอกโรงไฟฟ้า ระบบหยุดเครื่องปฏิกรณ์อัตโนมัติ ระบบลดความดันไอน้ำในเครื่องปฏิกรณ์ ระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน ระบบพลังงานสำรองซึ่งมาจากต่างแหล่งกัน ระบบต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องได้รับการออกแบบและทดสอบอย่างเข้มงวดเช่นเดียวกับระบบต่าง ๆ ในชั้นแรก

ค.ระบบป้องกันภัยและรังสีไม่ให้รั่วไหล ออกนอกอาคารเครื่องปฏิกรณ์ โดยสมมติให้เกิดอุบัติเหตุที่ร้ายแรงที่สุดขึ้น จนระบบป้องกันภัยในชั้นที่หนึ่งและสองล้มเหลว เช่น สมมติว่าท่อส่งน้ำเข้าเครื่องปฏิกรณ์ฉีกขาดโดยกระทันหัน (loss of coolant accident หรือ LOCA) ซึ่งยังไม่เคยปรากฏในประวัติของการอุตสาหกรรมเลย สำหรับการป้องกันภัยชนิดนี้จะใช้ระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน emergency core cooling system (ECCS) ฉีดน้ำที่มีความดันสูงเข้าไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์จนท่วมถึงปากท่อส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้เชื้อเพลิงหลอมละลาย จนมีรังสีรั่วออกนอกเครื่องปฏิกรณ์ได้ นอกจากจะต้องออกแบบระบบป้องกันภัยต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ดังตัวอย่างข้างต้นแล้ว ยังได้ออกแบบให้มีสิ่งกีดขวางเก็บกักรังสีไว้อีกหลายชั้น โดยเฉพาะตัวอาคารบรรจุเครื่องปฏิกรณ์นั้น ใช้คอนกรีตหนาไม่ต่ำกว่า 3 ฟุต ภายในบุด้วยแผ่นเหล็กเหนียวหนา 1/4 นิ้วผ่านการทดสอบมาอย่างดีและระหว่างเดินเครื่องภายในอาคารยังถูกปรับให้มีความกดดันต่ำกว่าภายนอก เพื่อกันมิให้รังสีที่อาจรั่วออกมาหลุดออกสู่ภายนอกได้

อุบัติเหตุอื่น ๆ นอกจาก LOCA ที่สมมุติขึ้นและได้ออกแบบระบบป้องกันไว้ได้แก่แผ่นดินไหวร้ายแรง พายุได้ฝุ่นที่มีความเร็วสูงสุดน้ำท่วมขนาดหนัก อุปกรณ์และระบบควบคุมสำคัญเสียพร้อมกันหลายระบบ ความกดดันของไอน้ำในเครื่องสูงพร้อม ๆ กับระบบเครื่องขัดข้อง เครื่องบินโดยสารบรรทุกเต็มอัตราตกชนอาคาร การก่อวินาศกรรม ฯลฯ

1.2 การก่อสร้าง

หลักปฏิบัติที่ใช้ในการก่อสร้างส่วนใหญ่คล้ายคลึงกับที่ใช้กับโรงไฟฟ้าน้ำมันหรือถ่านหินและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ซึ่งได้ใช้มาเป็นเวลาหลายสิบปีและได้รับการปรับปรุงจนเป็นที่ยอมรับกันในด้านความปลอดภัย ส่วนที่ต่างกันก็คือความรอบคอบและระมัดระวังในการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นมีมากกว่า โดยมีหลักปฏิบัติที่สำคัญในการคัดเลือกวัสดุที่นำมาใช้และการทดสอบเครื่องก่อนใช้งาน

ในด้านการคัดเลือกวัสดุนั้น จะต้องมีการตรวจสอบและทดสอบอย่างเข้มงวดให้เป็นไปตามกฎข้อบังคับและมาตรฐานตามกำหนดไว้ทั้งยังกำหนดให้มีผู้ตรวจสอบความถูกต้องและคุณภาพ รวมทั้งบันทึกรายละเอียดความเป็นมาของชิ้นส่วนต่าง ๆ เก็บเป็นข้อมูล สำหรับการตรวจสอบในอนาคตอีกด้วย

ส่วนการทดสอบเครื่องก่อนใช้งานนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ตอนคือ

ก.ทดสอบอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ โดยลำพัง คือขณะยังไม่เดินเครื่องผลิตพลังงาน เพื่อความแน่ใจในการก่อสร้างและการทำงานของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ว่า ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องตามทำกำหนด และให้ผู้ปฏิบัติงานได้คุ้นเคยกับเครื่องและเรียนรู้วิธีการเดินเครื่องตลอดจน การป้องกันภัยต่าง ๆ ก่อนการใช้งาน

ข.ทดลองเดินเครื่องทุกระบบของโรงไฟฟ้า ที่ระดับกำลังต่าง ๆ จนถึงอัตรากำลังสูงสุดแล้วทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ที่ระดับกำลังต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทดสอบในขณะยังไม่เดินเครื่อง ทำการตรวจวัดรังสีเพื่อให้แน่ใจว่า ไม่มีรังสีออกมาจากแกนเครื่องปฏิกรณ์พร้อมกับทดลองหยุดเครื่องโดยกระทันหัน เพื่อพิสูจน์ระบบหยุดเครื่องอัตโนมัติ การลองเครื่องนี้จะต้องทำซ้ำกันหลาย ๆ หน เมื่อเป็นที่พอใจแล้ว จะต้องเดินเครื่องเต็มอัตรากำลังต่อไปอีกอย่างน้อย 100 ชั่วโมงติดต่อกัน โดยไม่มีอะไรผิดปกติจากที่ออกแบบไว้จึงจะยอมรับให้ใช้งานได้

1.3 การเดินเครื่อง

การเดินเครื่องและการบำรุงรักษาที่ถูกต้องนั้นเป็นเรื่องสำคัญที่สุดในด้านความปลอดภัย จึงได้กำหนดหลักการและวิธีการเดินเครื่องตลอดจนการบำรุงรักษาอย่างเข้มงวด ดังนี้

ก.การคัดเลือกและฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการเดินเครื่องและการบำรุงรักษาเครื่องจะต้องเป็นไปตามกฎเกณฑ์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ซึ่งระบุคุณสมบัติต่าง ๆ เช่นสุขภาพสติสัมปชัญญะ ไหวพริบ พื้นความรู้และประสบการณ์ โดยเฉพาะในสาขาที่จะรับหน้าที่ต่อไป เช่นต้องผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรต่าง ๆ เกี่ยวกับวิชานิวเคลียร์ทั่วไป วิชาที่จะรับหน้าที่โดยเฉพาะ สังเกตการณ์เดินเครื่องหรือบำรุงรักษาเครื่องในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้งานอยู่ฝึกฝนเดินเครื่องจำลอง (Simulation) ซึ่งมีลักษณะและระบบต่าง ๆ เหมือนเครื่องที่จะต้องรับหน้าที่จริง ๆ ผ่านการสอบเพื่อรับใบอนุญาตเดินเครื่อง (Operator License) ซึ่งใบอนุญาตมีอายุใช้งานเพียง 2 ปีเท่านั้น ทั้งยังต้องทำการทดสอบและทดลองเดินเครื่องก่อนใช้งานกับโรงไฟฟ้าที่จะปฏิบัติงาน เพื่อทำความคุ้นเคยกับเครื่องก่อนการใช้งานจริง ๆ

ข.การเดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นถึงแม้จะค่อนข้างง่ายเพราะระบบต่าง ๆ ได้รับการออกแบบอย่างดีและมีระบบอัตโนมัติมากมาย แต่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ ทุกระยะ เช่น การตรวจสอบเครื่องวัดรังสีทั้งภายในและภายนอกโรงไฟฟ้า ทดสอบระบบป้องกันภัยและระบบอื่น ๆ ที่สำคัญ ฝึกซ้อมการหยุดเครื่องกระทันหันตามเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่สมมุติไว้ บันทึกและรายงานในระหว่างเดินเครื่อง ฯลฯ

ค.การบำรุงรักษา ตากปกติโรงไฟฟ้าทุกชนิดจะต้องตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ปีละ 1 เดือน โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก็เช่นเดียวกัน ทั้งนี้ โดยเป็นไปตามแผนการและวิธีการที่กำหนดไว้จากหน่วยควบคุมความปลอดภัยของรัฐทั้งในระหว่างเดินเครื่องยังถูกกำหนดให้ตรวจสอบอุปกรณ์บางอย่างที่สำคัญเป็นประจำเช่น การตรวจสอบสภาพของท่อน้ำด้วยเครื่องอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic) และในการแก้ไขซ่อมแซมนั้น แม้จะเป็นเพียงเล็กน้อยก็ต้องแจ้งให้หน่วยควบคุมความปลอดภัยทราบล่วงหน้า ทั้งยังต้องทำการซ่อมแซมต่อหน้าผู้ควบคุมทุกครั้งอีกด้วย

ง.การรายงานประสบการณ์ของเครื่องโครงไฟฟ้านิวเคลียร์ทุกเครื่อง ต้องทำบันทึกรายงานการเดินเครื่องเสนอหน่วยงานควบคุมความปลอดภัยและต้องรายเหตุการณ์ผิดปกติ หรือเครื่องขัดข้องทันทีที่เกิดเหตุการณ์ขึ้น เพื่อให้หน่วยงานดังกล่าวทำการตรวจสอบวินิจฉัยสาเหตุและผลของความขัดข้องและทำการชี้ขาด ซึ่งอาจต้องลดกำลังผลิตหรือหยุดเครื่องชั่วคราว เพื่อทำการแก้ไขซ่อมแซม

อนึ่ง หลายประเทศได้ตกลงกันว่า รายละเอียดความขัดข้องของเครื่องและผลการวินิจฉัย ตลอดจนวิธีแก้ไขทุกครั้งจะต้องส่งรายงานให้ทราบถึงกัน เพื่อประเทศอื่น ๆ จะได้ระมัดระวัง และหลีกเลี่ยงข้อบกพร่องเช่นเดียวกันดังที่ปรากฏเป็นข่าวในหน้าหนังสือพิมพ์และนิตยสารต่าง ๆ รายงานเกี่ยวกับข้อบกพร่องในการเดินเครื่องอยู่เสมอ ซึ่งที่จริงยังไม่เคยมีเหตุการณ์ถึงขนาดรังสีรั่วออกนอกเครื่องปฏิกรณ์ จนถูกสั่งให้เลิกใช้งานแต่อย่างใด

2. <u>คุณสมบัติของเชื้อเพลิงและเครื่องปฏิกรณ์</u>

2.1 เชื้อเพลิง

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบันใช้ยูเรเนียมเป็นเชื้อเพลิง ธาตุยูเรเนียมที่พบในธรรมชาติประกอบด้วยไอโซโทป 2 ชนิดคือยูเรเนียม 238 (U-238) 99.3% และยูเรเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

235 (U-235) มีอยู่เพียง 0.7% โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้น้ำบริสุทธิ์ธรรมดาระบายความร้อน (Light Water Reactor) จำเป็นต้องเพิ่มความเข้มข้นของยูเรเนียม 235 ขึ้นมาจนถึงประมาณ 3% ส่วนโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ใช้น้ำมวลหนักระบายความร้อน (Heavy Water Reactor) สามารถใช้ยูเรเนียมธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง อย่างไรก็ดี ในขั้นสุดท้ายของขบวนการผลิตเชื้อเพลิงนั้น เชื้อเพลิงนิวเคลียร์จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของยูเรเนียมไดออกไซด์ (UO_2) อัดเป็นเม็ดบรรจุในท่อเซอร์คาลอย (Zircaloy)

เม็ดเชื้อเพลิงทำจากผงยูเรเนียมออกไซด์ โดยนำมาอัดให้เป็นเม็ดรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณครึ่งนิ้ว และสูงประมาณครึ่งนิ้ว แล้วนำไปเผาในบรรยากาศของไฮโดรเจนเพื่อให้ได้ความหนาแน่นสูงและอยู่ในรูปของ Ceramic ซึ่งมีคุณสมบัติไม่แตกกระจายง่าย จากนั้นจึงนำไปแต่งให้ผิวเรียบ และคัดเลือกก่อนที่จะบรรจุไว้ในท่อเชื้อเพลิงต่อไป

เซอร์คาลอยได้รับการคัดเลือกแล้วว่า เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติดีเยี่ยมกล่าวคือ สามารถทนความร้อนสูง มีความเหนียวทนทานต่อความสึกกร่อนและมีคุณสมบัติในการดูดจับนิวตรอนต่ำ ท่อเซอร์คาลอยเหล่านี้ก่อนที่จะบรรจุเม็ดเชื้อเพลิง จะต้องทำความสะอาดอย่างดี และจะต้องผ่านการตรวจสอบขนาด (เส้นผ่าศูนย์กลายของท่อ ความหนาและความตรง) อย่างเข้มงวดที่สุด การบรรจุเม็ดเชื้อเพลิง จะต้องทำในบรรยากาศของก๊าซฮีเลียม ซึ่งเป็นก๊าซเฉื่อยและเป็นตัวนำความร้อนที่ดี เมื่อทำการเชื่อมปิดหัวท้ายแล้วยังต้องผ่านการตรวจสอบด้วยวิธี Non-Destructive Testing อีกครั้งหนึ่งว่า มีรอยร้าวที่ใดหรือไม่ ก่อนที่จะนำไปรวมกันเป็นมัด เพื่อนำไปใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์ต่อไป

เม็ดเชื้อเพลิงดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนที่ดี มีจุดหลอมเหลวสูงถึง 2,800° ซ. (สูงกว่าอุณหภูมิของเครื่องในขณะที่เกิดอุบัติเหตุ) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติพิเศษ กล่าวคือไม่แตกกระจาย สามารถเก็บกักมิให้กากกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นภายในเม็ดเชื้อเพลิงออกมาภายนอกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องปฏิกรณ์

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเชื้อเพลิงเรียกว่า แกนปฏิกรณ์ ส่วนที่เป็นน้ำระบายความร้อน วัสดุป้องกันการแผ่รังสี อุปกรณ์ป้องกันอุบัติเหตุและภัย เครื่องวัดรังสีต่าง ๆ และอุปกรณ์ควบคุมอื่น ๆ

แกนเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นเชื้อเพลิง และเป็นแหล่งเกิดของกัมมันตภาพรังสีบรรจุอยู่ในภาชนทนความดันสูง ซึ่งมีความหนาประมาณ 10 นิ้ว จึงจำเป็นต้องมีวัสดุป้องกันการแผ่รังสี วัสดุที่ใช้ได้ผลและไม่แพงนักได้แก่ กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก ดังนั้น จึงได้ใช้กำแพงดังกล่าวหนาประมาณ 10 ฟุต ล้อมรอบตัวเครื่องปฏิกรณ์ไว้ สำหรับเครื่องป้องกันอุบัติเหตุและป้องกันภัย ซึ่งมีอยู่หลายระบบจะต้องมีสำรองไว้อย่างน้อยระบบละ 2-3 ชุด และได้แยกติดตั้งไว้รอบเครื่องปฏิกรณ์ ส่วนเครื่องวัดรังสี ซึ่งมีทั้งเครื่องวัดรังสีที่ใช้เพื่อควบคุมเครื่อง เครื่องวัดรังสีเพื่อแจ้งการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เครื่องวัดรังสีที่ติดตั้งไว้ในบริเวณโรงไฟฟ้าเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องทราบ และเครื่องวัดรังสีเตือนภัย เป็นต้น สำหรับอุปกรณ์ควบคุมเครื่องและอุปกรณ์ช่วยนั้นมีสำรองไว้หลายระบบ สามารถที่จะดับเครื่องปฏิกรณ์ได้โดยฉับพลันหากเกิดเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น แผ่นดินสั่นสะเทือนถึงระดับหนึ่ง มีวัตถุภายนอกมาชนอาคารของเครื่องปฏิกรณ์ รังสีรั่วและเหตุฉุกเฉินอื่น ๆ ส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะอยู่ภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor Containment) ที่ออกแบบเป็นพิเศษทั้งหมด อาคารนี้ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหนาประมาณ 3 ฟุต ตัวอาคารจะต้องสามารถทนต่อเหตุการณ์ร้ายแรง เช่น พายุไต้ฝุ่น แผ่นดินไหว และน้ำท่วมที่ร้ายแรงที่สุดที่เคยปรากฏใกล้เคียงบริเวณโรงไฟฟ้า ในกรณีที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์สร้างอยู่บริเวณที่ใกล้สนามบิน หรืออยู่บนเส้นทางของการบิน จะต้องออกแบบให้ทนทานต่อแรงกระทบของเครื่องบินโดยสารขนาดเต็มอัตราตกลงมาชนด้วย และจะต้องสามารถรับแรงระเบิด จากกการก่อวินาศกรรมภายนอกได้พอสมควร ตลอดจนสามารถทนต่อแรงซึ่งเกิดจากอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่สมมติขึ้นภายในตัวอาคาร เช่น ท่อน้ำหลักแตกจะทำให้น้ำระบายความร้อนของเชื้อเพลิงไหลทะลักออกมา กลายเป็นไอซึ่งมีความกดดันต่อฝาผนังของตัวอาคาร เป็นต้น ตัวอาคารภายในบุด้วยเหล็กหนาประมาณ 1/4 นิ้ว โดยรอบ ข้อต่อของแผ่นเหล็กจะต้องผ่านการตรวจสอบอย่างละเอียดเพื่อป้องกันการรั่ว และโดยปกติในระหว่างการเดินเครื่องบรรยากาศภายในอาคารจะถูกทำให้มีความกดดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกว่าบรรยากาศภายนอกเล็กน้อย ดังนั้นหากตัวอาคารมีการรั่วเกิดขึ้น ก็จะเป็นการรั่วจากภายนอกเข้าสู่ภายใน แทนที่จะรั่วออกสู่ภายนอก เป็นป้องกันมิให้สารใด ๆ ในตัวอาคารเล็ดลอดออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

3. รังสีและกากกัมมันตรังสี

3.1 รังสี

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ปล่อยสารที่เป็นพิษ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์และขี้เถ้าออกมา แต่ในขบวนการผลิตความร้อนได้ผลิตสารรังสีด้วย สารรังสีที่เป็นอนุภาคชิ้นโตจะถูกกักอยู่ในเม็ดเชื้อเพลิง ส่วนสารที่เป็นก๊าซจุถูกเก็บอยู่ในท่อเชื้อเพลิง สารทั้งสองชนิดนี้จะไม่ไหลออกมาปะปนกับน้ำหรือไหลมายังอุปกรณ์อื่น นอกจากท่อเชื้อเพลิงรั่วซึ่งมีโอกาสน้อยมาก เพราะเม็ดเชื้อเพลิง ท่อเชื้อเพลิงได้รับการออกแบบและปรับปรุงจะเป็นที่ไว้วางใจว่าไม่รั่ว สำหรับรังสีที่เป็นอนุภาคเล็ก ๆ เช่น เบต้า นิวตรอนและรังสีที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น รังสีแกมมา และรังสีเอ็กส์ จะผ่านทะลุท่อเชื้อเพลิงออกมาในน้ำ ซึ่งจะถูกน้ำและวัสดุในแกนเครื่องปฏิกรณ์ดูดไว้ ดังนั้นรังสีที่เกิดขึ้นจากขบวนการผลิตความร้อน จะสูญหายไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ทั้งหมด นอกจากรังสีแกมมาที่มีพลังงานสูงมาก อาจผ่านทะลุภาชนะบรรจุแกนเครื่องปฏิกรณ์ แต่ก็ไม่สามารถผ่านทะลุกำแพงป้องกันรังสีไปได้

ตามปกติน้ำที่ใช้ระบายความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งไหลผ่านเชื้อเพลิงและอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นน้ำกลั่นบริสุทธิมาก แต่อาจมีสารเจือปนอยู่เล็กน้อย เช่น สารที่เกิดจากการสึกกร่อนของโลหะในระบบท่อน้ำ สารเหล่านี้เมื่อรับรังสีเข้ามาจะกลายเป็นสารรังสีชั่วคราว สารรังสีจึงถูกพาไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งระบบน้ำไปถึง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องขจัดสารรังสีชั่วคราวเหล่านี้ในน้ำ ส่วนอากาศภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์จุถูกสูบผ่านเครื่องกรองขจัดรังสีและตรวจสอบระดับรังสีก่อนที่จะปล่อยออกภายนอกได้ ระดับรังสีที่ยอมให้ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมกำหนดโดยหน่วยงานควบคุมความปลอดภัยของรัฐ เช่น สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ปัจจุบันในสหรัฐอเมริกาได้กำหนดระดับรังสี ที่ยอมปล่อยออกมาได้ไว้ว่า ต้องไม่เกิน 5 มิลลิเรมต่อปี หรือน้อยกว่าร้อยละ 3 ของรังสีในธรรมชาติ ส่วนประเทศต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในยุโรป และทบวงพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ได้กำหนดระดับรังสีดังกล่าวสูงถึง 500 มิลลิเรม หรือประมาณ 3 เท่าของรังสีในธรรมชาติ ปริมาณและที่มาของรังสีจากธรรมชาติที่เราได้รับต่อปีแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8

ปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับจากแหล่งต่าง ๆ ใน 1 ปี

จากนอกโลก (รังสีคอสมิก)	50 มิลลิเรม
พื้นดิน	10 มิลลิเรม
วัสดุก่อสร้าง	35 มิลลิเรม
อาหาร	25 มิลลิเรม
อากาศ	5 มิลลิเรม
โทรทัศน์สี	2 มิลลิเรม
การแพทย์	35 มิลลิเรม
รวม	162 มิลลิเรม

3.2 กากรังสี

กากรังสีอาจแบ่งตามระดับความแรงของรังสีหรือตามที่ทำการกำจัดกากได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีระดับรังสีแรง หรือที่เกิดขึ้นในเชื้อเพลิงซึ่งเมื่อถูกใช้หมดอายุแล้วยังมีธาตุที่เป็นเชื้อเพลิงเหลืออยู่มากมายในขณะเดียวกันมีกากรังสีเกิดขึ้นผสมอยู่ด้วย จำเป็นต้องส่งไปยังโรงงานสกัดเชื้อเพลิง เพื่อขจัดกากและนำแร่ที่เป็นเชื้อเพลิงกลับไปใช้ใหม่ ชนิดที่มีระดับรังสีไม่แรง หรือชนิดที่เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นต้องทำการกำจัดกากในโรงไฟฟ้า ลักษณะ ปริมาณและความแรงของกากเหล่านี้มีรายละเอียดดังนี้

ก.การรังสีที่เกิดในเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว ในขบวนการผลิตพลังงานความร้อน เชื้อเพลิงที่เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์จะแตกตัวเป็นธาตุใหม่ซึ่งเป็นธาตุรังสี ธาตุรังสีเหล่านี้จะถูกกักไว้ในเม็ดเชื้อเพลิง ผสมกับเชื้อเพลิงที่ยังไม่ถูกใช้ไป เมื่อถึงปลายอายุของเชื้อเพลิงประมาณ 3 ปี เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วจุถูกนำออกจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ ในชั้นแรกจะนำไปแช่น้ำไว้ในบ่อเชื้อเพลิง เป็นเวลาประมาณ 4 เดือน เพื่อให้ระดับรังสีและความร้อนลดลงจนถึงระดับที่ขนย้ายได้ จากนั้นจุถูกนำใส่ถังบรรจุเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วซึ่งได้ออกแบบ

ป้องกันรังสีและมีความแข็งแรงเป็นพิเศษ เพื่อขนย้ายไปยังโรงงานสกัดเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว เพื่อทำการสกัดกาก กากที่ได้จากเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วเป็นกากซึ่งเป็นธาตุรังสีจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ มีระดับรังสีแรง ส่วนมากเป็นของแข็ง ครึ่งชีวิตการแผ่รังสีจากไม่กี่วันจนถึง 30 ปี ยกเว้นธาตุคาร์บอน 14 ซึ่งมีครึ่งชีวิตการแผ่รังสีถึง 5,770 ปี แต่เกิดขึ้นน้อยมาก และบังเอิญธาตุคาร์บอน 14 นี้ แผ่รังสีเบต้าเท่านั้น จึงง่ายแก่การเก็บและป้องกันมาก ปริมาณกากรังสีจากเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว น้อยกว่าที่คิดกันทั่วไปมากกล่าวคือ โรงไฟฟ้าขนาด 600 เมกกะวัตต์ ในปีหนึ่ง ๆ จะมีกากดังกล่าวเพียงประมาณ 690 กิโลกรัมเท่านั้นหรือประมาณร้อยละ 3.6 ของเชื้อเพลิงที่ใช้ใน 1 ปี หากนำกากเหล่านี้บรรจุในถังเก็บกากรังสี ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 ฟุต ยาว 10 ฟุต ในปีหนึ่งจะใช้ถังเพียง 6 ถังเท่านั้น และตลอดอายุของโรงไฟฟ้าจะมีกากรังสี 180 ถัง ซึ่งถ้านำไปเก็บยังที่เก็บกากรังสีจะใช้เนื้อที่ขนาดกว้างเพียง 3 เมตร ยาว 7 เมตร และสูง 4 เมตรเท่านั้น กากอีกชนิดหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นกับเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วคือท่อบรรจุเชื้อเพลิง สปริงที่ยึดท่อเชื้อเพลิง เมื่อโลหะเหล่านี้รับรังสีเป็นเวลานานจะกลายเป็นสารรังสีชั่วคราว แต่ระดับรังสีต่ำและมีครึ่งชีวิตสั้น การเก็บไม่มีปัญหาและสามารถนำไปถลุงเพื่อนำมาใช้ใหม่ได้

ข.กากรังสีที่เกิดในโรงไฟฟ้า กากรังสีที่เกิดในโรงไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง ก๊าซรังสีได้แก่ก๊าซที่เกดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น Xenon,Krypton และ Iodine เป็นต้น ก๊าซเหล่านี้ตามปกติจุถูกเก็บกักไว้ในท่อบรรจุเชื้อเพลิง แต่บางครั้งการรั่วของท่อเชื้อเพลิงทำให้ก๊าซเหล่านี้หลุดออกมาในระบบน้ำของเครื่องปฏิกรณ์ได้ ก๊าซอีก 2 ชนิดได้แก่ ออกซิเจนและไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของน้ำบางโมเลกุล เมื่อรับรังสีเป็นเวลานาน ก๊าซจากระบบน้ำในเครื่องปฏิกรณ์เหล่านี้เป็นก๊าซรังสีมีปริมาณน้อย แต่จำเป็นต้องนำไปเข้าระบบการขจัดรังสีก๊าซก่อนปล่อยออกนอกโรงไฟฟ้า ยังมีก๊าซอีกจำพวกหนึ่ง คือ อากาศในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งจำเป็นต้องมีการถ่ายเท เพื่อผู้ปฏิบัติงานจะได้เข้าไปปฏิบัติงานได้ อากาศเหล่านี้มีระดับรังสีต่ำมาก แหล่งที่มาของสารรังสีที่เป็นของเหลวได้แก่ น้ำทิ้ง จากท่อน้ำและอุปกรณ์ของระบบน้ำในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งมีสารรังสีเกิดจากการสึกกร่อนของโลหะผสมอยู่ สารเหล่านี้อาจมีระดับรังสีแรงพอควร จำเป็นต้องนำไปผ่านระบบขจัดรังสีของเหลว สารรังสีที่เป็นของเหลวอีกจำพวกหนึ่งซึ่งมีระดับรังสีต่ำมากก ๆ หรืออาจไม่มีเลย คือน้ำจากห้องซักชุดแต่งกายของผู้ปฏิบัติงานและน้ำทิ้งในห้องน้ำต่าง ๆ น้ำเหล่านี้เมื่อตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่แน่ใจแล้วปล่อยทิ้งได้ สารรังสีที่เป็นของแข็งนั้นมาจากไส้กรองทั้งของแข็งและของเหลว เนื่องจากการกรองเอาของแข็งออกเป็นวิธีการขจัดรังสีที่ได้ผลดีที่สุด กล่าวคือ อากาศและของเหลวบริสุทธิปราศจากอนุภาคของแข็งใด ๆ เจือปนจะไม่มีรังสี ดังนั้น ไส้กรองต่าง ๆ จึงมีสารรังสีจับอยู่ กากรังสีที่เป็นของแข็งเหล่านี้มาจากสารเคมี (Resin) ของเครื่องกำจัดอนุภาคโลหะในน้ำ (Demineraliser) จากสารเคมีและเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ชำรุดจากชุดแต่งกายของผู้ปฏิบัติงานเมื่อไม่ใช้แล้ว เป็นต้น

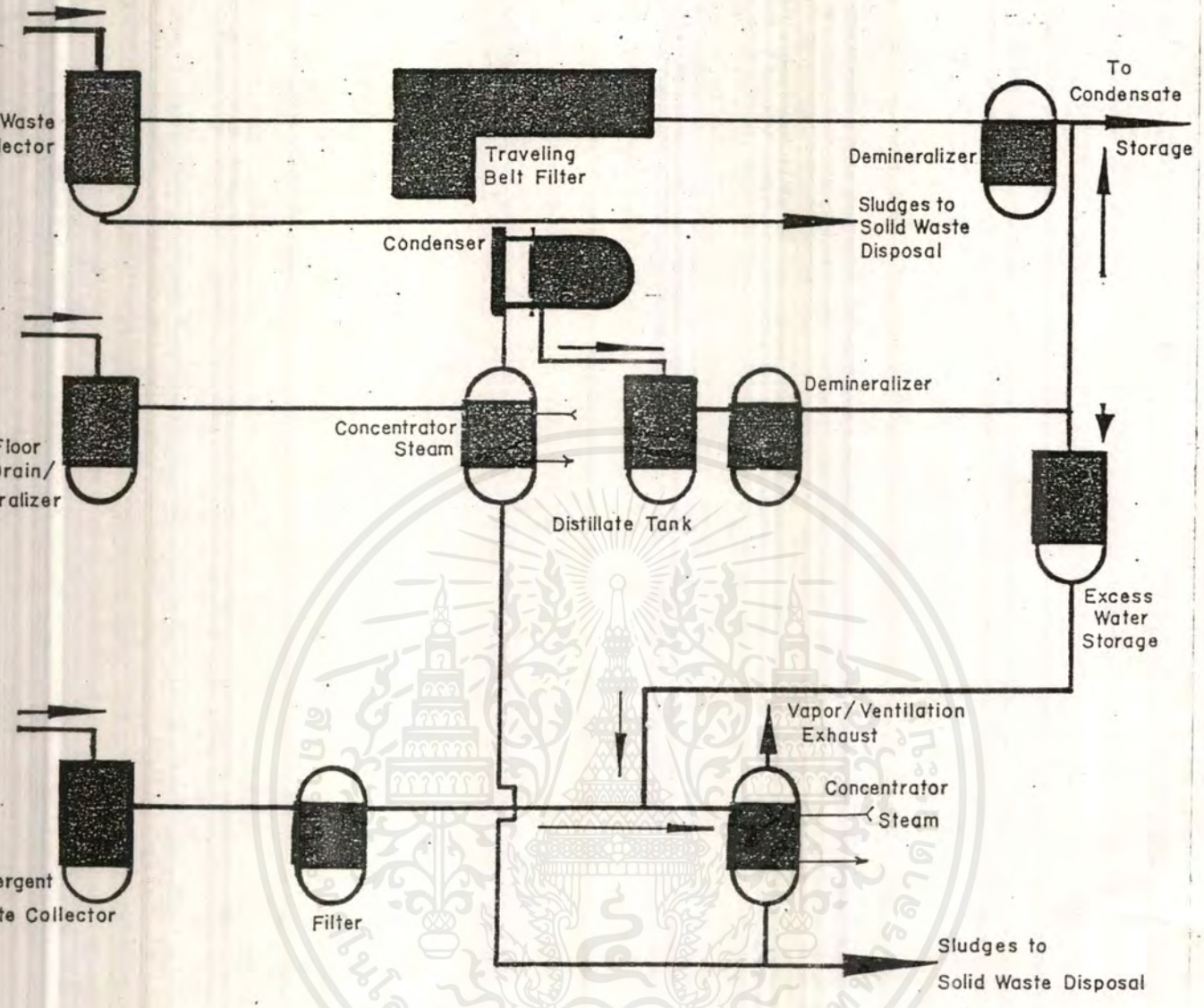
กากรังสีที่เกิดในโรงไฟฟ้าที่เป็นก๊าซมีระดับรังสีแรงจะถูกเก็บไว้ในถังก๊าซจนกว่าระดับรังสีจะลดลง ส่วนที่มีรังสีไม่แรงเมื่อผ่านระบบขจัดรังสีก๊าซและตรวจสอบจนเป็นที่แน่ใจแล้ว จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศภายนอก สำหรับของเหลวเมื่อผ่านระบบขจัดกากรังสีแล้ว จะถูกนำกลับไปใช้ในเครื่องปฏิกรณ์ใหม่โดยไม่จำเป็นต้องปล่อยทิ้ง ดังนั้น กากรังสีที่จำเป็นต้องกำจัดจึงมีเพียงของแข็งเท่านั้น เมื่อผ่านขบวนการที่ทำให้สารเหล่านี้มีปริมาตรเล็กลง เช่น เผาให้เหลือขี้เถ้า เป็นต้น แล้วจึงนำไปผสมกับซีเมนต์หรือยางมะตอยบรรจุถังเก็บกากรังสีแล้วจึงนำไปเก็บในที่เก็บกากรังสีจากประสบการณ์ในปีหนึ่งจะมีกากรังสีดังกล่าวบรรจุถังขนาด 55 แกลลอนจำนวน 200 ถัง เมื่อคำนวณตามอายุของโรงไฟฟ้าคือ 30 ปี จำมีกากรังสีบรรจุถังประมาณ 6,000 ถัง ใช้เนื้อที่สำหรับเก็บกากเหล่านี้ประมาณกว้าง 15 เมตร ยาว 30 เมตร สูง 5 เมตรเท่านั้น

3.3 ระบบขจัดกาก

ระบบขจัดกากในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มี 3 ระบบดังนี้

ก.ระบบขจัดกากที่เป็นของเหลว อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนตามชนิดของของเหลวที่ต้องผ่านระบบขจัดกากตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.57 แสดงระบบกำจัดกากที่เป็นของเหลว

ของเหลวที่มีคุณภาพดี ได้แก่ น้ำจากระบบระบายความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ และน้ำจากสระเก็บเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วจะผ่านมาเก็บที่ถัง Waste Collector แล้วจึงผ่านเครื่องกรองและเครื่องแยกสารที่ละลายอยู่ในน้ำ ด้วยวิธีการทางเคมี (Demineralizer) ตามลำดับ ก่อนที่จะส่งไปเก็บเพื่อนำไปใช้ในเครื่องปฏิกรณ์ใหม่นั้น จะต้องผ่านเครื่องตรวจสอบรังสีและความเป็นตัวนำ (Conductivity) เสียก่อน หากพบว่ามีระดับรังสีหรือความเป็นตัวนำสูงแสดงว่าน้ำยังไม่บริสุทธิเพียงพอ ระบบอัตโนมัติจะส่งน้ำดังกล่าวไปที่ถัง Floor Drain-Neutralizer เพื่อทำการขจัดกากส่วนที่เหลืออยู่ต่อไป

ส่วนที่สอง ได้แก่ น้ำจากการทำความสะอาด ของเหลวที่รั่วซึมจากอุปกรณ์บางชนิดและสารเคมีจากห้องทดลอง ซึ่งโดยปกติไม่มีรังสีหรือมีรังสีระดับต่ำ แต่อาจจะมีน้ำ

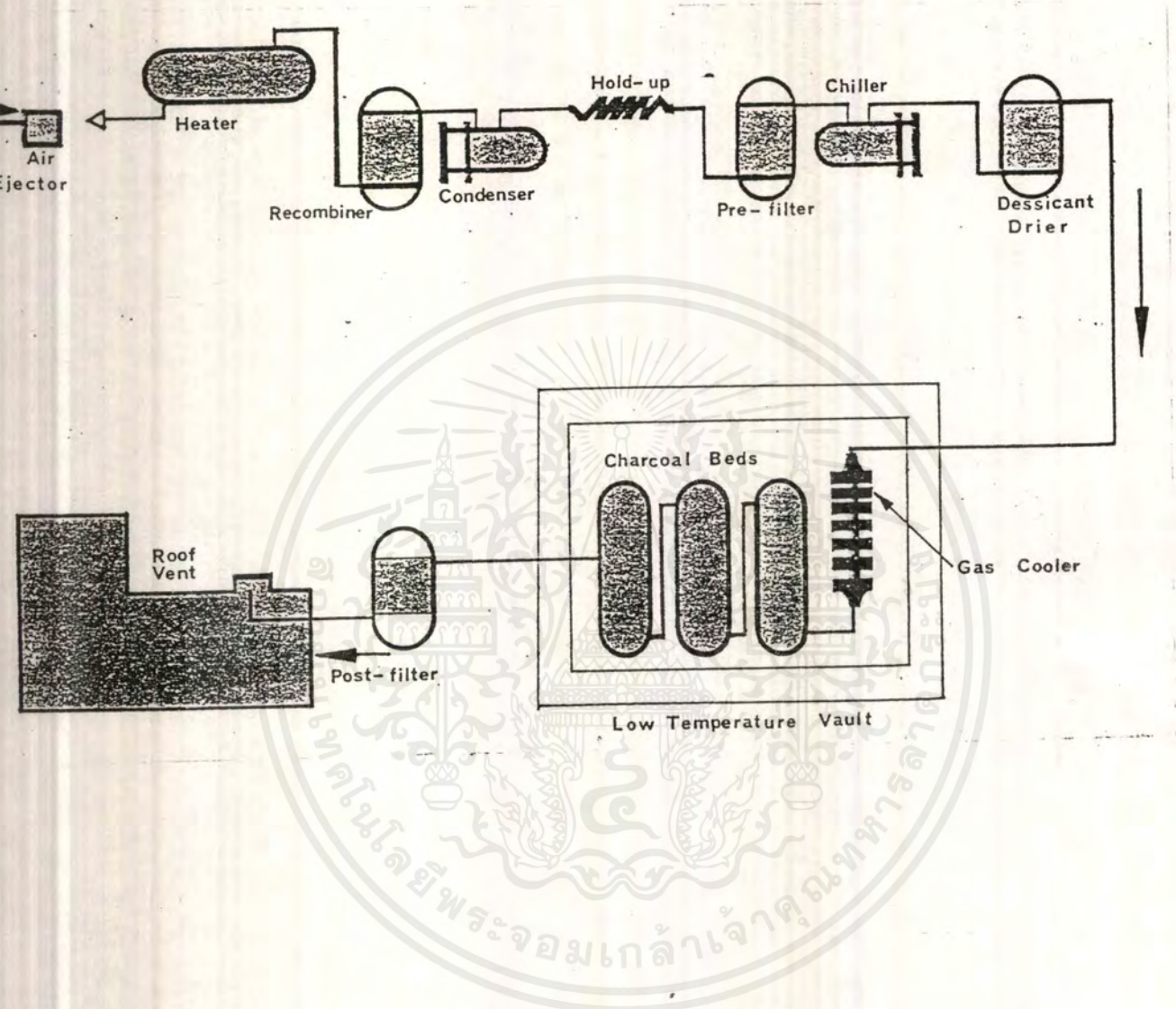
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มันผสมอยู่จึงต้องมีอุปกรณ์สำหรับกำจัดน้ำมันก่อนที่จะผ่านมาที่ถัง Floor Drain-Neutralizer เครื่องกลั่นและเครื่องแยกสารที่ละลายอยู่ด้วยวิธีการทางเคมี หากน้ำที่ผ่านระบบกำจัดกากแล้วนี้มีความบริสุทธิเพียงพอก็จะนำไปใช้ใหม่ และหากพบว่าไม่บริสุทธิเท่าที่ควรก็จะส่งไปเก็บที่ถัง เพื่อส่งต่อไปยังหม้อต้มและปล่อยออกสู่ภายนอกในสภาพของไอน้ำ

ส่วนที่สาม ได้แก่ น้ำที่มีผงซักฟอกผสมอยู่ ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการซักฟอกเสื้อผ้าของผู้ปฏิบัติงานในโรงไฟฟ้านั้น จะถูกส่งผ่านเครื่องกรองเครื่องตรวจสอบรังสีก่อนที่จะส่งไปยังหม้อต้ม เพื่อปล่อยออกภายนอกในสภาพของไอน้ำเช่นเดียวกัน

ข.ระบบขจัดกากที่เป็นก๊าซ ก๊าซที่แยกออกมาจากน้ำระบายความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ จะผ่านเข้าเครื่อง Recombiner เพื่อทำให้ก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจนรวมตัวกันเป็นไอน้ำ ซึ่งมีผลให้ปริมาตรของก๊าซลดลง และป้องกันอันตรายที่ก๊าซไฮโดรเจนจะเกิดการระเบิด ก๊าซจะถูกทำให้เย็นเพื่อแยกเอาน้ำออกมา ส่วนที่เป็นก๊าซซึ่งประกอบด้วย Krypton,Xenon และอากาศจะผ่านต่อไปยังท่อไส้ไก่ เพื่อประวิงเวลาให้สารรังสีส่วนใหญ่ ซึ่งมีอายุสั้นสลายตัวหรือเปลี่ยนไปเป็นสารรังสีที่เป็นของแข็ง แล้วจึงผ่านเครื่องกรองเพื่อสกัดออก ก๊าซที่เหลือจะถูกทำให้เย็นจนถึงประมาณ 0° F. เพื่อส่งเข้า Charcoal Beds ซึ่งทำหน้าที่กักก๊าซ Krypton และ Xenon ได้ดีในอุณหภูมิต่ำ ๆ หลังจากนี้ก็จะผ่านเครื่องกรองอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะปล่อยออกสู่ภายนอก ดังรูป

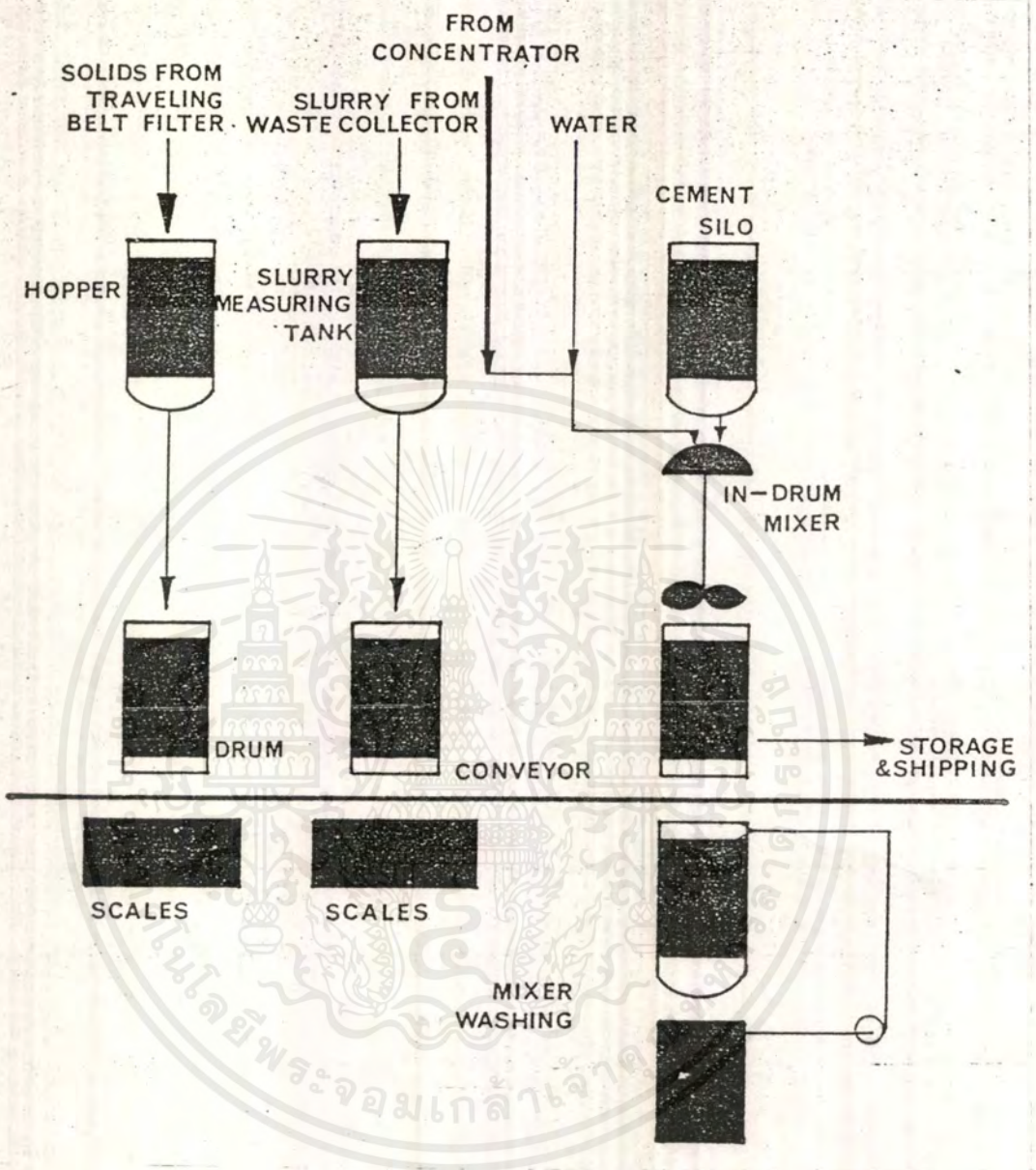
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 แสดงระบบกำจัดกากที่เป็นก๊าซ

ค.ระบบขจัดกากที่เป็นของแข็ง กากของแข็งที่เหลืออยู่จากขบวนการต่าง ๆ ในระบบกำจัดกากในข้อ ก. และ ข. เช่นไส้กรอง สารเคมีจำพวก Resin และของแข็งที่เหลือจากการกลั่น จะถูกส่งไปบรรจุในถังเหล็กซึ่งออกแบบไว้โดยเฉพาะ ให้มีความหนาเพียงพอที่จะป้องกันรังสีมิให้ผ่านออกมาภายนอก ถังเหล็กนี้จะเครื่องผ่านมาทางสายพาน เพื่อจะรับการกของแข็งซีเมนต์และน้ำ ในอัตราที่พอเหมาะมาผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วปิดฝาให้สนิท เพื่อนำไปเก็บไว้ในอาคารเก็บกากของโรงไฟฟ้า หรือสถานที่ที่เตรียมไว้สำหรับเก็บกากต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 แสดงระบบกำจัดกากที่เป็นของแข็ง

4. <u>ชนิดและขอบเขตของอุบัติเหตุ</u>

คนส่วนใหญ่มักจะคิดว่าโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เกิดอุบัติเหตอยู่เสมอ ๆ หรือจะต้องเกิดอุบัติเหตุและนำภัยพิบัติมาสู่ประชาชนอย่างแน่นอนและเรื่องนี้เป็นเรื่องที่ยากต่อการชี้แจงความจริงให้กระจ่างเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากนับตั้งแต่มีการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการผลิตไฟฟ้า ยังไม่เคยปรากฏว่ามีอุบัติเหตุเกิดขึ้นและไม่เคยทำความเสียหาย หรือนำภัยอันตรายมาสู่ประชาชนแต่ประการใดจึงไม่สามารถยกตัวอย่าง ให้เห็นถึงของเขตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

อุบัติเหตุและภัยที่เกิดขึ้นได้ สิ่งที่ช่วยให้เข้าใจและไว้วางใจได้ในขณะนี้ คือ ประสบการณ์และผลของการวิเคราะห์ศึกษาความปลอดภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ซึ่งพอจะยืนยันได้ว่าความคิดข้างต้นไม่เป็นความจริง และไม่น่าเป็นไปได้ จริงอยู่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์อาจเกิดอุบัติเหตุได้เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ แต่เนื่องจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ได้ออกแบบป้องกันอุบัติเหตุชนิดต่าง ๆ ที่คาดว่าอาจเกิดขึ้น รวมทั้งอุบัติเหตุที่ร้ายแรงที่สุดไว้เป็นอย่างดี ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุจึงมีน้อยมากหรือไม่น่าจะเกิดขึ้นได้สำหรับอุบัติเหตุที่ได้ยินและอ่านพบในหน้าหนังสือพิมพ์นั้น อาจแบ่งออกเป็น 3 จำพวกด้วยกัน คือ จำพวกแรกเกิดขึ้นกับระบบปฏิกรณ์ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ซึ่งที่จริงเป็นเพียงข้อขัดข้องเล็ก ๆ น้อย ๆ ซึ่งไม่เคยทำความเสียหายแต่ประการใด จำพวกที่สองเกิดขึ้นกับระบบกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับสารรังสี แต่เป็นข้อขัดข้องและอุบัติเหตุซึ่งบางครั้งทำความเสียหายกับอุปกรณ์และทำให้ผู้ปฏิบัติงานบาดเจ็บ หรือเสียชีวิต เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้าน้ำมันหรือถ่านหิน ส่วนจำพวกที่สามเกิดขึ้นกับเครื่องทดลองหรือห้องทดลองและโครงงานผลิตอาวุธนิวเคลียร์ซึ่งไม่ใช่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ในบางครั้งเป็นเหตุให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับบาดเจ็บถึงกับเสียชีวิตก็มีและบางครั้งทำให้สารรังสีรั่วออกมาภายนอกโรงงาน แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าไม่เคยมีประชาชนได้รับความเสียหายแต่อย่างไร ดังนั้นจากประสบการณ์จึงเชื่อได้ว่าโอกาสที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะนำความเสียหายโดยเฉพาะอย่างยิ่งภัยพิบัติมาสู่ประชาชนนั้นมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่คาดว่าอาจเกิดขึ้นกับระบบของเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งรวมทั้งอุบัติเหตุที่ร้ายแรงที่สุดพอสรุปได้ดังนี้

4.1 อุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเครื่องปฏิกรณ์

อุบัติเหตุซึ่งเป็นที่หวาดกลัวกันมากที่สุดและเกิดจากความเข้าใจผิดได้แก่ เครื่องปฏิกรณ์จะระเบิดเช่นเดียวกับระเบิดปรมาณู ที่จริงแล้วยูเรเนียมที่ใช้ทำลูกระเบิดปรมาณูจะต้องมีความเข้มข้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 96 แร่เหล่านี้จะต้องอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมและไม่มีวัสดุอื่น ๆ มากั้นหรือปะปนอยู่ด้วย แต่สำหรับเชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์นั้นประกอบด้วย แร่ยูเรเนียมที่มีความเข้มข้นเพียงร้อยละ 3 เท่านั้น แร่เหล่านี้ถูกทำให้เป็นเม็ดบรรจุในท่อเชื้อเพลิง กระจายออกไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งไม่อยู่ในลักษณะที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีวัสดุอื่น ๆ เช่น น้ำ โลหะทำท่อ แท่งควบคุม และสารเคมีควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ ในแกนเครื่องปฏิกรณ์อยู่มากมาย วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อต้านปฏิกิริยานิวเคลียร์ทั้งสิ้น ดังนั้น จึงเป็นไปไม่ได้อย่างแน่นอน ที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะระเบิดเช่นเดียวกับลูกระเบิดปรมาณู ถึงแม้ว่าจะเกิดอุบัติเหตุใด ๆ หรือจงใจให้ระเบิดก็ตาม

อุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ หมายถึง เหตุการณ์ใด ๆ ที่ทำให้การปฏิบัติงานของเครื่องปฏิกรณ์ฟิดปกติไปจากที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอาจจำเป็นต้องดับเครื่องโดยกระทันหัน หรือทำให้แท่งเชื้อเพลิงเกิดรอยแตกและรังสีออกมาในระบบน้ำของเครื่องปฏิกรณ์ เหตุการณ์ดังกล่าวอาจแบ่งออกได้ดังนี้

ก.เหตุการณ์ที่ไม่ร้ายแรงและไม่ควรทำความเสียหาย กับแท่งเชื้อเพลิง ได้แก่ อัตราการไหลหรือความดันของน้ำในระบบเครื่องปฏิกรณ์ลดลงต่ำกว่าปกติ การชักแท่งควบคุมออกด้วยอัตราความเร็วสูงกว่าที่ควร แท่งความปลอดภัยที่ใช้ดับเครื่องปฏิกรณ์ในกรณีฉุกเฉินแท่งใดแท่งหนึ่งเกิดขัดข้อง การสูญเสียระบบไฟฟ้าของระบบภายนอกและการเพิ่มอัตราการผลิตไฟฟ้าเร็วเกินไป เหตุการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ทำให้จำเป็นต้องดับเครื่องปฏิกรณ์ทันที ซึ่งตามปกติจะไม่ทำให้แท่งเชื้อเพลิงชำรุดหรือทำให้สารรังสีรั่วออกมากได้ภายหลังเหตุการณเช่นนี้ เครื่องปฏิกรณ์จะอยู่ในวิสัยที่จะเดินเครื่องได้ใหม่ภายหลังจากที่ได้รับการตรวจสอบ และแก้ไขให้เข้าสู่สภาพปกติแล้ว

ข.เหตุการณ์ที่ค่อนข้างจะร้ายแรง อาจทำความเสียหายกับแท่งเชื้อเพลิงและทำให้สารรังสีรั่วออกมาในระบบน้ำของเครื่องปฏิกรณ์ได้ เหตุการณ์เหล่านี้ได้แก่ระบบท่อน้ำของเครื่องปฏิกรณ์แตกหรือรั่ว ทำให้สูญเสียน้ำระบายความร้อนของแท่งเชื้อเพลิง การบรรจุแท่งเชื้อเพลิงผิดตำแหน่ง การสูญเสียไฟฟ้าทั้งหมดภายในโรงไฟฟ้าหรือเครื่องสูบน้ำและอุปกรณ์ต่าง ๆ หยุดชะงับชั่วคราว เป็นต้น เหตุการณ์ดังกล่าวอาจทำให้แท่งเชื้อเพลิงชำรุด สารรังสีรั่วออกมาในระบบน้ำของเครื่องปฏิกรณ์แต่ไม่ออกมาสู่ภายนอกโรงไฟฟ้า เครื่องปฏิกรณ์จะดับทันทีด้วยตัวของมันเองในทันที่ที่เกิดเหตุการณ์เช่นนี้ ระบบขจัดรังสีในน้ำและภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์จะเริ่มทำงานเต็มที่ทันที ภายหลังเหตุการณ์อาจต้องใช้เวลาแก้ไขและตรวจสอบเครื่องเป็นเวลานานจนกว่าจะเป็นที่แน่ใจว่า เหตุขัดข้องทั้งหมดได้ถูกขจัดไปเรียบร้อยแล้ว การแก้ไขและเดินเครื่องใหม่จะได้รับอนุมัติจากหน่วยงานควบคุมความปลอดภัยของรัฐด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.เหตุการณ์ร้ายแรงที่สุดมีโอกาสที่จะทำให้แท่งเชื้อเพลิงชำรุดมากอาจถึงกับละลายได้ สารรังสีจะรั่วออกมาในระบบน้ำของเครื่องปฏิกรณ์และภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ แต่ไม่ควรรั่วออกไปสู่ภายนอกโรงไฟฟ้า เหตุการณ์เช่นนี้ได้แก่ ท่อน้ำหลักเข้าเครื่องปฏิกรณ์หลุดออกจากกัน (Double ended quilotine break) น้ำระบายความร้อนของเชื้อเพลิงทะลักออกจากเครื่องทำให้อุณหภูมิของเชื้อเพลิงสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนแท่งเชื้อเพลิงละลาย ถึงแม้ว่าเครื่องปฏิกรณ์จะดับลงทันทีก็ตาม เหตุการณ์เช่นนี้ถือว่า เป็นเหตุการณ์ร้ายแรงที่สุดที่อาจจะเกิดขึ้นได้กับเครื่องปฏิกรณ์ความจริงเหตุการณ์นี้ไม่น่าจะเกิดขึ้นได้ เพราะการที่ท่อน้ำหลักซึ่งหนาประมาณ 4 นิ้ว หลุดออกจากกันเป็นเรื่องที่ไม่เคยปรากฏในวงการอุตสาหกรรมและผู้เชี่ยวชาญต่าง ๆ ทั่วโลกก็ยอมรับว่าไม่น่าจะเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตามในการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์จะต้องสมมติว่า เหตุการณ์เช่นนี้อาจเกิดขึ้นได้และจำเป็นต้องมีระบบป้องกันอุบัติเหตุ เช่นระบบส่งน้ำเข้าไประบายความร้อนของเชื้อเพลิงซึ่งได้สำรองไว้หลายระบบและเชื้อเพลิงจะต้องได้รับการออกแบบโดยที่อุณหภูมิสูงสุดจะไม่เกินจุดหลอมตัว ดังนั้น เหตุการณ์ที่คาดว่าเชื้อเพลิงจะละลายจึงไม่น่าจะเกิดขึ้น สำหรับความเสียหายนั้น ในระยะแรกของการใช้พลังงานนิวเคลียร์เนื่องจากมีประสบการณ์และข้อมูลที่ถูกต้องน้อยมาก จึงได้แต่สมมติว่าจะทำความเสียหายมาก แต่ต่อมาเมื่อมีประสบการณ์และข้อมูลดีขึ้น ผู้เชี่ยวชาญที่มีชื่อในสหรัฐฯ กลุ่มหนึ่งได้ทำการวิเคราะห์ประมาณความเสียหายและโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ ผลปรากฏว่าน้อยกว่าที่คาดกันไว้ในครั้งก่อน ๆ มาก และโอกาสที่จะอาจจะเกิดขึ้นนั้นเป็นเพียง 1 ใน 5 แสนล้านเท่านั้น

4.2 อุบัติเหตุเกี่ยวกับเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว

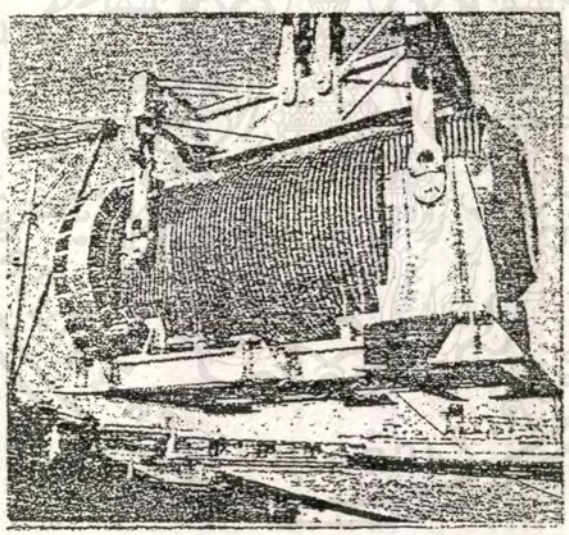
เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วมีสารรังสีและระดับรังสีแรงมาก ดังนั้นจึงเป็นที่หวาดกลัวกันว่า หากเกิดอุบัติเหตุขึ้นจะมีสารรังสีรั่วออกมา ที่จริงเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วเมื่อถูกนำออกจากเครื่องปฏิกรณ์จะต้องนำไปแช่น้ำในบ่อเก็บเชื้อเพลิงเป็นเวลาอย่างน้อย 4 เดือน เพื่อให้ระดับรังสีและความร้อนลดลงจนถึงระดับที่สามารถขนย้ายได้โดยไม่ยุ่งยากนัก เชื้อเพลิงเหล่านี้จะถูกบรรจุในถังเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วในบ่อ ถังเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วเป็นถังพิเศษซึ่งได้รับการออกแบบไว้อย่างดี ให้สามารถป้องกันรังสี ประกอบด้วยแผ่นเหล็กสลับโลหะดูดกันรังสี มีความหนารวม 13 นิ้วถึง 17 นิ้ว และมีน้ำหนักตั้งแต่ 25 ตันถึง 100 ตัน บรรจุเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วตั้งแต่ 1 มัด ถึง 7 หรือ 8 มัด เพื่อป้องกันอุบัติเหตุใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างการขนส่ง ถังเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วทุกใบจะต้องได้รับการออกแบบและทดสอบให้สามารถทนต่อสภาพการณ์ต่าง ๆ ดังนี้

ก.ทิ้งจากที่สูง 30 ฟุต ลงบนพื้นแข็ง
ข.ทิ้งจากที่สูง 40 นิ้ว ลงบนตอเหล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 8 นิ้ว
ค.เผาไฟที่อุณหภูมิ 1,475°F เป็นเวลา 30 นาที
ง.แช่ในน้ำลึก 3 ฟุต เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

ภายหลังจากการทดสอบแล้ว จะต้องไม่มีรอยร้าวและไม่รั่ว จึงจะได้รับอนุมัติให้ใช้ได้ ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุในการขนส่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วจึงน้อยมาก ถังบรรจุเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วสำหรับการขนส่งดังแสดงในรูป



รูปที่ 4.60 แสดงถังบรรจุเชื้อเพลิงใช้แล้ว

4.3 การก่อวินาศกรรม

การก่อวินาศกรรมโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นเรื่องที่กระทำได้ยากและจะไม่ได้ผลตามที่คาดไว้อย่างแน่นอน ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีหน่วยและระบบควบคุมความปลอดภัยที่ดียิ่ง เช่น การเข้าออกบริเวณโรงไฟฟ้าจำเป็นต้องมีใบอนุญาตที่ผ่านการตรวจสอบอย่างถูกต้อง ผู้เข้าออกจะต้องได้รับการตรวจค้นอาวุธหรือวัสดุอันตรายต่าง ๆ อย่างเคร่งครัด มีระบบโทรทัศน์วงจรปิดภายในให้ยามติดตามคนแปลกหน้า เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบการทำงานป้องกันภัยของโรงไฟฟ้า มีความสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซับซ้อนมาก มี Interlock และ Fail Safe Systems สำหรับระบบสำคัญ ๆ หลายระบบ ซึ่งเป็นการยากที่ผู้ก่อวินาศกรรมธรรมดา ๆ จะเข้าใจและทำความเสียหายได้ แม้กระทั่งผู้ปฏิบัติงานซึ่งได้รับการฝึกฝนอย่างดี ก็ยังไม่สามารถทราบรายละเอียดของทุกระบบ คงทราบเฉพาะส่วนที่ตนทำหน้าที่อยู่เท่านั้น ดังนั้นผู้ที่จะก่อวินาศกรรมให้ได้ผลจำเป็นต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญและรู้จักโรงไฟฟ้าชนิดนี้เป็นอย่างดีและต้องอาศัยบุคคลหลาย ๆ คน จึงจะสำเร็จ ส่วนผลที่ได้จากการก่อวินาศกรรมก็ไม่อาจทำให้รังสีรั่วออกมาภายนอกอาคารได้เนื่องจากการที่จะทำให้อาคารเสียหายนั้นจำเป็นต้องใช้แรงระเบิดมหาศาลซึ่งยากแก่การดำเนินการ ดังนั้นผลที่คาดว่าจะได้จากการก่อวินาศกรรมอย่างมากก็เพียงทำให้อุปกรณ์บางส่วนเสียหาย จำเป็นต้องทำการซ่อมแซมหรือเปลี่ยนแปลง ซึ่งหมายถึงทำให้เสียทรัพย์สินเงินทองและก่อให้เกิดอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้าเท่านั้น จะไม่นำความเสียหายมาสู่ประชาชนอย่างแน่นอน อนึ่ง สาเหตุของการก่อวินาศกรรมโดยทั่วไป ก็เพื่อทำความเสียหายแก่สังคม หรือก่อความไม่สงบขึ้น ดังนั้นการก่อวินาศกรรมสิ่งอื่น ๆ อาทิ สายส่งไฟฟ้า ท่อส่งน้ำประปา การคมนาคม เป็นต้น จะสามารถบรรลุผลสำเร็จเช่นเดียวกัน และยังทำได้ง่ายกว่าโดยไม่ต้องเสี่ยงต่อการถูกจับกุมได้ง่ายอีกด้วย

4.4 การถูกโจมตีในภาวะสงคราม

การถูกโจมตีดังกล่าว จะเกิดขึ้นต่อเมื่ออยู่ในภาวะสงครามในกรณีเช่นนี้เครื่องจะดับทันที และการโจมตีจะไม่ได้รับผลมากเนื่องจากความแข็งแรงของอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ กำแพงกั้นรังสีซึ่งหนา 10 ฟุต และภาชนะทนความดันซึ่งทำด้วยเหล็กกล้าหนา 10 นิ้ว ยากที่จะทำให้สิ่งป้องกันเหล่านี้แตกได้ ดังนั้น ถึงจะมีรังสีรั่วออกมาภายนอก ก็เป็นเพียงส่วนน้อยเท่านั้น จึงทำความเสียหายต่อประชาชนน้อยมาก เมื่อเทียบกับการโจมตีสิ่งอื่น หรือโจมตีประชาชนโดยตรง สำหรับการโจมตีทางน้ำโดยตอร์ปิโดนั้น เนื่องจากอุปกรณ์ริมน้ำทั้งหมด ไม่ได้เกี่ยวข้องกับสารรังสีโดยตรง หากถูกโจมตีอุปกรณ์ส่วนนี้อาจจะชำรุดได้ แต่จะไม่ทำความเสียหายกับเครื่องปฏิกรณ์อย่างแน่นอน

5. <u>ระบบป้องกันอุบัติเหตุและป้องกันภัย</u>

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้รับการออกแบบ โดยยึดหลักความปลอดภัยมากที่สุด ในการออกแบบระบบป้องกันอุบัติเหตุและป้องกันภัย ได้สมมติอุบัติเหตุซึ่งคาดว่าอาจจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้น แล้วออกแบบระบบป้องกันอุบัติเหตุนั้น ๆ และระบบป้องกันภัยขึ้นมาจากประสบการณ์และการทดลอง เป็นเวลากว่า 20 ปีมาแล้ว ปรากฏว่าระบบต่าง ๆ เหล่านี้เป็นที่ยอมรับกันทั่วไปว่ามีความเชื่อถือได้ และเพียงพอที่จะป้องกันอุบัติเหตุและภัยต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งเป็นที่เชื่อได้ว่า อุบัติเหตุและภัยร้ายแรงใด ๆ นอกเหนือจากที่ได้พิจารณาแล้วนั้น ไม่อาจเกิดขึ้นได้ตามที่มีการวิพากษ์วิจารณ์กัน ระบบป้องกันอุบัติเหตุและป้องกันภัยของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีมากมายหลายระบบ ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

5.1 ระบบสำรอง (Redundancy)

ทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดจากอุปกรณ์ขัดข้อง โดยการเผื่ออุปกรณ์สำรองไว้อีก 1 หรือ 2 ชุดเพื่อทำงานแทนเมื่อได้รับสัญญาณการขัดข้องของอุปกรณ์หลัก เช่น ในวงจรของน้ำที่ใช้ในระบบความปลอดภัย จะมีปั๊มซึ่งทำหน้าที่เหมือนกันหลายชุดเตรียมไว้เพื่อทำหน้าที่แทนในกรณีที่ชุดแรกเกิดการขัดข้อง ปั๊มเหล่านี้ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าจากหลายแหล่งซึ่งไม่เกี่ยวเนื่องกัน เพื่อป้องกันเหตุขัดข้องที่เกิดจากต้นเหตุเดียวกัน (Common Mode Failure)

6.2 ระบบ Interlock

ทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากความผิดพลาดของผู้ปฏิบัติงาน โดยมีระบบควบคุมที่จะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนของความปลอดภัยจึงจะทำงานได้ เช่นการดึงแท่งควบคุมขึ้นจากแกนเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเดินเครื่องจะทำไม่ได้ หากระบบระบายความร้อนไม่ทำงานหรือระบบความปลอดภัยต่าง ๆ ยังไม่พร้อมที่จะป้องกันอุบัติเหตุ

6.3 ระบบ Fail Safe

ทำหน้าที่ป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากความผิดพลาดทั้งหมด โดยมีหลักการอยู่ว่าหากเกิดความผิดพลาดเนื่องจากเหตุหนึ่งเหตุใดก็ตาม เครื่องปฏิกรณ์จะต้องอยู่ในสภาวะที่ปลอดภัยเสมอ เช่น ในกรณีที่กระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในโรงไฟฟ้าเกิดขาดหายไปเนื่องจากเหตุใดก็ตาม แท่งควบคุมทั้งหมดจะเคลื่อนเข้าไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อดับปฏิกิริยานิวเคลียร์โดยฉับพลัน และอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ใช้ระบบป้องกันรังสีหลายชั้น (Multiple Barriers) โดยที่รังสีส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเชื้อเพลิง ดังนั้น การออกแบบป้องกันรังสี เพื่อไม่ให้ผ่านออกมานอกโรงไฟฟ้าและนำอันตรายมาสู่ประชาชน จึงเริ่มการป้องกันรังสีจากเชื้อเพลิงเป็นอันดับแรก โดยการทำเชื้อเพลิงและเลือกวัสดุที่มีสมบัติดูดหรือสะท้อนรังสีที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

ก.เม็ดเชื้อเพลิง เป็นโลหะผสมยูเรเนียมไดออกไซด์ (UO_2) ซึ่งมีจุดหลอมตัวสูงถึง 2,800° เซนติเกรด และถูกทำให้อยู่ในรูปเซอรามิคซึ่งมีคุณสมบัติไม่แตกกระจาย จึงสามารถเก็บกักสารรังสีที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ดีมาก

ข.ท่อเชื้อเพลิง ทำด้วยโลหะผสมของเซอร์โคเนียม หรือเซอร์คาลอย ซึ่งเป็นโลหะเหนียวทนรังสีและทนความร้อนได้ดี ท่อเชื้อเพลิงนี้ทำหน้าที่เก็บกักสารรังสีที่เป็นก๊าซและสารที่หลุดลอดออกมาจากเม็ดเชื้อเพลิงจากประสบการณ์พบว่า ตลอดอายุการใช้งานของท่อเชื้อเพลิงเหล่านี้คือประมาณ 3 ปี อาจมีรอยรั่วขนาดรูเข็มอยู่น้อยกว่าร้อยละ0.5 ของท่อทั้งหมด ซึ่งทำให้สารรังสีลอดออกมาผสมอยู่ในระบบน้ำของเครื่องปฏิกรณ์เพียงเล็กน้อย

ค.ภาชนะทนความดัน บรรจุแกนเครื่องปฏิกรณ์และต่อกับท่อน้ำหลัก ภาชนะและท่อดังกล่าวทำด้วยเหล็กกล้า มีความหนาประมาณ 9 นิ้ว และ 4 นิ้ว ตามลำดับ ในระหว่างเดินเครื่องน้ำในระบบเครื่องปฏิกรณ์ส่วนหนึ่งจะถูกส่งผ่านระบบกำจัดกากรังสีเพื่อให้สารรังสีในน้ำอยู่ในระดับต่ำตลอดเวลา

ง.กำแพงคอนกรีตกั้นรังสี ซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 7 ถึง 10 ฟุต จะทำหน้าที่ป้องกันรังสีแกมมาผ่านออกนอกเครื่องปฏิกรณ์ จากการคำนวณกำแพงคอนกรีตหนาขนาดนี้สามารถดูดรังสีแกมมาได้ทั้งหมด

จ.อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กหนาประมาณ 3 ฟุต ภายในบุด้วยแผ่นเหล็กหนา 1/4 นิ้ว โดยรอบในระหว่างเดินเครื่องภายในอาคารทำให้มีความกดดันต่ำกว่าบรรยากาศภายนอกเล็กน้อย เพื่อว่าหากมีรอยรั่วเกิดขึ้นที่แผ่นเหล็ก ก็จะเป็นการรั่วจากภายนอกเข้าสู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.เขตปลอดประชาชนตามกฎเกณฑ์ของความปลอดภัย โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะต้องมีอาณาเขตกว้างขวางพอสมควร สงวนไว้เป็นเขตปลอดประชากร หากเกิดมีสารรังสีรั่วออกจากอาคารในกรณีใด ๆ ก็ตาม ก็จะตกอยู่ภายในเขตนี้โดยไม่เป็นอันตรายต่อประชาชน

5.5 ระบบเตือนภัย

ประกอบด้วยเครื่องวัดรังสีและเครื่องส่งสัญญาณเตือนภัย ซึ่งติดตั้งไว้ตามจุดสำคัญต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกโรงไฟฟ้า หากบริเวณใดบริเวณหนึ่งมีรังสีสูงผิดปกติ ระบบเตือนภัยนี้จะส่งสัญญาณเตือนให้ทราบทันที ทั้งบริเวณรังสีสูงและที่ห้องควบคุม

5.6 ระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน (Emergency Core Cooling System หรือ ECCS)

ในบรรดาอุบัติเหตุต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ อุบัติเหตุสูญเสียน้ำระบายความร้อน (Loss of Coolant Accident หรือ LOCA) นับเป็นอุบัติเหตุที่ร้ายแรงที่สุด เพราะอาจทำให้เกิดการหลอมละลายของเชื้อเพลิงได้ ซึ่งจะทำให้สารรังสีที่ถูกเก็บกักอยู่ในเม็ดเชื้อเพลิงหลุดออกมา ความร้อนที่ผลิตขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์ประมาณร้อยละ 93 เกิดจากปฏิกิริยาฟิชชัน (Fission Reactor) นั้นสามารถดับได้ทันทีที่แท่งควบคุมเคลื่อนเข้าไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ แต่ยังมีความร้อนอีกประมาณร้อยละ 7 ที่เกิดจากการสลายตัวของสารรังสี ซึ่งไม่สามารถหยุดได้ในทันที ฉะนั้น จึงต้องมีระบบระบายความร้อนจากแกนเครื่องปฏิกรณ์ภายหลังหยุดเครื่องปฏิกรณ์แล้ว เพื่อป้องกันแท่งเชื้อเพลิงหลอมละลาย ระบบดังกล่าว มี 2 ระดับด้วยกัน คือ ระบบปกติ ซึ่งใช้ทุกครั้งที่หยุดเดินเครื่อง และระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน ซึ่งใช้ในกรณีเกิดอุบัติเหตุการสูญเสียน้ำในระบบเครื่องปฏิกรณ์

หน้าที่หลักของระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน คือ ส่งน้ำเข้าไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์เพื่อระบายความร้อนในกรณีที่ท่อน้ำหลักแตก ทำให้น้ำรั่วออกจากระบบไม่รอยแตกนั้นจะเล็กหรือใหญ่ก็ตาม ระบบระบายความร้อนฉุกเฉินประกอบด้วยระบบย่อยหลายระบบ ทำงานอิสระโดยไม่ขึ้นต่อกันในกรณีที่ระบบใดระบบหนึ่งเกิดขัดข้อง ก็ยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีน้ำเพียงพอที่จะทำหน้าที่ระบายความร้อนต่อไปได้ แม้ว่ารายละเอียดในการออกแบบระบบต่าง ๆ ของระบบระบายความร้อนฉุกเฉินของแต่ละโรงไฟฟ้าจะแตกต่างกันออกไป แต่ก็มีหลักการทำงานและออกแบบคล้ายกัน

ระบบย่อยระบบแรงเรียกว่า (Accumulator Injection System) ประกอบด้วยถังขนดใหญ่หลายถัง บรรจุน้ำบอเรต (Borated Water) ภายใต้ความกดดันของก๊าซไนโตรเจนประมาณ 200 ถึง 650 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในกรณีที่ท่อน้ำหลักแตกขาดหลุดจากกัน หรือมีรอยแตกใหญ่จะทำให้ความดันในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงอย่างฉับพลัน จนกรทั่งต่ำกว่าความดันของก๊าซในถังน้ำบอเรต ก็จะไหลพุ่งผ่านแผ่นโลหะกั้นเข้าไปในแกนเครื่องปฏิกรณ์ทันที ด้วยความแตกต่างของความดันนี้ เพื่อทำหน้าที่ระบายความร้อนและดับปฏิกิริยาฟิชชันลง ถึงแม้ว่าแท่งควบคุมเกิดขัดข้องในเวลาเดียวกันก็ตาม การทำงานของระบบดังกล่าวนี้เป็นไปโดยอัตโนมัติ ไม่ต้องอาศัยปั๊มหรือพลังงานจากแหล่งอื่นเลย

นอกจากนี้ยังมีระบบความดันต่ำ (Low Pressure System) และระบบความดันสูง (High Pressure System) ในระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน ระบบความดันต่ำจะทำหน้าที่ระบายความร้อนในกรณีที่ความดันในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากท่อน้ำหลักแตกขาดหลุดจากกัน หรือมีรอยแตกใหญ่ ระบบนี้เป็นระบบสำรองของระบบที่กล่าวมาข้างต้นและเป็นระบบที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนต่อเนื่องไป หลังจากที่การทำงานของ Accumulator Injection System ได้สิ้นสุดลง จนกว่าเหตุการณ์เข้าสู่สภาพปกติ โดยอาศัยน้ำจากบ่อเชื้อเพลิงและแหล่งน้ำสำรองจากส่วนอื่น ส่วนระบบความดันสูง จะทำหน้าที่ระบายความร้อนในกรณีที่มีรอยแตกขนาดเล็ก และเครื่องปฏิกรณ์ยังคงมีความดันสูง ระบบทั้งสองนี้จะต้องอาศัยปั๊มซึ่งจะทำงานเมื่อได้รับสัญญาณความดันในระบบระบายความร้อนต่ำ หรือระดับน้ำในเครื่องปฏิกรณ์ลดลง

ระบบระบายความร้อนฉุกเฉินนี้ ได้รับการวิพากษ์วิจารณ์อย่างกว้างขวาง เพราะเคยมีข่าวว่าการทดลองระบบดังกล่าว โดยใช้หุ่นจำลองครึ่งสเกลที่ห้องทดลองรัฐไอดาโฮของสหรัฐ ในปี พ.ศ. 2513 ประสบความล้มเหลวกล่าวคือ เมื่อท่อน้ำหลักแตก น้ำที่ใช้ระบายความร้อนจะพุ่งออกในอัตราที่เร็วเกินไป จนระบบระบายความร้อนไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเข้าไประบายความร้อนในแกนปฏิกรณ์ได้อย่างเพียงพอ ความจริงในการทดลองครั้งนั้น มีวัตถุประสงค์ที่จะหาข้อมูลทางไฮโดรลิคของน้ำและไอน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบต่อไป หุ่นจำลองของภาชนะทานความดันของปฏิกรณ์ที่ใช้ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 นิ้ว มีท่อน้ำเข้าและออกเพียงชุดเดียวเท่านั้น หมายความว่า มิได้จำลองระบบระบายความร้อนฉุกเฉินทั้งหมด ภาชนะทานความดันของปฏิกรณ์ที่ใช้งานในปัจจุบันขนาดเล็กที่สุด มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 ฟุตมีท่อน้ำหลักเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 1/2 ฟุต เข้าและออกจากถังปฏิกรณ์ 2 ชุด ทุก ๆ ท่อจะอยู่สูงกว่าระดับแกนเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อป้องกันมิให้น้ำที่ส่งเข้าไปไหลออกมาทางรอยแตกก่อนที่จะถึงแกนเครื่องปฏิกรณ์ ด้วยเหตุนี้คณะกรรมาธิการพลังงานปรมาณูแห่งสหรัฐฯ จึงได้กำหนดข้อบังคับ สำหรับการออกแบบเฉพาะการขึ้น (Interim Criteria) และเปิดโอกาสให้ผู้เชี่ยวชาญทั้งฝ่ายคัดค้านและฝ่ายสนับสนุนการใช้พลังงานนิวเคลียร์ อภิปรายออกความเห็นและดัดแปลงข้อบังคับให้เป็นข้อบังคับขั้นสุดท้าย (Final Criteria) เป็นเวลา 23 เดือน ก่อนทำการตัดสิน ซึ่งผลปรากฏว่า 44 กลุ่มใน 46 กลุ่ม ซึ่งรวมทั้งฝ่ายค้านมากมายได้ออกเสียงสนับสนุนข้อบังคับเฉพาะกาล เพราะต่างเห็นพ้องกันว่าข้อบังคับดังกล่าวจะให้ความปลอดภัยได้อย่างเพียงพอ รายละเอียดข้อบังคับมีดังนี้

ก.อุณหภูมิที่ท่อเชื้อเพลิงจะไม่สูงจนถึงจุดหลอมตัว
ข.ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะกับน้ำ จะต้องให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด
ค.แกนเครื่องปฏิกรณ์ จะต้องอยู่ในลักษณะที่ระบายความร้อนได้อยู่เสมอ
ง.จะต้องสามารถระบายความร้อนได้นานเท่าที่ต้องการ

สำหรับเครื่องที่สร้างเสร็จแล้วคณะกรรมาธิการได้ให้ลดกำลังผลิตลง เพื่อให้เป็นไปตามข้อบังคับนี้และในขณะเดียวกันได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการทดลองใหม่ ดังนั้น ในปี พ.ศ. 2516 ณ ห้องทดลองเดียวกันนี้ ได้มีการทดลองการทำงานของระบบระบายความร้อนฉุกเฉินนี้อีก โดยใช้หุ่นจำลองขนาด 1 1/2 ของครึ่งสเกล โดยให้มีท่อน้ำเข้าและออกเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 1 ชุด เป็น 2 ชุด ผลปรากฏว่า สามารถทำงานได้ตามที่คาดไว้ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์และจากการทดลองครั้งหลังสุด เมื่อเดือน มิถุนายน 2519 ที่ผ่านมานี้ปรากฏว่าได้ผลดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากอุบัติเหตุที่ทำให้ท่อน้ำหลักแตกขาดหลุดจากกันอย่างฉับพลัน ยังไม่เคยเกิดขึ้นในอุตสาหกรรมทั่วไป และโดยเฉพาะในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ อุบัติเหตุเช่นนี้มีโอกาสที่จะเกิดขึ้นน้อยมากจากการวิเคราะห์ (โดยใช้ข้อมูลของอุตสาหกรรมประเภทอื่นที่ใช้ท่อความดันสูงเช่นเดียวกัน) ประมาณได้ว่า เพียง 1 ใน 10,000 เท่านั้น ดังนั้นจึงไม่มีโอกาสที่จะเห็นระบบนี้ทำงานอย่างจริงจัง ทำให้มีผู้วิจารณ์กันมากว่า ระบบดังกล่าวจะสามารถทำงานได้หรือไม่ ทั้ง ๆ ที่ตามปกติ ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะต้องมีการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ ในแต่ละส่วนของระบบระบายความร้อนฉุกเฉินเป็นประจำ แต่การทดลองขนาดเต็มสเกล ยังไม่เคยกระทำมาก่อนเพราะจะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก อย่างไรก็ตาม ในขณะนี้สำนักงานบริหารการวิจัยและพัฒนาพลังงานแห่งสหรัฐอเมริกา (US ERDA) ได้ทำการวิจัยและทดลองระบบนี้ โดยใช้ท่อทำความร้อนด้วยไฟฟ้าแทนท่อเชื้อเพลิงจริง ๆ

ปัจจุบันระบบระบายความร้อนฉุกเฉิน เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่าให้ความปลอดภัยได้เพียงพอ การวิเคราะห์และทดสอบที่ยังต้องดำเนินการต่อไปเป็นการยืนยันข้อเท็จจริงนี้ และเพื่อปรับปรุงระบบต่าง ๆ เหล่านี้ให้ลูกค้าตามหลักเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การศึกษาด้านการจัดการและการบริหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การศึกษาด้านการบริหาร

1.ทฤษฎีการบริหารและการจัดองค์การ

1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบริหารและการจัดองค์กร

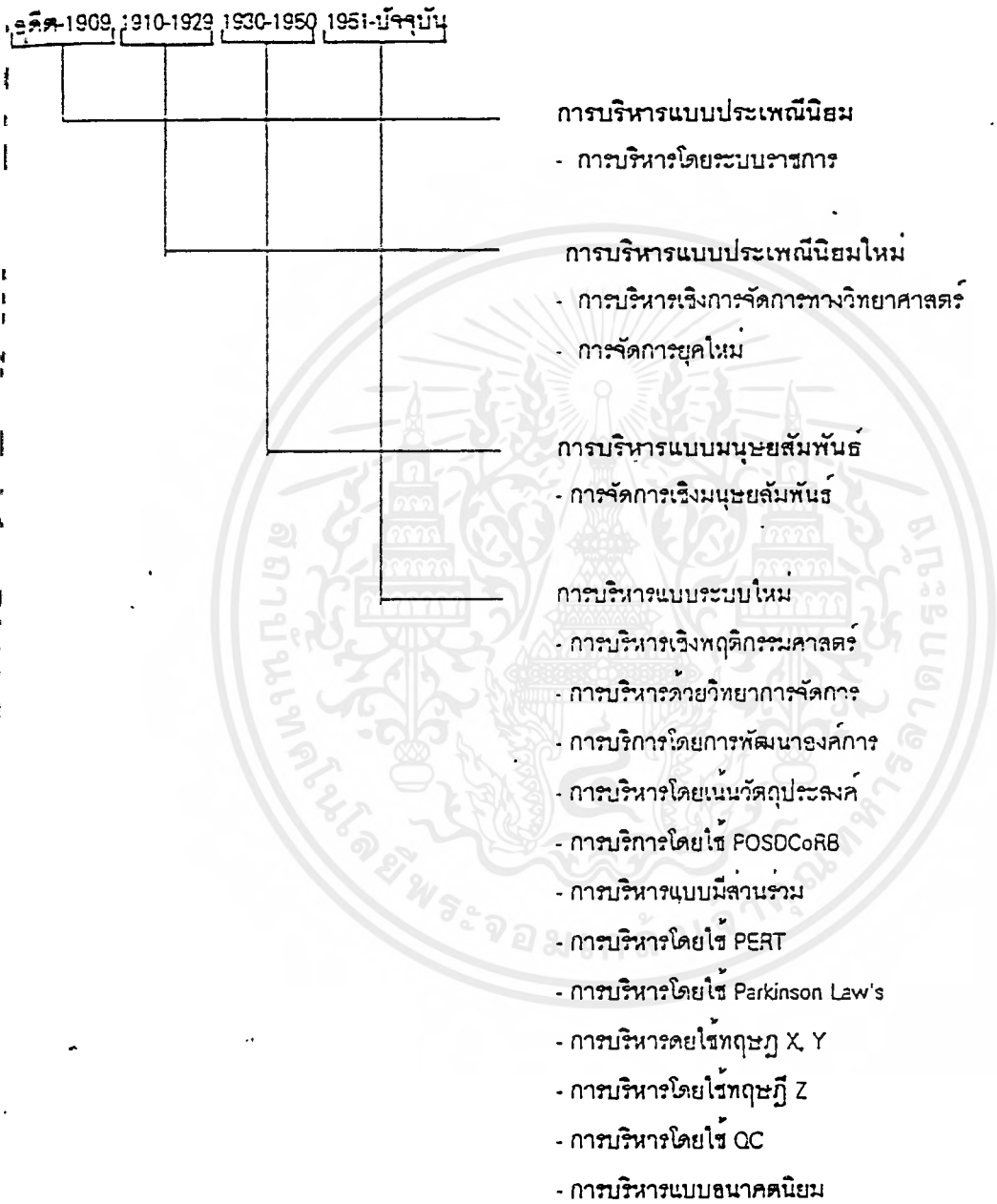
การบริหารเป็นกิจกรรมที่บุคคลดำเนินการร่วมกับผู้อื่นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้ การบริหารใช้ในกิจการของรัฐบาล แต่การจัดการใช้ในกิจการของประชาชน การบริหารเป็นได้ทั้งศาสตร์และศิลป การบริหารกับการเมืองเป็นของคู่กันและมีความสัมพันธ์ต่อกัน การบริหารราชการแตกต่างจากการบริหารธุรกิจ พัฒนาการของการบริหารในต่างประเทศและในประเทศมีลักษณะคล้ายกันคือ จะเริ่มจากการบริหารหรือการปกครองแบบทหารใช้คำสั่งเด็ดขาด จัดองค์กรแบบปีรามิด ต่อมารูปแบบการบริหารเปลี่ยนมาเป็นแบบประชาธิปไตย มีการถ่วงดุลย์อำนาจระหว่างฝ่ายการเมืองกับฝ่ายบริหาร มีการพัฒนาการบริหารเป็นแบบระบบสำนักงานหรือระบบราชการ ในองค์กรธุรกิจมีการพัฒนาการบริหารโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ถือว่าคนงานเป็นเสมือนเครื่องจักร ทำงานคิดค่าจ้างเป็นรายชิ้นต่อมาได้นำหลักมนุษยสัมพันธ์มาปรับปรุงการบริหาร ปรากฏว่าได้ผลดี แต่กระนั้นก็ตามยังมีปัญหานักบริหารจึงได้นำการบริหารระบบใหม่มาใช้ ได้แก่การบริหารแบบพฤติกรรมศาสตร์ หลักการวิทยาการจัดการ การบริหารโดยวัตถุประสงค์พอส์ดคอบ การบริหารแบบมีส่วนร่วม การพัฒนาองค์การ คิวซี ทฤษฎี x,yและz ตลอดจนการใช้แนวความคิดในการบริหารแบบอนาคตนิยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 5.1 สรุปพัฒนาการการบริหารจากอดีตถึงปัจจุบัน

แบบของการบริหาร	ค.ศ.	หลักการบริหาร	ผู้นำในการบริหาร
1. ยุคแรก : การบริหารแบบประเพณีนิยม (Classical)	จนถึง-1939	สั่งการ	โทมัส ฮอบ จอห์น ล็อค วูดโรว์ วิลสัน แมค วีเบอร์ เฟรดเดอริค เทย์เลอร์ เฮนรี่ แกนท์ แฮริงตัน เอ็มเมอร์สัน เอลตัน เมโย ฟริตซ์ เบอร์เกอร์ แมรี่ พ่อลเลต เชสเตอร์ ไอ.บาร์นาร์ด เฮอร์เบิร์ต เอ.ไซมอน อมิไอย เอตซิโอนี ปีเตอร์ เอฟ.ดรักเกอร์ เดวิล ลิเลียร์ท ลูเธอร์ กูลิค นอร์ทคอท พาร์คินสัน ดักลาส แมคเกรเกอร์ วิลเลี่ยม โอชิ
2. ยุคสอง : การบริหารแบบประเพณีนิยมใหม่ (Neo-classical)	1909-1929	การจัดการทางวิทยาศาสตร์	
3. ยุคสาม : การบริหารแบบมนุษยสัมพันธ์ (Humanistic)	1930-1950	มนุษยสัมพันธ์	
4. ยุคปัจจุบัน : การบริหารระบบใหม่- (Modern System)	1951-ปัจจุบัน	ผสมผสานหลักการทั้งสามเข้ากับ สิ่งแวดล้อม เทคโนโลยี และนวัตกรรม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-1 สรุปพัฒนาการการบริหารจากอดีต-ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2แนวคิดเกี่ยวกับองค์กร

องค์การ หมายถึงการที่บุคคลร่วมกันจัดกิจกรรมขึ้นในนามของหน่วยงาน เพื่อดำเนินการให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้น ซึ่งเป็นการสอดคล้องกับหลักสังคมวิทยาที่ว่า มนุษย์เป็นสัตว์สังคมต้องการรวมกลุ่มเป็นหมู่เป็นพวก เมื่อจะดำเนินกิจการใดร่วมกัน เดือดร้อนร่วมกัน หรือมีความหนใจร่วมกัน ก็จะจัดตั้งเป็นองค์การที่เป็นทางการขึ้น เช่น สมาคมศิษย์เก่า... มูลนิธิ.. หรือจัดตั้งเป็นองค์การที่ไม่เป็นทางการ เช่น กลุ่มดุสิต99 สมาคมคนโสด เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาถึงความมุ่งหมายที่จัดตั้งองค์การก็อาจสรุปถึงสาเหตุของการเกิดองค์การได้ดังนี้

1. **ความจำเป็นในการบริหารราชการ** เพื่อให้การบริหารราชการแผ่นดินดำเนินไปด้วยดีจึงจำเป็นต้องออกกฎหมายจัดตั้งส่วนราชการต่างๆขึ้น เช่นกระทรวงมหาดไทย กรมตำรวจ และกรมการปกครอง เป็นต้น

2. **ความจำเป็นในทางยุทธศาสตร์** เพื่อสร้างความมั่นคงให้แก่ชาติบ้านเมืองและป้องกันอริราชศัตรู จึงจำเป็นต้องจัดตั้ง กระทรวงกลาโหม กองทัพบก กองทัพเรือ กองทัพอากาศ และส่วนราชการอื่นๆในสังกัด

3. **ความจำเป็นในการผลิตผลทางการเกษตร** เพื่อผลิตผลทางการเกษตรทั้งด้านกสิกรรม ด้านการประมง การเลี้ยงสัตว์ จึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงเกษตรและส่วนต่างๆในสังกัด

4. **ความจำเป็นในการคมนาคมและการติดต่อสื่อสาร** เพื่อให้ประชาชนเดินทางไปมาสะดวกสามารถติดต่อกันรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงคมนาคม กรมทางหลวง การทางพิเศษแห่งประเทศไทยและการสื่อสารแห่งประเทศไทย เป็นต้น

5. **ความจำเป็นในการค้าขาย** เพื่อให้ประชาชนติดต่อซื้อขายกันได้สะดวกและยุติธรรมจึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงพาณิชย์และส่วนราชการต่างๆในสังกัด ตลอดจนบริษัทและห้างหุ้นส่วนจำกัด

6. **ความจำเป็นในการบริการสังคม** เพื่อให้ประชาชนได้รับการศึกษาและบริการทางด้านการรักษาพยาบาล และป้องกันโรคติดต่อ จึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงศึกษาธิการทบวงมหาวิทยาลัย โรงเรียนต่าง ๆ ตลอดจนมหาวิทยาลัย กระทรวงสาธารณสุข โรงพยาบาล สถานีอนามัยต่าง ๆ และส่วนราชการในสังกัดตลอดจนการจัดตั้งสถานศึกษาและโรงพยาบาลเอกชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ความจำเป็นในการอุตสาหกรรม เพื่อควบคุมดูแลและส่งเสริมกิจการอุตสาหกรรมและสนับสนุนเศรษฐกิจของประเทศ จึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงอุตสาหกรรมและส่วนราชการต่าง ๆ ในสังกัด ตลอดจนบริษัทเจ้าของโรงงานต่าง ๆ

8. ความจำเป็นในการค้นคว้าวิจัย เพื่อให้สังคมได้รับการพัฒนามีความเป็นอยู่ดีขึ้นจึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงานและส่วนราชการต่าง ๆ ในสังกัด

9. ความเป็นในการพัฒนาการเมือง เพื่อสนับสนุนและส่งเสริมการปกครองตามระบบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข จึงจำเป็นต้องจัดตั้งสำนักงานเลขาธิการรัฐสภา และพรรคการเมืองต่าง ๆ ขึ้น

10. ความจำเป็นในการพัฒนาการคลัง เพื่อควบคุมดูแลและสนับสนุนฐานะการเงินของประเทศจึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงการคลัง ธนาคารต่าง ๆ ธนาคารแห่งประเทศไทยและส่วนราชการในสังกัด

11. ความจำเป็นในการสร้างสัมพันธภาพระหว่างประเทศ เพื่อสร้างความสัมพันธ์ ระหว่างมิตรประเทศ จึงจำเป็นต้องจัดตั้งกระทรวงการต่างประเทศ องค์การระหว่างประเทศ และส่วนราชการต่าง ๆ ในสังกัด

12. ผลจากการพัฒนาประเทศ เมื่อประเทศได้รับการพัฒนาดีขึ้นตามลำดับ ก่อให้เกิดความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ การเมืองและสังคม จึงจำเป็นต้องจัดตั้งธนาคาร ศูนย์การค้า บริษัท ห้างร้าน โรงงานอุตสาหกรรม พรรคการเมือง สมาคม มูลนิธิ สโมสร กลุ่มและชมรมต่าง ๆ

13. ความก้าวหน้าทางวิชาการ เช่น เมื่อมีโครงการอวกาศ ก็ต้องจัดตั้งองค์การนาซ่าขึ้น กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ สถาบันการวิจัยทางการทหาร ล้วนเป็นมาจากความจำเป็นของความก้าวหน้าทางวิชาการทั้งสิ้น

14. นโยบายของรัฐ เช่น มีนโยบายจะผลิตพลังงานไฟฟ้าก็จัดตั้งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและรัฐมีนโยบายจัดระบบขนส่งมวลชนให้เป็นระเบียบ ก็จัดตั้งองค์การขนส่งมวลชนขึ้น

15. ลักษณะข่ายงานต่อเนื่อง เช่น หลังจากการจัดตั้งบริษัทผลิตรถยนต์ ทำให้จำเป็นต้องจัดตั้งบริษัทยางรถยนต์ บริษัทผลิตอะไหล่ และสาขาต่าง ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 โครงสร้างขององค์การ

องค์การมีลักษณะคล้ายมนุษย์ คือจะต้องมีกระดูกเป็นโครงสร้าง เช่นเดียวกับแนวความคิดของ อุทัย หิรัญโต (2526 : 217-218) ได้กล่าวว่า ทุกองค์การจะต้องมีโครงสร้าง ซึ่งเป็นสายใยยึดโยงให้ องค์การดำรงอยู่ได้เช่นเดียวกับโครงกระดูก ซึ่งเป็นโครงสร้างของร่างกายมนุษย์ให้มีชีวิตอยู่ได้

โครงสร้างขององค์การจะประกอบด้วยส่วนสำคัญดังต่อไปนี้คือ

1. ภารกิจหน้าที่ (Function) องค์การทุกประเภทที่จัดตั้งขึ้น ย่อมมีหน้าที่หรือวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง บางองค์การเมื่อปฏิบัติภาระกิจเสร็จแล้วทำให้องค์การสลายตัวไปก็มี แต่โดยทั่วไปแล้วภารกิจหรือหน้าที่ขององค์การจะกำหนดไว้อย่างถาวรมากกว่าจะกำหนดไว้ชั่วคราว

2. การแบ่งงานกันทำ (Division of World) หมายถึงการแบ่งงานออกเป็นชิ้น ๆ แล้วมอบให้คน หรือแต่ละหน่วยงานรับผิดชอบอย่างเป็นกิจลักษณะ และจัดให้มีการประสานงานอย่างมีระบบ

3. สายการบังคับบัญชา (Hierarchy) หมายถึงความสัมพันธ์ตามลำดับชั้นระหว่างผู้บังคับบัญชากับผู้ใต้บังคับบัญชา เพื่อแสดงให้ทราบว่าใครมีอำนาจหน้าที่มากกว่ากันอย่างไร สายการบังคับบัญชาจะบอให้ทราบว่า ตำแหน่งใดมีความรับผิดชอบลดหลั่นกันอย่างไร ใครรับผิดชอบต่อใคร

4. ช่วงการควบคุม (Span of Control) คือสิ่งที่แสดงให้ทราบว่าผู้บังคับบัญชาคนหนึ่งมีขอบเขตแห่งอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบอย่างไร มีผู้ใต้บังคับบัญชากี่คน มีหน่วยงานที่อยู่ในความรับผิดชอบกี่หน่วยงาน การจัดช่วงการควบคุมเป็นเทคนิคที่สำคัญในการจัดองค์การ เพราะหากว่าช่วงการควบคุมกว้างหรือยาวเกินไป อาจทำให้การปกครองควบคุมงานไม่ทั่วถึง

5. เอกภาพในการบังคับบัญชา (Unity of Command) หมายถึงอำนาจการควบคุมบังคับบัญชารวมอยู่ที่บุคคลใดบุคคลหนึ่ง หรือคณะบุคคลใดอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดเอกภาพในการบริหาร และป้องกันมิให้การปฏิบัติหน้าที่ก้าวก่ายกัน

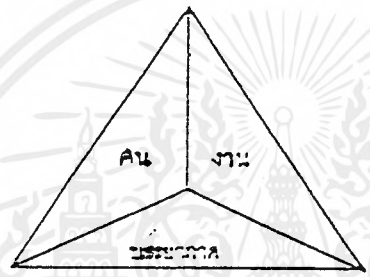
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 งานการบริหารและกระบวนการบริหาร

1. งานการบริหาร

การบริหารเป็นกิจกรรมของหมู่คณะ ทุกองค์การจะประกอบด้วยหมู่คณะ จึงจำเป็นต้องมีกฎเกณฑ์เพื่อถือปฏิบัติ มีการสั่งการ มอบหมายงาน และประสานงาน เพื่อให้บรรลุผลตามเป้าหมายขององค์การ

วิจิตร ศรีสอ้าน (2512 : 9-10) ได้เสนอหลักการของงานการบริหารเป็น 2 แนวคิดคือ



รูปที่ 5-2 แสดงแนวคิด 3 มิติ

1.แนวคิด 3 มิติ (The Tridimensional Concept) โดยทั่วไปผู้บริหารมีภารกิจในการบริหารประกอบด้วย งาน คนและบรรยากาศขององค์การ คือ

1.1 งาน ผู้บริหารมีหน้าที่และความรับผิดชอบในงานทั้งหมดขององค์การ เช่น งานวางแผนดำเนินงาน และประเมินผลงาน งานที่ปฏิบัติเป็นประจำได้แก่ งานวินิจฉัยสั่งการ งานแก้ปัญหา และงานลงนามในหนังสือที่ออกจากองค์การ นอกจากนั้นเป็นงานอื่น ๆ

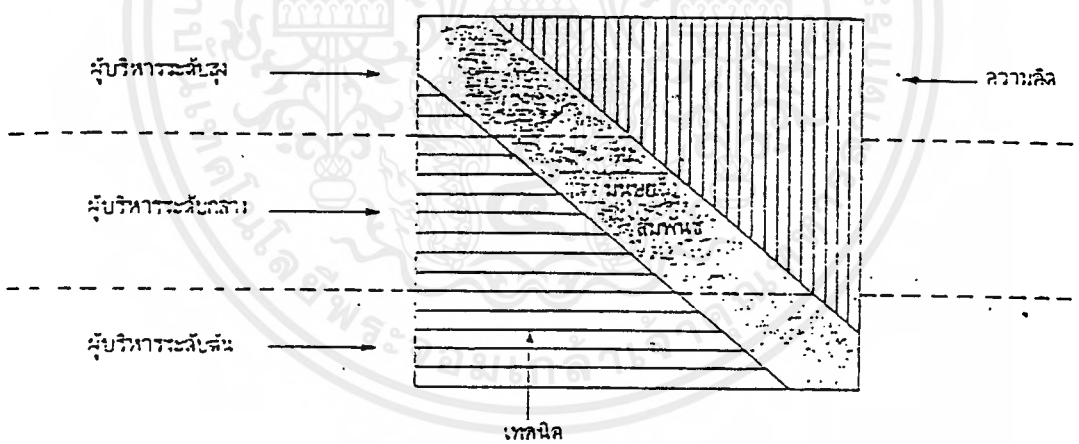
1.2 คน ผู้บริหารมีหน้าที่เกี่ยวกับคน คืองานสรรหาคนดีมาปฏิบัติงาน มอบหมายงานพัฒนาให้บำเหน็จความชอบ และให้พ้นจากงาน ซึ่งนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด

1.3 บรรยากาศขององค์การ ผู้บริหารมีหน้าที่ในการสร้างบรรยากาศและสัญลักษณ์ให้แก่องค์การ เพื่อสร้างความมั่นคงและความอบอุ่นให้แก่สมาชิกในองค์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แนวคิดทักษะการจัดการ (Managerial Skills) เป็นทักษะทางการบริหารของผู้บริหาร ซึ่งประกอบด้วยทักษะที่สำคัญ 3 ทักษะคือ

2.1 ทักษะทางด้านความคิด (Conceptual Skill) เป็นทักษะที่จำเป็นสูงสุดสำหรับผู้บริหารในองค์การทุกระดับ ผู้บริหารควรจะต้องมองเห็นภาพรวม ตระหนักและเข้าใจเป็นอย่างดีถึงภารกิจและหน้าที่ขององค์การ ตลอดจนมองเห็นแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง และพัฒนาองค์การได้ ซึ่งจะเป็นผู้บริหารที่เก่งงานหรือครองงานได้ ผู้บริหารระดับสูง เช่น นายกรัฐมนตรี รัฐมนตรี ปลัดกระทรวง อธิบดี ประธานบริษัทและกรรมการผู้จัดการใหญ่ เป็นต้น จำเป็นต้องใช้ทักษะด้านนี้มากเป็นพิเศษ ส่วนผู้บริหารระดับกลาง เช่น ผู้อำนวยการกอง หัวหน้ากอง ผู้จัดการฝ่าย และผู้จัดการสาขาจำเป็นต้องใช้ทักษะด้านนี้ในระดับมาก ส่วนผู้บริหารระดับต้น เช่น หัวหน้าฝ่าย หัวหน้าคณะวิชา หัวหน้าภาควิชา และหัวหน้าแผนก จำเป็นต้องใช้ทักษะด้านนี้ในระดับปานกลางค่อนข้างน้อย



รูปที่ 5-3 แสดงความสำคัญของผู้บริหารในการใช้ทักษะการจัดการ

2.2 ทักษะด้านมนุษยสัมพันธ์ (Human Relation Skill) เป็นทักษะที่จำเป็นรองลงมาสำหรับผู้บริหารในองค์การทุกระดับ ทักษะด้านนี้เป็นทักษะในการรู้จักคน เข้าใจคน ทำงานร่วมกับคนและครองคนได้ที่เรียกว่า “เก่งคน” ผู้บริหารจะต้องมีทักษะในการจูงใจบุคลากรในองค์การให้ร่วมมือร่วมใจกันทำงาน เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายขององค์การ มีทักษะในการแก้ปัญหาอันเนื่องมาจากบุคลากร ซึ่งมีผลกระทบต่อองค์การ เช่น บุคลากรมีความผิดหวังในเรื่องส่วนตัว เรื่องครอบครัว การเลื่อนตำแหน่ง กลุ้มใจในเรื่องหนี้สิน และเพื่อนร่วมงาน เป็นต้น ผู้บริหารจำเป็นต้องมีทักษะในการเข้าสังคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ากับบุคคลได้ทุกระดับ มีทักษะในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบุคคลได้

ผู้บริหารระดับสูงในองค์การจะหาเวลาว่างสำหรับส่วนตัวได้ยาก มีงานับเขกและงานออกสังคม เป็นส่วนใหญ่ จึงเกี่ยวข้องกับบุคคลในองค์การในระดับปานกลาง ผู้บริหารระดับกลางจะเกี่ยวข้องกับบุคคลในระดับมาก ส่วนผู้บริหารระดับต้นจะใช้เวลากับบุคคลในระดับปานกลางค่อนข้างน้อย

2.3 ทักษะด้านเทคนิค (Technical Skill) เป็นทักษะที่จำเป็นอันดับสุดท้ายสำหรับผู้บริหารในองค์การทุกระดับ แต่มีความสำคัญแตกต่างกัน กล่าวคือผู้บริหารระดับสูง ต้องใช้ทักษะด้านนี้ในระดับน้อย ผู้บริหารระดับกลางต้องใช้ทักษะด้านนี้ในระดับมาก ส่วนผู้บริหารระดับต้นต้องใช้ทักษะด้านนี้ในระดับมากที่สุด

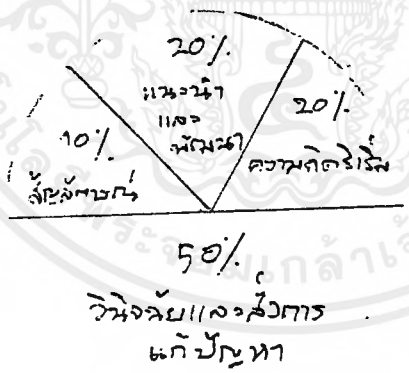
พจน์ ธัญญขันธ์ (2521 : 6-11) ได้สรุปงานที่สำคัญของผู้บริหารว่ามี 4 งานคือ

1. เป็นผู้นำหรือประธานในกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากตำแหน่งหน้าที่นั้นร้อยละ 10

2. แนะนำและพัฒนาบุคคลร้อยละ 20

3. คิดริเริ่มและปรับปรุงงานให้ก้าวหน้า ร้อยละ 20

4. วินิจฉัยสั่งการและแก้ปัญหาต่าง ๆ ร้อยละ 50 ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 5-4 แสดงน้ำหนักความสำคัญของงานของผู้บริหาร

โดยสรุป ผู้บริหารองค์การหรือผู้จัดการหน่วยงาน ควรมีหน้าที่ดังนี้

1. งานกำหนดนโยบาย และเป้าหมายขององค์การหรือหน่วยงาน

2. งานวางแผนและโครงการตลอดจนนำแผนและโครงการไปปฏิบัติให้ครบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จัดหาทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับการบริหาร เช่น คน (Man) เงิน (Money) และวัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนอาคารสถานที่ เพื่อใช้ทรัพยากรเหล่านั้นเป็นปัจจัยในการดำเนินดำเนินการให้บรรลุตามแผนงาน นโยบายและเป้าหมายขององค์การ

2. ผู้บริหารกับกระบวนการบริหาร

การเป็นผู้บริหารที่ดีจะต้องทราบทั้งงานหรือภารกิจในการบริหารขององค์การและหลักการบริหาร หัวใจหลักการบริหารก็คือ กระบวนการบริหารนั่นเอง

ลูเธอร์ กูลิค และ ไลนอล อูวิค (1973 : 17) ได้เสนอหลักการว่ากระบวนการบริหารย่อมประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 7 ประการ โดยใช้ตัวย่อของอักษรตัวต้นของแต่ละคำมาเรียงกัน คือ Planning Organizing Staffing Directing Coordinating Reporting และ Budgeting เรียกว่า " POSDCoRB " ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Planning หมายถึงการวางแผนหรือกำหนดโครงการไว้ล่วงหน้าว่าจะทำอะไร ในการบริหารงานใด ๆ ก็ตามจะต้องรู้จักวางแผน เพราะการวางแผนเป็นหลักการสำคัญขั้นมูลฐานของกระบวนการบริหาร ผู้บริหารจะต้องตระหนักอยู่เสมอว่า แผนงานเป็นหลักและเป็นรากฐานของการปฏิบัติงานทั้งปวง ถ้าไม่มีแผนงานแล้ว เป็นการยากที่ผู้บริหารจะทำงานให้ได้ผลดี การวางแผนในการบริหารงานนั้นอาจจัดทำเป็นแผนระยะสั้น หรือแผนระยะยาวก็ได้ รูปแบบของงานควรประกอบหัวข้อ วัตถุประสงค์ นโยบาย แนวปฏิบัติ และมาตรฐานของงานในการวางแผนงานนั้น ผู้บริหารจะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอว่าจะทำอะไร อย่างไร ใช้เงินเท่าไหร่ และมอบหมายให้ใครทำ กระทำที่ไหน และเมื่อใด

Organizing หมายถึงการจัดองค์การหรือจัดหน่วยงาน โดยการจัดแบ่งขององค์การหรือของหน่วยงานเป็นหน่วยงานย่อย พร้อมทั้งกำหนดวัตถุประสงค์ กำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบของแต่ละส่วนงาน ตลอดจนกำหนดสายงานควบคุมและบังคับบัญชาในลักษณะหน่วยงานหลัก ด้วย ซึ่งตามปกติช่วงการบังคับบัญชาจะอยู่ระหว่าง 3-15 หน่วยงานย่อย การจัดองค์การเป็นเรื่องสำคัญมาก เพราะถ้ามีการจัดองค์การดีจะช่วยให้เกิดความราบรื่นในองค์การนั้น ในการจัดองค์การอาจแสดงไว้ในรูปแบบของรูปองค์การ เพื่อให้เกิดการสื่อสารความเข้าใจในองค์การเกี่ยวกับอำนาจหน้าที่ ความรับผิดชอบ สายการบังคับบัญชา และการติดต่อสื่อสาร

Staffing หมายถึงการดำเนินการบริหารงานบุคคลซึ่งเป็นกระบวนการสรรหาและจัดเลือกบุคคลที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเข้ามาสู่หน่วยงาน มีการปฐมนิเทศ และมอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายงานให้ทั้งฝึกอบรม และพัฒนาบุคลากร มีการพิจารณาความดีความชอบและดูแลเรื่องสวัสดิการ

เนื่องจาก " คน " เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการบริหาร ดังนั้นการบริหารงานบุคคลจึงมีความสำคัญสูงสุดของกระบวนการบริหาร ผู้บริหารพึงเอาใจใส่ชีวิตความเป็นอยู่ และความสุขทุกข์ของผู้ร่วมงาน ให้อยู่ในสภาพที่จะปฏิบัติงานได้อย่างเต็มกำลังความสามารถ มีการมอบหมายงานให้เหมาะสมกับบุคคล และให้ความเป็นธรรมแก่ผู้ร่วมงานโดยเสมอกัน

ในการบริหารงานบุคคลในปัจจุบันมีใช้อยู่ 2 ระบบคือ

1. ระบบคุณธรรม (Merit System) เป็นระบบบริหารงานที่ใช้หลักเกณฑ์ 4 ประการคือ

1.1 หลักความเสมอภาค เช่น ใช้สิทธิสมัครสอบได้ทุกคน

1.2 หลักความสามารถ เช่น ให้ผู้ที่สอบได้คะแนนสูงกว่าได้รับการบรรจุก่อน

1.3 หลักความมั่นคง เช่น ให้ร่วมผู้ร่วมงานได้รับความคุ้มครองเมื่อได้ปฏิบัติตามหน้าที่

1.4 หลักความเป็นกลางทางการเมือง เช่น ห้ามข้าราชการฝักใฝ่ทางการเมือง

2. ระบบอุปถัมภ์ (Patronage System) เป็นระบบบริหารงานบุคคลที่ตรงข้ามกับระบบคุณธรรม ส่วนใหญ่จะใช้ระบบเครือญาติ หรือพวกพ้อง

Directing หมายถึงการสั่งการ การสั่งการเป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการบริหารและเป็นบทบาทที่สำคัญของนักบริหาร เพราะการสั่งการและคำสั่งของผู้บริหารจะมีผลกระทบต่อองค์การ ซึ่งอาจจะเป็นไปตามแผนหรือเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ก็ได้ การสั่งการเป็นการตัดสินใจในการเลือกทางเดินขององค์การก็ได้

ในการสั่งการนั้นผู้บริหาร อาจสั่งการได้ 2 วิธีคือ การสั่งด้วยลายลักษณ์อักษรและการสั่งด้วยวาจา ในการสั่งการนั้นมีข้อที่ควรคำนึงถึงคือ

1. การสั่งการนั้นก่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์การเพียงใด

2. ผู้บริหารมีข้อมูล ผลการวิจัยและความเห็นของนักวิชาการประกอบการตัดสินใจสั่งการเพียงใด

3. คำนึงถึงความสามารถของผู้รับคำสั่ง

4. ปัจจัยเกื้อกูลและอุปกรณ์ในการทำงานพร้อมเพียงหรือไม่

5. เป็นคำสั่งที่ชัดเจน และเกิดความเข้าใจตรงกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Corrdinating หมายถึงการประสานงานระหว่างหน่วยงานหรือตำแหน่งที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการติดต่อสื่อสาร เพื่อให้การดำเนินการขององค์การหรือหน่วยงานเป็นไปด้วยความเรียบร้อย การประสานงานเป็นขั้นหนึ่งของกระบวนการบริหาร ซึ่งผู้บริหารจะต้องใช้เทคนิคในการส่งเสริม ตักเตือน และช่วยเหลือให้ทุกหน่วยงานขององค์การ รับเอาหน้าที่ขององค์การเป็นจุดหมายปลายทาง วัตถุประสงค์ขององค์การเป็นทิศทางและใช้มาตรฐานการปฏิบัติเป็นทางเสือสำหรับบังคับตนเอง และรวมระบบย่อยให้เป็นระบบใหญ่ที่เข้มแข็ง ดังนั้นการประสานงานจึงเป็นการจัดให้คนในองค์การทำงานให้เป็นระบบ และสอดคล้องกัน โดยถือ หน้าที่ วัตถุประสงค์ และมาตรฐานขององค์การเป็นหลัก

Reporting หมายถึงการรายงานผลการปฏิบัติงานและการประชาสัมพันธ์ขององค์การในการบริหารงานนั้น ผู้บริหารจะต้องดำเนินการตามกระบวนการบริหาร เริ่มจากการวางแผน การจัดองค์การ การบริหารงานบุคคล การสั่งการ และการประสานงาน ต่อจากนี้เป็นหน้าที่ของผู้บริหารที่ต้องติดตามผลว่าการได้สั่งการหรือมอบหมายงานให้แก่ผู้ร่วมงานนั้น ผลการปฏิบัติรุดหน้าหรือไม่ เพียงใด มีข้อขัดข้องประการใด ผลการทำงานสอดคล้องและบรรลุเป้าหมายขององค์การหรือไม่ เพื่อจะได้เป็นการประเมินผลงานขององค์การและประเมินผลงานขององค์การและประเมินผลการปฏิบัติงานของเพื่อนร่วมงานด้วย และจะได้เป็นข้อมูลในการรายงานผลการปฏิบัติงานต่อผู้บังคับบัญชา และประชาสัมพันธ์ ให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องทราบด้วย

Budgeting หมายถึงการบริหารงบประมาณ ในการบริหารงานนั้น ผู้บริหารมีภารกิจหน้าที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงบประมาณ มีหน้าที่ต้องปฏิบัติ 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกได้แก่ การจัดทำงบประมาณซึ่งเป็นการวางแผนล่วงหน้าในการขอเงินเพื่อจัดซื้อหรือจ้างหรือใช้จ่าย และขั้นตอนที่สอง ได้แก่ การดำเนินการใช้เงินเพื่อจัดซื้อหรือจ้างตามงบประมาณที่ได้รับนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 การจัดองค์การ

1. ความหมาย

ในเรื่องการจัดองค์การ ได้มีนักวิชาการให้ความหมายไว้หลายท่าน อาทิ

เอ็ดวิน บี ฟลิปโป (1996 : 99) ได้ให้ความหมายของการจัดองค์การไว้ว่า หมายถึงกระบวนการจัดความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่าง ๆ ขององค์การ เพื่อให้ส่วนต่าง ๆนั้นรวมเข้าเป็นหน่วยงานที่มีประสิทธิภาพ

วิลเลี่ยม เจ แมคลาเนย์ (1964 : 11) ได้ให้ความหมายของการจัดองค์การหมายถึงการจัดระเบียบให้กิจกรรมต่าง ๆ ขององค์การสมดุลกัน โดยกำหนดภารกิจหน้าที่ และความรับผิดชอบของแต่ละส่วนงานไว้ เพื่อให้การดำเนินขององค์การบรรลุผล

อุทัย หิรัญโต (2526 : 224) ได้ให้ความหมายของการจัดการองค์การว่า หมายถึงการจัดการระเบียบ เกี่ยวกับตัวคน ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลของการจัดองค์การว่าหมายถึงการจัดการระเบียบเกี่ยวกับตัวคน ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและองค์ประกอบต่าง ๆ ขององค์การ โดยจัดให้มีกิจกรรมต่าง ๆ ดำเนินไปตามวิถีทางปฏิบัติเพื่อไปสู่เป้าหมาย

เชาว์ ไพรพิรุณโรจน์ (2533 : 2) ได้ให้ความหมายของการจัดองค์การว่าหมายถึงการจัดกลุ่มกิจกรรมที่จำเป็นต้องมี ได้แก่ การจัดสร้างรูปและโครงสร้างเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงฐานะและบทบาทในตำแหน่งหน้าที่ของตนได้อย่างแน่นอน

โดยสรุป การจัดองค์การ หมายถึงการจัดระบบความสัมพันธ์ ระหว่างส่วนต่าง ๆ และบุคคลในองค์การ โดยกำหนดภารกิจ อำนาจหน้าที่ และความรับผิดชอบให้ชัดแจ้ง เพื่อให้การประกอบการตามภารกิจขององค์การบรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ทฤษฎีองค์การ

ทฤษฎีองค์การอาจแบ่งเป็น 3 ทฤษฎีด้วยกันคือ

1.ทฤษฎีดั้งเดิม (Classical Organization Theory)

2.ทฤษฎีสมัยใหม่ (Neo - Classical Organization Theory)

3.ทฤษฎีสมัยปัจจุบัน (Modern Organization Theory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.ทฤษฎีดั้งเดิม แนวคิดตามทฤษฎีดั้งเดิม ได้วิวัฒนาการจากการปกครองแบบทหารจนมาถึงปลายศตวรรษที่ 19 ได้มีนักบริหารสร้างรูปแบบการบริหารในระบบราชการขึ้น คือ แมค วีเบอร์ และการสร้างรูปแบบการบริหารโดยใช้การจัดการทางวิทยาศาสตร์ คือ เฟรดเดอริค เทย์เลอร์ ทฤษฎีดั้งเดิม นี้มีหลักการว่า " คนเป็นเครื่องมือที่จะทำให้องค์การไปสู่จุดมุ่งหมายปลายทางได้ " ดังต่อไปนี้

1.1 การจัดองค์การแบบราชการ ของแมค วีเบอร์ ได้เน้นให้เห็นถึงการจัดโครงการที่เป็นระเบียบ สาระสำคัญที่เน้นคือ องค์การแบบราชการในอุดมคตินั้นต้องประกอบด้วย

1. จะต้องมีการแบ่งงานกันทำ โดยให้แต่ละคนปฏิบัติงานในสาขาที่ตนมีความชำนาญ

2. การทำงานให้ยึดถือกฎเกณฑ์โดยเคร่งครัด เพื่อจะให้ได้มาตรฐาน ของงานเท่าเทียมกัน การยึดถือกฎเกณฑ์นี้จะช่วยขจัดพฤติกรรมที่บุคคลแตกต่างกันสามารถประสานงานได้

3. สายการบังคับบัญชาต้องชัดเจน โดยผู้บังคับบัญชามอบหมายอำนาจ และความรับผิดชอบลดหลั่นกันลงไป

4. บุคคลในองค์การต้องไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์ส่วนบุคคล โดยพยายามทำงานให้ดีที่สุดเพื่อเป้าหมายขององค์การ

5. การคัดเลือกบุคคล การว่าจ้าง ให้ขึ้นอยู่กับความสามารถและการเลื่อนตำแหน่ง ให้คำนึงถึงการประสบความสำเร็จในการงานและอาวุโสด้วย

จุดอ่อนขององค์การแบบราชการคือ การเน้นที่องค์การโดยละเลยการพิจารณาถึงปัญหาของคน และเชื่อว่าการที่มีโครงสร้างที่รัดกุมแน่นอน จะช่วยให้บุคคลปรับพฤติกรรมให้เป็นไปตามความต้องการขององค์การได้

1.2 การจัดองค์การแบบวิทยาศาสตร์ ของเฟรดเดอริค เทย์เลอร์ เป็นการจัดองค์การแบบการนำวิธีการศึกษาวิทยาศาสตร์มาวิเคราะห์และแก้ปัญหา เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพขององค์การให้ดีขึ้น การศึกษาทางวิทยาศาสตร์ได้เริ่มจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างงานและคนงาน โดยใช้การทดลองเป็นเกณฑ์เพื่อหามาตรฐานการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยที่คนงานจะถูกพิจารณาว่าต้องการทำงานเพื่อเศรษฐกิจด้านเดียว โดยละเลยการศึกษาถึงแรงจูงใจอารมณ์ และความต้องการในสังคมของกลุ่มคนงาน เพราะเชื่อว่า เงินตัวเดียวจะล่อใจให้คนทำงานได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ทฤษฎีสมัยใหม่ พัฒนามาจากทฤษฎีดั้งเดิม ซึ่งมีหลักการว่า "คนเป็นปัจจัยสำคัญ และมีอิทธิพลต่อการเพิ่มผลผลิตขององค์การ " โดยเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของคน ที่ทำหน้าที่ร่วมกันในองค์การ ถือว่าองค์การประกอบไปด้วยบุคคล ซึ่งทำงานโดยมีเป้าหมายร่วมกัน และกลุ่มคนงาน จะเป็นผู้มีส่วนร่วมในการกำหนดผลผลิตด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลเป็นปัจจัยที่สำคัญ และมีอิทธิพลต่อการกำหนดผลผลิต กล่าวโดยสรุปได้ว่า ทฤษฎีนี้ได้เน้นในเรื่องความสัมพันธ์โดยได้มีการศึกษาและค้นพบว่าบุคคลแต่ละคน ย่อมมีความแตกต่างกัน ขวัญในการทำงานเป็นสิ่งสำคัญ การเข้ามีส่วนร่วมในกิจกรรม และการตัดสินใจ ระหว่างฝ่ายบริหารและคนงาน ย่อมจะสร้างความพอใจให้ทุกฝ่ายโดยสร้างผลผลิตอย่างเต็มเม็ดเต็มหน่วยได้ ทฤษฎีที่มีส่วนสำคัญมากต่อขบวนการมนุษยสัมพันธ์ได้แก่ (Elton Mayo) ซึ่งได้ทำการวิจัย และค้นพบว่าขวัญของคนงาน มีความสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิต กลุ่มคนงานจะพยายามทำงานเป็นทีมโดยมีมาตรฐานของกลุ่มขึ้นเอง

3.ทฤษฎีสมัยปัจจุบัน กล่าวไว้ว่าเป็นการศึกษารูปแบบองค์การในปัจจุบัน โดยเน้นที่การวิเคราะห์ในเชิงระบบ กล่าวคือ นักทฤษฎีได้พิจารณาองค์การในลักษณะที่เป็นส่วนรวมทั้งหมด ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ภายในองค์การ การศึกษาว่าองค์การเป็นระบบหนึ่งนั้นได้คำนึงถึงองค์ประกอบในองค์การทุกส่วน ได้แก่ ตัวป้อน กระบวนการ ผลผลิต ผลกระทบ และสิ่งแวดล้อม การศึกษาองค์การในรูประบบนั้น ได้พยายามที่จะมององค์การในลักษณะการเคลื่อนไหว และปรับเข้ากับรูปแบบขององค์การ ได้ในทุกสภาวะ ทั้งนี้ เพราะนักทฤษฎีปัจจุบันได้มององค์การในลักษณะกระบวนการทางด้านโครงสร้างที่บุคคลต่าง ๆ ต้องเกี่ยวข้องกัน เพื่อบรรลุเป้าหมายตามที่ต้องการ จึงมีการศึกษาพฤติกรรมองค์การในลักษณะใหม่ ๆ เช่น พฤติกรรมศาสตร์ วิทยาการจัดการ การบริหารแบบมีส่วนร่วม การพัฒนาองค์การ และการบริหารแบบอนาคตนิยมเป็นต้น

3.หลักการจัดองค์การ

อุทัย หิรัญโต(2526 : 224-225) ได้ให้หลักการในการจัดองค์การไว้ 8 ประการ คือ

1. วัตถุประสงค์
2. ความชำนาญเฉพาะอย่าง
3. การรวมอำนาจบังคับบัญชา
4. สายการบังคับบัญชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เอกภาพการบริหาร

6. การประสานงาน

7. อำนาจหน้าที่

8. ความรับผิดชอบ

ทั้ง 8 ประการนี้ เป็นหลักเกณฑ์ทั่วไปในการจัดองค์การซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วัตถุประสงค์ โดยทั่วไปเมื่อมีการจัดตั้งองค์การขึ้น องค์การนั้นจะมีวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่าง วัตถุประสงค์คือสิ่งที่จะให้บรรลุถึง ซึ่งโดยปกติจะจำแนกออกเป็นข้อ การกำหนดวัตถุประสงค์จะทำให้เห็นแนวทางปฏิบัติ ฉะนั้น การจัดองค์การ จะต้องกำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดแจ้ง โดยอาศัยข้อมูลที่ถูกต้อง เหมาะแก่เหตุการณ์และปฏิบัติได้

2. ความชำนาญเฉพาะอย่าง ในที่นี้หมายถึง องค์การจะต้องมีการแบ่งงานกันทำในบรรดาบุคคลต่าง ๆ และการแบ่งงานกันทำนั้น ต้องมอบหมายงานให้เหมาะสมกับคน

3. การรวมอำนาจบังคับบัญชา หมายถึงการจัดองค์การที่ดี จะต้องรวมเอาอำนาจในการตัดสินใจ หรือการสั่งการ มาไว้ที่ศูนย์กลางอำนวยการเพื่อให้สามารถควบคุมส่วนต่างๆ ขององค์การได้และทำให้มีเอกภาพในการปกครองและบริหาร

4. สายการบังคับบัญชา การจัดองค์การที่ดี จะต้องประกอบด้วย การจัดสายการบังคับบัญชาที่ดี ซึ่งหมายถึง ความสัมพันธ์ตามลำดับชั้นระหว่างผู้บังคับบัญชากับผู้ใต้บังคับบัญชาโดยระบุไว้ชัดเจนว่า ใครมีหน้าที่ต้องรับผิดชอบต่อใคร หรือใครขึ้นกับใคร

5. เอกภาพในการบริหาร หมายถึงอำนาจบริหารในองค์การ จะต้องรวมอยู่ที่ผู้บังคับบัญชาสูงสุดขององค์การ โดยสามารถใช้อำนาจบริหาร และปกครอง ได้อย่างเด็ดขาด และทั่วถึงเพียงคนเดียว

6. การประสานงาน ในการจัดองค์การนั้นจะต้องจัดกลไกต่าง ๆ ทำงานประสานกัน หรือคือให้คนทำงานมีสามัคคีธรรมนั่นเอง

7. อำนาจหน้าที่ หมายถึงสิทธิที่จะสั่งการใด ๆ ได้ตามกฎหมาย ข้อบังคับ ที่กำหนดไว้ตำแหน่งต่าง ๆ ในองค์การจะได้รับมอบอำนาจหน้าที่ และใช้อำนาจหน้าที่อย่างชัดเจน และประการสำคัญก็คือ อำนาจหน้าที่ กับความรับผิดชอบ ต้องได้สัดส่วนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ความรับผิดชอบ ในที่นี้หมายถึง ความรับผิดชอบที่เกิดจากการใช้อำนาจหน้าที่และการมีอำนาจหน้าที่ การจัดองค์การที่ดีจะต้องระบุความรับผิดชอบของแต่ละบุคคลและตำแหน่งให้ชัดเจน เหมาะสม

โดยสรุป หลักในการจัดองค์การที่ดี จะต้องมีองค์ประกอบและแนวทางปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. หลักวัตถุประสงค์ องค์การทุกระดับจะต้องกำหนดวัตถุประสงค์ไว้ให้ชัดเจนว่าจะทำอะไรและอย่างไร

2. หลักความรู้ความสามรถเฉพาะอย่าง คนงานควรจะได้รับมอบหมายให้ทำงานตามความถนัดแต่เพียงอย่างเดียว เว้นแต่ในกรณีที่บุคคลนั้นมีความสามารถหลายด้าน ก็อาจมอบหมายงานให้ตามความถนัดได้

3. การประสานงาน จะต้องมีการร่วมมือกันในระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดโดยใช้หลักสามัคคีธรรมเพื่อประโยชน์ขององค์การ

4. หลักการบังคับบัญชา จะต้องมีการกำหนดอำนาจหน้าที่และความรับผิดชอบของแต่ละคนไว้อย่างชัดแจ้ง ว่าใครมีหน้าที่ต้องรับผิดชอบต่อใคร หรือใครขึ้นกับใครเป็นต้น

5. หลักความรับผิดชอบ ผู้บังคับบัญชาจะต้องกล้ารับผิดชอบในการกระทำของผู้อยู่ใต้บังคับบัญชาของตนอย่างเต็มที่ เพราะสมาชิกในองค์การจะปฏิบัติหน้าที่ในนามขององค์การผิดชอบชั่วดีจะตกอยู่แก่องค์การทั้งสิ้น

6. หลักความสมดุล จะต้องมอบหมายให้หน่วยงานย่อยทำงานให้สมดุลกัน กล่าวคือ ปริมาณงานควรจะมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน รวมทั้งความสมดุลระหว่างงานกับอำนาจหน้าที่ที่จะมอบหมายด้วย

7. หลักความต่อเนื่อง ในการจัดองค์การเพื่อการบริหารงานควรจะเป็นการกระทำที่ต่อเนื่องกัน ไม่ใช่ ทำ ๆ หยุด ๆ

8. หลักการโต้ตอบและการติดต่อ ตำแหน่งทุกตำแหน่งจะต้องมีการโต้ตอบระหว่างกันและกัน องค์การจะต้องอำนวยความสะดวก จัดให้มีเครื่องมือและการติดต่อสื่อสารที่เป็นระบบ

9. หลักขอบเขตของการควบคุม เป็นการกำหนดขีดความสามารถในการบังคับบัญชาของผู้บังคับบัญชาคนหนึ่ง ๆ ว่าควรจะควบคุมผู้ใต้บังคับบัญชาหรือจำนวนหน่วยงานย่อยไม่มากจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. หลักเอกภาพในการบังคับบัญชา ในการจัดองค์การที่ดี ควรให้เจ้าหน้าที่รับคำสั่งจากผู้บังคับบัญชาหรือหัวหน้างานเพียงคนเดียวเท่านั้น เพื่อให้เกิดเอกภาพในการบังคับบัญชา

11. หลักตามลำดับขั้น ในการที่นักบริหารหรือหัวหน้างานจะออกคำสั่งแก่ผู้ใต้บังคับบัญชา ควรปฏิบัติการตามลำดับขั้นของสายการบังคับบัญชาไม่ควรออกคำสั่งข้ามหน้าผู้บังคับบัญชา หรือผู้ที่มีหน้าที่โดยตรง

12. หลักการเลื่อนขั้นเลื่อนตำแหน่ง ในการพิจารณาความดีความชอบและการเลื่อนตำแหน่งควรถือหลักการว่า ผู้บังคับบัญชาโดยตรงย่อมเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับผู้ใต้บังคับบัญชาของตนโดยใกล้ชิดและย่อมทราบพฤติกรรมในการทำงานของผู้ใต้บังคับบัญชาได้ดีกว่าผู้อื่น ดังนั้นการพิจารณาให้คุณและโทษแก่ผู้ที่อยู่ใต้บังคับบัญชาของผู้ใดก็ควรให้ผู้นั้นทราบผลและมีสิทธิมีเสียงในการพิจารณาด้วยเพื่อความเป็นธรรมแก่ผู้ใต้บังคับบัญชาของเขา

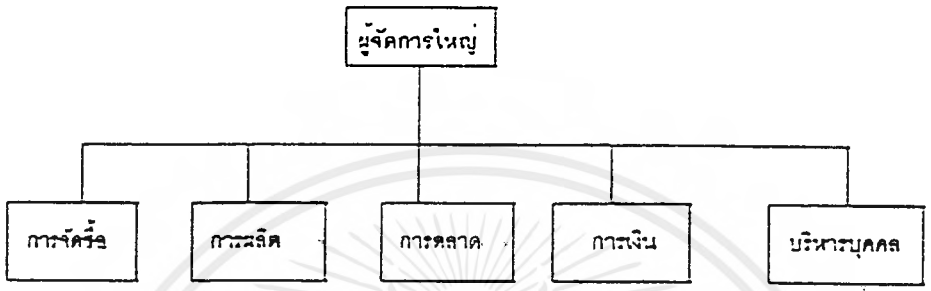
4. การจัดโครงสร้างขององค์การ

เชาว์ ไพรพิรุณโรจน์ (2523 : 8-11) ได้เสนอแนวความคิดว่าการจัดโครงสร้างขององค์การมีหลายแบบ ซึ่งแต่ละแบบก็มีข้อดีข้อเสียในตัวของมันเอง ฉะนั้นการที่ผู้บริหารจะวางแนวในการจัดโครงสร้างนั้น อาจจะต้องพิจารณาจากหลาย ๆ ปัจจัยด้วยกัน อย่างไรก็ตามการจัดโครงสร้างขององค์การสามารถแบ่งแยกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 5 ประเภทดังนี้

1. โครงสร้างองค์การตามหน้าที่การงาน หมายถึงโครงสร้างที่จัดตั้งขึ้นโดยแบ่งไปตามประเภทหรือหน้าที่การงาน เพื่อแสดงให้เห็นว่าในแต่ละแผนนั้นมีหน้าที่จะต้องกระทำอะไรบ้าง ซึ่งจะก่อให้เกิดการได้คนมีความสามารถทำงานในแผนกนั้น ๆ ทั้งยังฝึกบุคคลในแผนกนั้นให้มีความเชี่ยวชาญกับหน้าที่ของงานนั้นอย่างลึกซึ้ง สำหรับฝ่ายบริหารระดับสูงนั้นก็เป็นเพียงแต่กำหนดนโยบายไว้กว้าง ๆ เพราะมีผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านคอยป้อนข้อมูลที่ถูกต้อง ให้พิจารณาตัดสินใจและให้มีความผิดพลาดน้อยมาก อีกประการหนึ่งในแต่ละแผนกนั้น เมื่อทุกคนมีความเชี่ยวชาญงานในหน้าที่ชนิดเดียวกัน ย่อมก่อให้เกิดการประสารงานได้ง่าย เนื่องจากแต่ละคนมีความสนใจใจงานและใช้ภาษาเดียวกัน ทำให้สามารถสร้างบรรยากาศการทำงานที่ดีได้ง่าย นอกจากนี้การบริหารงานก็เกิดความประหยัดด้วย เพราะแต่ละแผนกได้ใช้ความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านสร้างผลิตผลได้เต็มเม็ดเต็มหน่วย การใช้เครื่องจักรและแรงงานก็ใช้ได้ผลคุ้มค่า อย่างไรก็ตามการจัดรูปองค์การแบบนี้มีผลเสียในทางการบริหาร เช่น การแบ่งงานออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

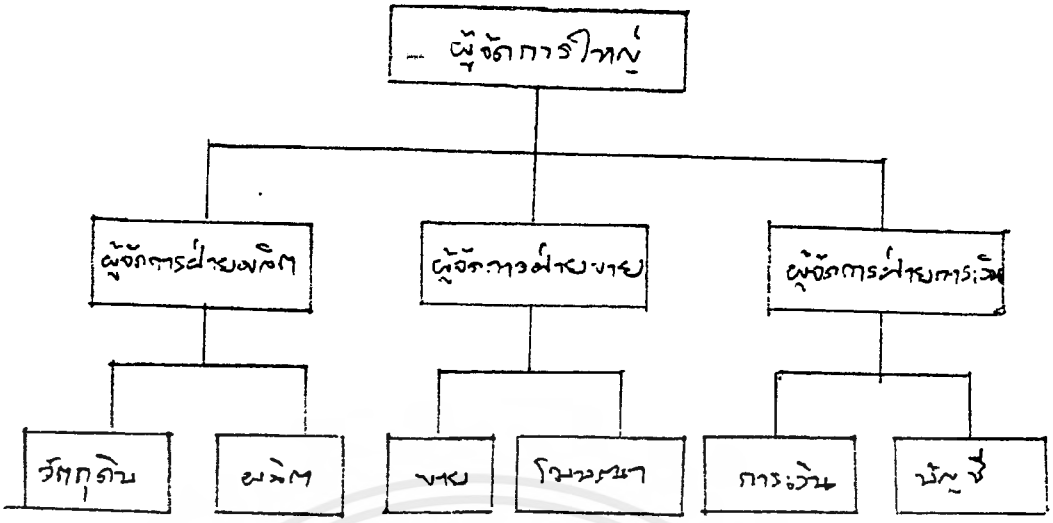
เป็นหลายแผนก และมีผู้เชี่ยวชาญหลายคน ทำให้การวางแผนงานยุ่งยากขึ้น และอาจมีการปัดความรับผิดชอบได้ ดังแสดงรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 แสดงโครงสร้างองค์การตามหน้าที่การงาน

2. **โครงสร้างองค์การตามสายงานหลัก** หมายถึงการจัดรูปโครงสร้างให้มีสายงานหลัก และมีการบังคับบัญชาจากบนลงล่าง จะไม่มีการสั่งการแบบข้ามขั้นตอนในสายงาน ซึ่งโครงสร้างแบบนี้เหมาะสมสำหรับองค์การต่าง ๆ ที่ต้องการให้มีการขยายตัว ในอนาคตได้ เพราะเพียงแต่เพิ่มเติมโครงสร้างในบางสายงานให้มีการควบคุมบังคับบัญชาลดหลั่นลงไปอีกได้ การจัดองค์การแบบนี้ อาจจะคำนึงถึงสภาพของงานที่เป็นจริง เช่นตามลักษณะผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ ผลดีของโครงสร้างแบบนี้มีหลายประการเช่น เป็นแบบที่เข้าใจง่าย การบังคับบัญชาเป็นขั้นตอน และสามารถตรวจสอบได้รวดเร็ว การติดต่อสื่อสารและการควบคุมการทำงานทำได้ง่าย และเหมาะกับองค์การขนาดเล็ก ส่วนข้อเสียคือ ไม่เหมาะกับองค์การขนาดใหญ่ ไม่สนับสนุนให้มีผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน และลักษณะของโครงสร้างเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินงานเพราะไม่สามารถครอบคลุมขอบข่ายงานได้ทั้งหมด ดังรูปที่ 5-6

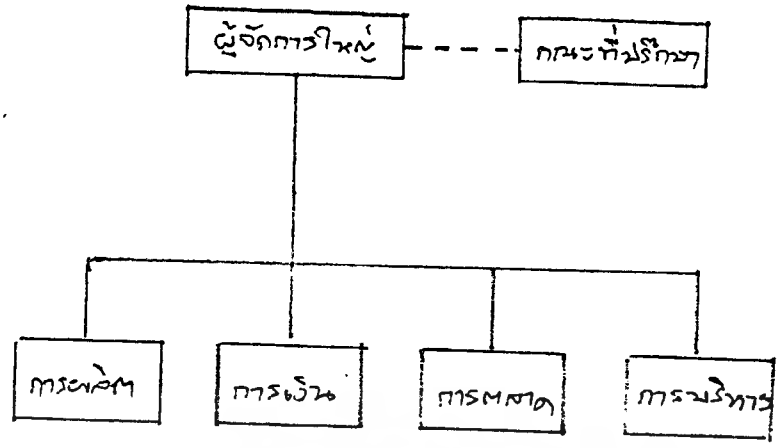
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-6 แสดงโครงสร้างองค์การตามสายงานหลัก

3. โครงสร้างองค์การแบบคณะที่ปรึกษา หมายถึงการจัดโครงสร้างโดยให้มีที่ปรึกษาเข้ามาช่วยการบริหารงาน เช่น ที่ปรึกษานายกฯเป็นต้น เพราะว่าที่ปรึกษามีความรู้ ความชำนาญเฉพาะด้านโดยเฉพาะการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ ซึ่งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญมาช่วยหรือคอยแนะนำ ทำให้องค์การมองเห็นความสำคัญของการมีที่ปรึกษาขึ้น อย่างไรก็ตามพวกที่ปรึกษาไม่มีอำนาจในการสั่งการใดๆ นอกจากคอยป้อนข้อมูลให้ผู้บริหารเป็นผู้ชี้ขาดอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งการจัดองค์การรูปแบบนี้มีผลดีคือ ทำให้การดำเนินงานต่างๆมีการวางแผนผลประเมินสถานการณ์ล่วงหน้าได้ มีที่ปรึกษาคอยให้ความกระจ่างและประสานงานกับหน่วยงานอื่นๆ และทำให้การทำงานใช้หลักเหตุและผลมากขึ้นมีการใช้เครื่องมือที่ทันสมัยและคนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้งานตามสายงานและของคณะที่ปรึกษาสัมพันธ์กันและเข้าใจบทบาทซึ่งกันและกัน แต่ผลเสียของการใช้ที่ปรึกษาอาจมีการปีนเกลียวกัน เนื่องจากความคิดเห็นไม่ตรงกันและคณะที่ปรึกษาอาจท้อถอยในการทำงานได้ เพราะมีหน้าที่เพียงเสนอแนะแต่ไม่มีอำนาจสั่งการ ดังรูปที่ 5-7

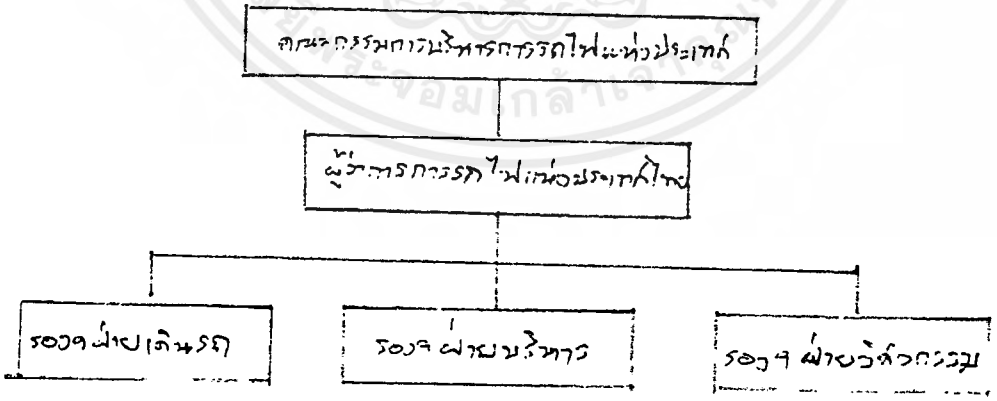
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-7 แสดงโครงสร้างองค์การแบบคณะที่ปรึกษา

4. โครงสร้างองค์การแบบคณะกรรมการบริหาร

หมายถึงการจัดโครงสร้างองค์การโดยให้มีการบริหารงานในลักษณะคณะกรรมการ เช่น คณะกรรมการบริหารการรถไฟแห่งประเทศไทย คณะกรรมการ อสมท. จะช่วยขจัดปัญหาการบริหารงานแบบผูกขาดของคน ๆ เดียว หรือการใช้แบบเผด็จการเข้ามาบริหารงาน นอกจากนั้น จะทำให้ทุกคนเข้าใจปัญหาและก่อให้เกิดการยอมรับในปัญหา แต่อย่างไรตาม ข้อเสียของการใช้ระบบนี้คือ เกิดการสูญเสียทรัพยากรโดยใช่เหตุ เนื่องจากเวลาส่วนใหญ่ใช้ไปในการประชุมถกเถียงกัน ดังรูป 5-8 และ 5-9

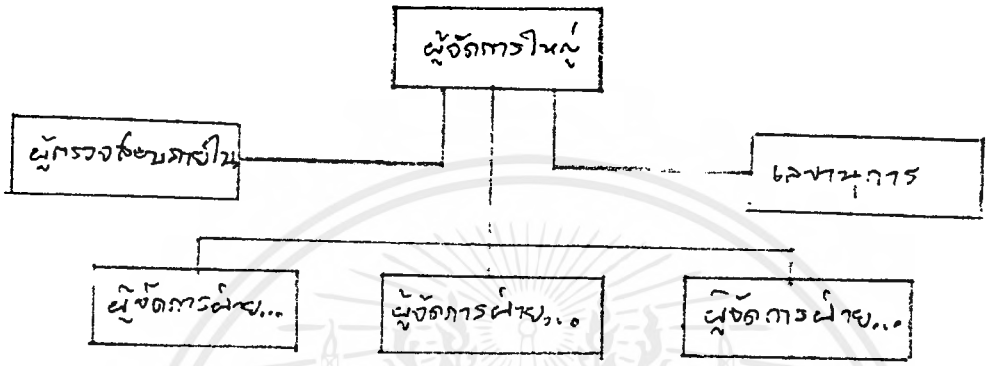


รูป 5-8 แสดงโครงสร้างการแบบคณะกรรมการบริหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โครงสร้างองค์การงานอนุกร

คือหน่วยงานช่วย บางที่เรียกว่า หน่วยงานแม่บ้าน ซึ่งเป็นงานด้านธุรการและอำนวยความสะดวก เช่นงานเลขานุการ และงานตรวจสอบภายใน เป็นต้น ดังรูปที่ 5-9



รูปที่ 5-9 แสดงโครงสร้างองค์การแบบอนุกร

6. การจัดโครงสร้างองค์การแบบแบ่งส่วนงานออกเป็นหน่วยต่างหาก

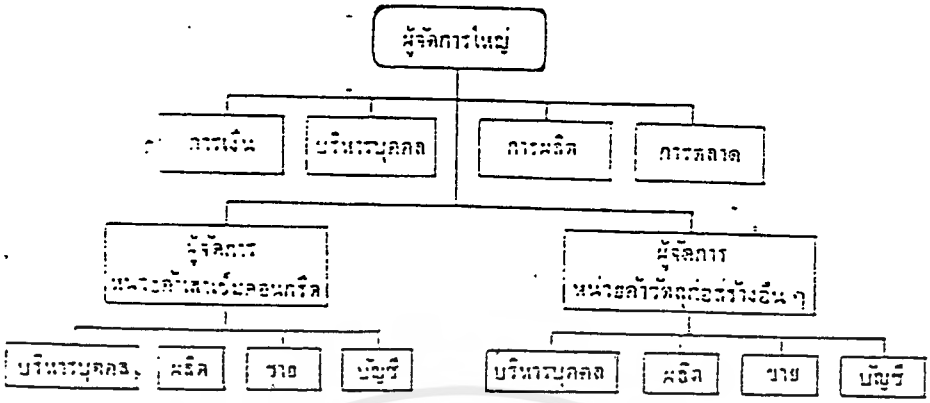
โครงสร้างตามแบบนี้ หน่วยต่างหากจะมีอิสระในการบริหารงานในหน่วยนั้นตามที่ได้รับมอบหมายจากหน่วยงานหรือสำหรับงานกลางของกิจการจะมีประโยชน์อย่างยิ่งในการฝึกหัดตัวผู้บริหารเพราะแต่ละส่วนจะเปรียบเสมือนหน่วยงานอิสระจึงมีโอกาสฝึกฝนงานอย่างกว้างขวางในทุกหน้าที่

ในการจัดองค์การประเภทนี้ หน่วยต่างหากแต่ละส่วนอาจแบ่งออกโดยถือหลักเกณฑ์ที่ต่างกัน แต่ที่นิยมคือ

ก) การจัดแบ่งออกตามผลิตภัณฑ์

ข) การจัดแบ่งออกตามพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



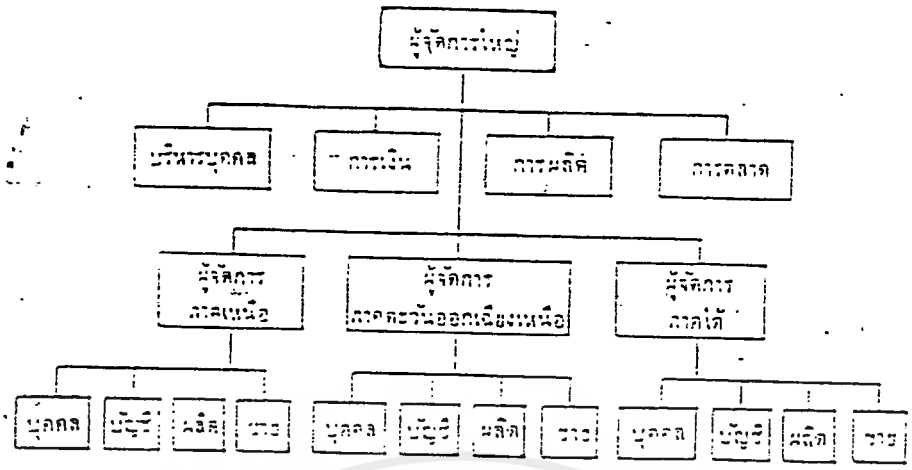
รูปที่ 5-10 แสดงโครงสร้างแบบที่มีการแบ่งออกเป็นหน่วยต่างหากตามผลิตภัณฑ์

ตัวอย่างข้างต้นเป็นโครงสร้างสมมติของบริษัทปูนซีเมนต์แห่งหนึ่ง ซึ่งบริษัทใหญ่ อาจทำการผลิตและขายปูนซีเมนต์และขณะเดียวกัน ก็มีหน่วยงานต่างหากสองหน่วยที่แบ่งตามผลิตภัณฑ์คือ หน่วยค้าเสาเข็มคอนกรีต และหน่วยค้าก่อสร้างอื่น ๆ

สำหรับตัวอย่างต่อไป เป็นโครงสร้างสมมติของบริษัทผลิตและจำหน่ายเครื่องดื่มบรรจุขวด สำนักงานใหญ่อาจดำเนินการในภาคกลาง ขณะเดียวกันก็ควบคุมการดำเนินการของหน่วยต่างหากต่าง ๆ คือหน่วยดำเนินการภาคเหนือ หน่วยดำเนินการภาคใต้ ดังรูปที่ 5-11

โครงสร้างขององค์การประเภทนี้มีข้อได้เปรียบที่ว่า การทำงานจะมีความคล่องตัวยิ่งขึ้น ทั้งนี้เพราะมีการกระจายอำนาจไปให้แก่ส่วนต่าง ๆ ให้มีอิสระในการตัดสินใจในงานที่ได้รับมอบหมาย ดั้งนั้นจึงเหมาะกับองค์การที่มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

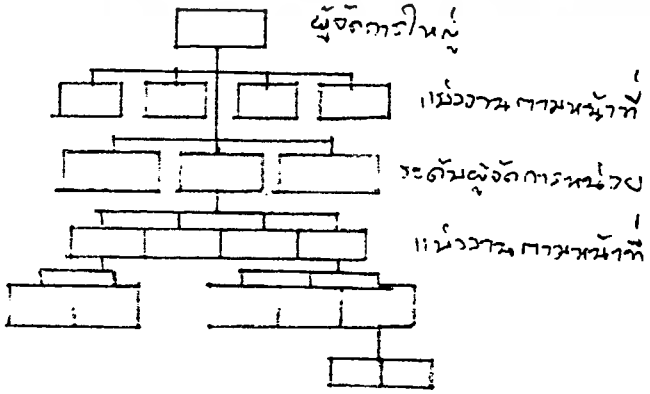


รูปที่ 5-11 แสดงโครงสร้างองค์การแบบที่มีการแบ่งออกเป็นหน่วยต่างหากโดยแบ่งตามตามพื้นที่

7. การจัดโครงสร้างแบบผสม

ในทางปฏิบัติลักษณะโครงสร้างมักจะเป็นโครงสร้างแบบผสม ซึ่งการจัดกลุ่มกิจกรรม หรือการจัดแผนกในลำดับต่าง ๆ จะไม่มีเกณฑ์ตายตัว หากแต่มีหลายหลักเกณฑ์ผสมกันไป (ดูรูปที่ 5-12) ทั้งนี้โดยคำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้รับจากการที่ได้แบ่งแผนกในระดับนั้นขององค์การเป็นหลัก และโครงสร้างที่เหมาะสมคือโครงสร้างที่ช่วยให้องค์กรสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้

ตามรูปที่ 5-12 เป็นโครงสร้างสมมติของบริษัทน้ำมัน สำนักงานใหญ่ค้าน้ำมันมีหน่วยต่างหากค้า แก๊ส ปุ๋ย และยาปราบศัตรูพืช หน่วยค้าปุ๋ยเป็นหน่วยต่างหากที่มีแผนกตามหน้าที่ของตน ขณะเดียวกันมีแผนกขายแบ่งดำเนินงานตามภูมิภาคเขต และแต่ละเขตแบ่งออกตามลูกค้า



รูป 5-12 แสดงโครงสร้างองค์การแบบผสม ที่มีการใช้หลักเกณฑ์ในการแบ่งแผนกงานหลายหลักเกณฑ์ผสมกันไปตามแต่ความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หลักและเรื่องราวที่เกี่ยวข้องกับการจัดองค์การ

เรื่องราวที่เกี่ยวข้องเกิดขึ้นภายในองค์การมีอยู่ 3 ประการคือ

1. จะต้องมีหลักของการแบ่งแยกแรงงานกันทำ ตามความถนัด ตามความรู้ความสามารถของตนให้เกิดประโยชน์แก่กลุ่มโดยส่วนรวมให้มากที่สุด การแบ่งแยกแรงงานกันทำนั้น จะมีการแบ่งแยกทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน ซึ่งในแนวดิ่งการแบ่งจะแบ่งตามขนาดของอำนาจหน้าที่ แยกออกเป็นระดับตามขนาดความรับผิดชอบ ซึ่งแตกต่างกันตามความรู้ความสามารถ และประสบการณ์

การแบ่งในแนวนอนนั้น แบ่งโดยถือตามหลักความถนัดในการทำงาน ซึ่งมุ่งให้คนงานมีการแบ่งงานกันทำตามความถนัดในระหว่างกัน

ข้อดีของการแบ่งงานตามแนวนอนนี้ มีข้อดีคือ

1. แต่ละคนจะฝึกฝนเพิ่มพูนความถนัดในเรื่องจำเพาะได้ดีเป็นพิเศษ
2. ทำให้สะดวกและง่ายในการระบุคุณสมบัติของความถนัดที่ต้องการ
3. การปฏิบัติซ้ำ จะช่วยให้เกิดความชำนาญได้
4. ช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากความถนัด
5. ช่วยให้สามารถจัดระบบปฏิบัติงานที่มีการประสานความชำนาญหลาย ๆ ด้านให้เข้ามาสนับสนุนกันได้
6. ทำให้ผลผลิตมีมาตรฐานที่คงเส้นคงวาเสมอ

2. จะต้องมีการกำหนดเรื่องที่เกี่ยวกับอำนาจหน้าที่ จะเห็นว่ากลุ่มที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยบุคคลต่าง ๆ ซึ่งมีความรู้ความสามารถเฉพาะในส่วนของตน มีความเข้าใจตามความนึกคิดของตน ดังนั้นกลุ่มที่เกิดขึ้นจะร่วมกันทำงานเพื่อให้เกิดผลสำเร็จต่อส่วนรวมของกลุ่มได้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีผู้ที่มีอำนาจ คอยควบคุมดูแลและสั่งการให้ทุกคนที่อยู่ในองค์การทำงานเพื่อความสำเร็จของกลุ่มด้วย เพื่อให้เกิดความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ขององค์การที่ตั้งไว้ โดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ขององค์การอยู่ตลอดเวลา

3. จะต้องจัดเรื่องที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ต่าง ๆ การทำงานของทุกคนทุกฝ่ายต้องเกี่ยวกับคนอื่น ๆ และฝ่ายอื่นๆ รวมตลอดทั้งความรู้ความสามารถก็มากน้อยต่างกัน ดังนั้น จึงเป็นเรื่องจำเป็นที่จะต้องจัดวางเรื่องความสัมพันธ์ต่าง ๆ ไว้ให้แน่ชัด เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างมีระเบียบและไม่ขัดแย้งกัน ได้แก่ ความสัมพันธ์ของบุคคลต่าง ๆ และของกลุ่มย่อย ๆ ที่ทำงานร่วมกันในองค์การ

6. การวิเคราะห์งานและการออกแบบระบบองค์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นักวิชาการทางบริหาร ชื่อ Peter F. Drucker ได้อธิบายวิธีการจัดองค์การ โดยมีการพิจารณาทั้งระบบองค์การ เพื่อที่จะให้มีการจัดโครงสร้างขององค์การที่ดีที่สุดไว้ 3 วิธี คือ

1. การวิเคราะห์งานต่าง ๆ

2. การวิเคราะห์การตัดสินใจต่าง ๆ

3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่าง ๆ

ทั้ง 3 วิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่จะพยายามค้นหาว่า มีกิจกรรมหรืองานต่าง ๆ อะไรบ้างที่จำเป็นต้องมีเพื่อให้องค์การนั้นสามารถทำงานบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งเอาไว้

ตามวิธีแรก หรือการวิเคราะห์งานต่าง ๆ หมายถึงการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบว่างานมีอะไรบ้างที่จะต้องทำ งานอะไรบ้างที่จะรวมอยู่ด้วยกัน และจะต้องมีการเน้นความสำคัญของงานต่าง ๆ อย่างไร

ตามวิธีที่สองหรือการวิเคราะห์เรื่องการตัดสินใจต่าง ๆ ก็คือ การพยายามแยกแยะให้เห็นว่าจะต้องมีการตัดสินใจต่าง ๆ อะไรบ้างในการทำงาน และควรทำกันที่ส่วนไหนขององค์การจึงเหมาะสมที่สุด รวมทั้งผู้บริหารงานแต่ละคนควรเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างไร ดังนั้นการวิเคราะห์ตามแบบนี้จึงเป็นเรื่องของการพิจารณาการกระจายอำนาจในการทำงานได้อย่างเหมาะสมที่สุด

สำหรับวิธีการสุดท้าย หรือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่าง ๆ หมายถึงการพยายามที่จะให้ทราบว่า ผู้บริหารแต่ละคนในองค์การจะมีส่วนช่วยทำงานตามแผนต่าง ๆ อย่างไรบ้าง และในการทำงานของเขาอย่างไรบ้าง จุดสนใจอยู่ที่การติดต่อกันระหว่างกิจกรรมหรือตัวคนฝ่ายต่าง ๆ และโครงสร้างที่ช่วยอำนวยความสะดวก ระหว่างบุคคลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัน นั่นคือ เป็นการเน้นถึงความสัมพันธ์ของส่วนต่าง ๆ ภายในระบบนั่นเอง

7. กระบวนการจัดองค์การ (Process of Organizing)

ภายหลังจากที่ได้มีการวิเคราะห์ตามวิธีต่าง ๆ แล้ว ในขั้นตอนของการจัดองค์การนั้นจะประกอบด้วยกระบวนการจัด 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. พิจารณาแยกประเภทงาน จัดกลุ่มงาน และออกแบบงานสำหรับผู้ทำงานแต่ละคน ก่อนอื่น ต้องพิจารณาและตรวจสอบดูว่า กิจการของตนนั้นมีอะไรบ้างที่จะต้องทำ ต่อมาก็คือ ทำการจัดกลุ่มงานหรือจำแนกประเภทงานเหล่านั้นออกเป็นประเภท โดยมีหลักการพิจารณาที่ว่า งานที่เหมือนกันควรจะรวมอยู่ด้วยกัน โดยการจำแนกออกตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่งานแต่ละชนิดเป็นกลุ่ม ๆ ที่แตกต่างกัน แล้วแบ่งงานเหล่านั้นเป็นส่วน ๆ เรื่อยไปจนกระทั่งได้เป็นงานชิ้นต่าง ๆ ที่แต่ละส่วนหรือแต่ละชิ้นเหล่านี้เหมาะสมกับคุณสมบัติของผู้ที่จะทำในแต่ละระดับ

2. ระบุขอบเขตของงานและมอบหมายงาน พร้อมทั้งกำหนดความรับผิดชอบและให้อำนาจหน้าที่

ก) การระบุให้เห็นถึงขอบเขตของงาน เพื่อให้ทราบว่า งานแต่ละชิ้นที่ได้แบ่งไว้นั้นจะเกี่ยวข้องกับเรื่องอะไร ชนิดไหน มีขอบเขตมากน้อยแค่ไหน สิ่งสำคัญในที่นี้คือการระบุเป็นชื่อตำแหน่งพร้อมกับรายละเอียดเกี่ยวกับงานชิ้นนั้น ๆ เอาไว้

ข) ผู้บริหารดำเนินการมอบหมายงานตามวิธีการมอบหมายงาน

ค) การมอบหมายงาน การกำหนดความรับผิดชอบ จัดแจ้งเกี่ยวกับงานที่มอบหมายให้ทำ และมอบหมายอำนาจหน้าที่

3. จัดวางความสัมพันธ์ การจัดวางความสัมพันธ์ของงานส่วนต่าง ๆ และระหว่างกลุ่มจนเป็นโครงสร้างที่สัมพันธ์กันของหลาย ๆ ส่วน ซึ่งจำเป็นสำหรับการประสานงานกันและการก่อให้เกิดระเบียบขึ้น ขณะเดียวกันจะช่วยให้งานของส่วนต่างๆ ดำเนินไปโดยปราศจากข้อขัดแย้ง

เมื่อได้ดำเนินการจัดองค์การจนเสร็จสิ้นตามกระบวนการดังกล่าวข้างต้นแล้วสิ่งที่ได้คือ

1. แผนผังแสดงการจัดองค์การที่เป็นทางการ

2. คำบรรยายลักษณะงานของงานแต่ละตำแหน่ง ซึ่งประกอบด้วย

- ชื่อตำแหน่ง
- รายละเอียดของงานที่จะต้องทำ
- ความรับผิดชอบ
- อำนาจหน้าที่
- ความสัมพันธ์ต่าง ๆ

ผังแสดงการจัดองค์การที่เป็นทางการ จะเป็นเครื่องมือแสดงให้เห็นว่า กิจกรรมต่างๆ ในองค์การได้ถูกแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ อย่างไร ชี้ให้เห็นว่าใครขึ้นกับใคร และการประสานงานในแนวดิ่ง

โครงสร้างองค์การที่เกิดขึ้นนั้น จะต้องครอบคลุมถึงสิ่งเหล่านี้คือ

ก) แสดงให้เห็นถึงจุดมุ่งหมายและแผนงานต่าง ๆ

ข) แสดงให้เห็นถึงอำนาจหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) แสดงให้เห็นถึงสภาพแวดล้อมภายใน

ง) เหมาะสมสำหรับให้คนซึ่งมีความรู้ความสามารถต่าง ๆ เข้ามารวมกันอยู่และร่วมกันทำงานได้

ผู้บริหารต้องพยายามเลือกเฟ้นตัวบุคคลที่มีความรู้ความสามารถดีเข้ามาทำงานและองค์การที่จัดทำขึ้นนี้

เราอาจกล่าวได้ว่า หน้าที่ในการจัดองค์การ ก็คือ " กระบวนการซึ่งผู้บริหารพยายามจัดให้มีความเป็นระเบียบในการทำงาน ขจัดข้อขัดแย้งระหว่างบุคคลต่าง ๆ ซึ่งต่างก็ปฏิบัติงานในส่วนที่รับผิดชอบ และรวมถึงการจัดสภาพภายในให้เหมาะสมแก่การทำงานที่เป็นทีมเวอร์ค นอกจากกนี้องค์การที่จัดขึ้นดังกล่าวจะต้องจัดทำขึ้นโดยคำนึงถึงปัญหาตัวบุคคลอีกด้วย นั่นคือ องค์การจะต้องเป็นองค์การที่จัดขึ้นเพื่อคนงานต่าง ๆ จะต้องจัดให้เหมาะสมกับความรู้ความสามารถของตัวบุคคลที่เข้ามาทำงาน และรวมทั้งให้มีสภาพที่สามารถจูงใจให้คนทำงานอีกด้วย "

6. การบริหารงานบุคคล

6.1 ความหมายของการบริหารงานบุคคล

ได้มีนักวิชาการหลายท่านได้ให้ความเห็นไว้ดงนี้ เช่น

สำราญ ถาวรายุศม์ (2524 : 154) กล่าวว่า การบริหารงานบุคคลเป็นศิลปะในการเลือกบุคคลเข้าทำงาน และใช้บุคคลที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะทำให้ได้ผลผลิตหรือบริการ รวมทั้งปริมาณและคุณภาพของงานสูงสุด

วุฒิชัย จำนงค์ (2514 : 144) ได้กล่าวว่าการบริหารงานบุคคลเริ่มตั้งแต่สรรหาบุคคลเข้ามาทำงาน จนกระทั่วเขาออกจากงานไป

โดยสรุป การบริหารงานบุคคลหมายถึงศิลปะในการสรรหาและคัดเลือกบุคคลเข้ามาทำงานในองค์การ มอบหมายงาน พัฒนาบุคคลและให้พ้นจากงาน โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพของผลผลิตหรือบริการขององค์การเป็นสำคัญ

6.2 การจำแนกตำแหน่ง

การจำแนกตำแหน่งเป็นการจัดสรรตำแหน่งออกเป็นประเภท หมวดหมู่ ตามลำดับขั้น แบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่

1.การจำแนกตำแหน่งตามลักษณะตำแหน่ง โดยถือหลักความรับผิดชอบของตำแหน่งเป็นสำคัญ เช่น กลุ่มเจ้าหน้าที่ธุรการ นิติกร วิศวกร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจำแนกตามลักษณะชั้นยศ ซึ่งใช้กับทหารและตำรวจ และติดตัวตลอดไป

3. การจำแนกตามลักษณะชั้นยศทางวิชาการ ตามความเชี่ยวชาญ และความสามารถทางด้านวิชาการ ส่วนใหญ่ใช้กับ ครู อาจารย์

6.3 การวางแผนกำลังคน

หมายถึงการกำหนดแผนว่าในระยะใดในอนาคต หน่วยงานต้องการบุคลากรที่มีประสิทธิภาพเพียงใด จะเกษียณ ลาออก ย้าย เลื่อนตำแหน่ง หรือออกไปด้วยวิธีอื่น ๆ ปีละเท่าไหร่จะต้องการบุคลากรเพิ่มขึ้น หรือลดลงปีละเท่าไหร่ มีคุณสมบัติ วุฒิ ประสบการณ์ โดยมีวัตถุประสงค์ให้สามารถมีบุคลากรตามจำนวนตามคุณสมบัติและตามเวลาที่ต้องการเพื่อหน่วยงานจะได้สามารถทำได้เสร็จตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ

ในการวางแผนกำลังคนมีประโยชน์ดังนี้คือ

1. ทำให้องค์การมีจำนวนและชนิดของพนักงานตรงตรมต้องการอยู่เสมอ

2. ทำให้มีบุคลากรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมบรรจุอยู่

3. ทำให้องค์การมีบุคคลกรไว้พร้อมเมื่อจำเป็น

สำหรับกระบวนการวางแผนกำลังคนนั้นอาจจะแบ่งขั้นตอนในการดำเนินการได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ

1. ศึกษานโยบายและแผนงานขององค์การ การที่จะสามารถวางแผนกำลังคนต่อไปในอนาคตได้จำเป็นอย่างยิ่งจะต้องดูนโยบายและแผนงานขององค์การเสียก่อน เพราะการวางแผนกำลังคนจะต้องให้สอดคล้องกับนโยบายขององค์การ มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลกระทบต่อการกำหนดนโยบาย และแผนงานขององค์การเป็นต้นว่า

- แนวโน้มของธุรกิจนั้น ๆ ในอนาคต
- การขยายตัวและการเจริญเติบโตขององค์การ
- การเปลี่ยนแปลงรูปแบบและโครงสร้างขององค์การ
- บทบาทของรัฐบาล เป็นต้น

2. การตรวจสภาพกำลังคน ซึ่งหมายถึงการค้นหาอย่างเป็นระเบียบเกี่ยวกับสภาพกำลังคนที่มีอยู่ในองค์การ เช่น จำนวนตำแหน่งงานต่าง ๆ ในองค์การ ความสามารถของพนักงานแต่ละที่มีอยู่ ซึ่งอาจทำได้ดังนี้

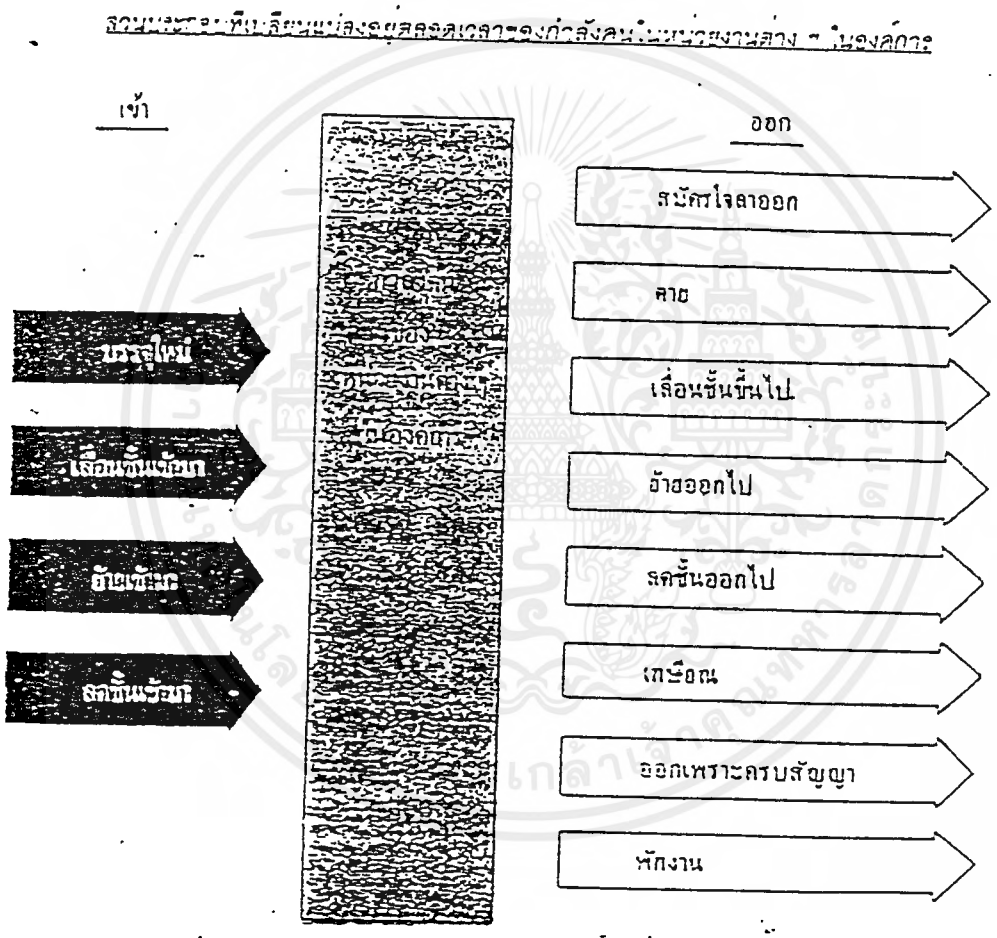
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์งานแต่ละตำแหน่ง โดยต้องดูว่าในองค์การทีตำแหน่งงานอะไรบ้าง มีขอบเขตการทำงานอย่างไร ต้องการคนที่มีคุณสมบัติอย่างไร

- การทำบัญชีรายการทักษะ คือการตรวจสอบสภาพของพนักงานแต่ละคน

- การคาดการความสูญเสียกำลังคนในอนาคต จะต้องมีการศึกษาแนวโน้มอนาคตว่าจะมีพนักงานคนใดบ้างที่จะออกจากงานไป

- ศึกษาสภาพความเคลื่อนไหวภายใน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโดยการเลื่อนชั้นเลื่อนตำแหน่ง โยกย้าย ซึ่งย่อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังภาพที่ 5-13



รูปที่ 5-13 แสดงการเคลื่อนไหวของบุคคลกรในองค์การ

3. การพยากรณ์ความต้องการกำลังคน การพยากรณ์ความต้องการกำลังคนคล้ายคลึงกับการตรวจสภาพกำลังคน ต่างกันที่ว่า การพยากรณ์ความต้องการกำลังคนมุ่งเน้นที่อนาคต และมุ่งไปที่การปรับตัวขององค์การ อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ส่วนการตรวจสภาพมุ่งเน้นที่ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพยากรณ์ความต้องการกำลังคนในอนาคตนั้นจะต้องอาศัยปัจจัยดังต่อไปนี้ คือ

1) ปริมาณการผลิต โดยต้องคาดการถึงปริมาณของสินค้าและบริการที่องค์การจะผลิตในอนาคต ซึ่งอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยและตัวแปรเหล่านี้ทำให้จำเป็นต้องการมีพยากรณ์ความต้องการกำลังคนไว้เพื่อจะได้ปรับตัวทันกับการเปลี่ยนแปลง

2) การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี จะต้องศึกษาไว้ล่วงหน้าว่าในอนาคตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอะไรบ้าง จะมีการนำเครื่องจักรกลใหม่ ๆ มาใช้บ้างหรือไม่ เพื่อให้เราได้ทราบว่า เราต้องการคนประเภทไหน จำนวนเท่าใดและต้องลดอัตรากำลังคนประเภทใดลงไปบ้าง

3) อุปสงค์และอุปทานของแรงงาน จะต้องศึกษาตลาดแรงงานในท้องถิ่นที่บริษัทนั้น ๆ อยู่ เพื่อจะได้ทราบถึงปริมาณที่องค์การต่าง ๆ ต้องการแรงงาน รวมทั้งปริมาณแรงงานในตลาดที่มีอยู่ เช่น ในอนาคตขององค์การต่าง ๆ จะต้องนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานมากขึ้น ความต้องการบุคคลที่มีความรู้ความสามารถนี้จะมีมากขึ้น เป็นต้น

4) การวางแผนอาชีพให้แก่พนักงาน คือการที่องค์การได้วางแผนอนาคตของพนักงานแต่ละคนไว้ว่า จะเลื่อนขั้น เลื่อนตำแหน่งขึ้นไปอย่างไรบ้างในองค์การ และในระยะเวลาใด ต้องศึกษาความสามารถของแต่ละคน บางคนมีความสามารถสูง และสามารถพัฒนาขึ้นเป็นกำลังสำคัญขององค์การได้ องค์การต้องวางแผนไว้ล่วงหน้าว่าเขาเลื่อนขั้นขึ้นไปอย่างไรบ้าง

4. การเตรียมหาคนสำหรับอนาคต

การเตรียมหาคนสามารถทำได้หลายทาง ดังนี้

ก) การฝึกอบรมและพัฒนาพนักงานที่มีอยู่ เช่น กรณีที่จะต้องนำเครื่องจักรมาและเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้ เมื่อองค์การพิจารณาเห็นว่าพนักงานที่มีอยู่นั้นมีความสามารถพอที่จะใช้เครื่องมือเหล่านั้นได้ถ้าได้รับการฝึกอบรม องค์การก็จำเป็นต้องเตรียมจัดหลักสูตรฝึกอบรมและพัฒนาพนักงานเหล่านั้น เพื่อเตรียมรับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ผลดีก็คือ องค์การไม่จำเป็นต้องเสียเงิน และเวลาในการที่จะหาคนใหม่มาทำหน้าที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) การสรรหาและการคัดเลือก ในกรณีที่ไม่สามารถหาคนในองค์การเตรียมไว้ได้ ก็จำเป็นต้องแสวงหาบุคคลจากภายนอกเข้ามา เช่น อาจทำการสอบคัดเลือกเพื่อขึ้นบัญชีไว้ เมื่อองค์การต้องการพนักงาประเภทนั้น ๆ ก็สามารถเรียกเข้าบรรจุได้ทันที

โดยสรุปแล้ว ถ้าองค์การขาดการวางแผนกำลังที่ดี องค์การอาจประสบปัญหาในการสรรหาบุคลากรตามคุณสมบัติที่พึงประสงค์ในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อผลผลิตและการบริหารองค์การได้

6.4 การสรรหา คัดเลือกเพื่อบรรจุแต่งตั้ง

ให้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การสรรหา อาจดำเนินการได้ดังนี้

1.1 ติดต่อสถาบันการศึกษาโดยตรง เพื่อแจ้งคุณสมบัติที่ต้องการ

1.2 เปิดรับสมัครตลอดปี

1.3 ติดต่อกองจัดหางาน

1.4 ประกาศและประชาสัมพันธ์

1.5 ติดต่อเป็นการส่วนตัว

1.6 อื่น ๆ

2. การคัดเลือก อาจดำเนินการได้ดังนี้

2.1 ประกาศรับสมัครเพื่อสอบคัดเลือกเป็นฤดูกาล และดำเนินการสอบคัดเลือก ซึ่งอาจสอบทั้งข้อเขียน สัมภาษณ์ และปฏิบัติด้วย

2.2 รับสมัครตลอดปี

2.3 ดำเนินการคัดเลือกจากนักเรียนและนักศึกษาที่เคยมาฝึกงานในองค์การนั้น ๆ

2.4 ดำเนินการคัดเลือกจากผู้ที่ได้รับทุน

2.5 คัดเลือกจากบุคคลที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

3. การบรรจุแต่งตั้ง เมื่อองค์การได้บุคคลกรที่ต้องการแล้ว ก็ควรจะดำเนินการบรรจุและแต่งตั้งหรือมอบหมายหน้าที่การงานให้ปฏิบัติ โดยถือเป็นหลักการว่า " บรรจุและแต่งตั้งบุคลากรให้เหมาะสมกับงาน " ให้มีการทดลองงานระยะหนึ่ง ควรให้มีระยะ 6 เดือน แต่ไม่ควรเกิน 12 เดือน เมื่อผ่านการทดลองงานจนเป็นที่พอใจแล้ว ก็ควรบรรจุและแต่งตั้งเป็นพนักงานหรือเจ้าหน้าที่ประจำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การศึกษาประวัติการปฏิบัติงาน

3) การใช้ผลการประเมินประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน

4) ทำแผนการเลื่อนตำแหน่ง

3.การลดชั้น (Demotion) ตรงข้ามกับการเลื่อนชั้น การลดชั้นเป็นการย้ายบุคคลไปสู่ตำแหน่งในระดับเดียวกันแต่ศักดิ์ศรีในงานต่ำกว่า เพราะบุคคลมีความสามารถไม่เพียงพอหรือไม่เหมาะสม

6.7 ผลประโยชน์ตอบแทน

1. ค่าจ้างและเงินเดือน ค่าจ้างเป็นเงินที่จ่ายให้ตามชิ้นของงานหรือค่าแรงงานคิดเป็นรายชั่วโมง รายวัน หรือรายสัปดาห์ ส่วนเงินเดือนเป็นการเหมาจ่ายค่าแรงเป็นรายเดือน องค์การควรกำหนดเกณฑ์ของค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำตามประกาศของกระทรวงมหาดไทย ประกอบกับการประเมินค่าของงานแต่ละงาน

2. ผลประโยชน์เกื้อกูล ในรูปของสวัสดิการต่าง ๆ เช่น เงินโบนัส ค่าคอมมิชชั่น ค่ารักษาพยาบาล ช่วยการศึกษาของบุตร จัดเลี้ยงอาหาร เป็นต้น

6.8 ภารกิจในการประสานงาน

ผู้ประสานงานที่ดีในองค์การ ควรทราบถึงภารกิจในการประสานงาน โดยทั่วไปภารกิจในการประสานงานจะอยู่ในขอบข่ายเกี่ยวกับเรื่องต่อไปนี้

นโยบาย องค์การซึ่งเป็นส่วนหนึ่งขององค์การย่อมจะต้องประสานนโยบายระหว่างองค์การ เพื่อให้บรรลุตามนโยบายขององค์การ

ใจ ในการทำงานที่เกี่ยวข้องหรือร่วมกันย่อมต้องอาศัยความร่วมมือและร่วมใจตลอดจนความจริงใจที่มีต่อกัน

แผน กำหนดแผนงานและโครงการไว้ตามประเภทของแผนและโครงการประสานแผนที่มีลักษณะเกี่ยวข้องกัน ตลอดจนการประสานโครงการที่เกี่ยวข้องกันด้วย

งานที่รับผิดชอบ ในองค์การจะมีงานย่อย ๆ ทั้งในโครงการและนอกโครงการ ผู้ประสานงานจะต้องเตรียมประสานงานที่เกี่ยวข้องให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คน ผู้ปฏิบัติงานจะต้องเกี่ยวข้องกับคน จึงจำเป็นต้องประสานงานกับคน ทั้งคนในองค์การและนอกองค์การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ทรัพยากร</u> ผู้ปฏิบัติงานจะต้องเกี่ยวข้องกับทรัพยากร เช่น เงิน อาคารสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ อาจจะขอยืม เบิก ถ้าผู้ปฏิบัติงาน ได้เตรียมจัดประสานงานที่ดี ทุกอย่างจะสำเร็จเรียบร้อย

6.9 การประสานงานที่มีประสิทธิภาพ

เมื่อมีสิ่งต่อไปนี้คือ

1. โครงสร้างของการบริหาร ได้จัดไว้อย่างเป็นระเบียบแบบแผน ชัดเจน และรัดกุม

2. มีรูปแสดงสายการบังคับบัญชา และสายงานติดต่อสื่อสารที่ชัดเจนเข้าใจง่าย

3 มีการเขียนนโยบาย กฎเกณฑ์ และข้อบังคับต่าง ๆ ไว้เป็นลายลักษณ์อักษรอ้างอิงได้

4. มีระบบเสนอรายงาน ตามสายการบังคับบัญชา ซึ่งยึดเป็นหลักปฏิบัติได้แน่นอน

5. มีเครื่องมือและระบบสื่อสาร ที่เพียงพอ และใช้การได้ดี รวดเร็ว

6. มีบุคคลที่ทำหน้าที่ประสานงานที่มีความรู้สูง มีน้ำใจในการให้บริการ

7. มีคณะกรรมการซึ่งประชุมกันเป็นประจำ เป็นการเปิดโอกาสให้ได้พบปะ ทำความเข้าใจกัน ในที่ประชุม

8. มีการเขียนโครงการแผนงาน และวิธีการทำงานต่าง ๆ ขึ้นไว้เป็นลายลักษณ์อักษรให้ทุกคนได้ทราบ

9. มีทะเบียน และบันทึกรายงานต่าง ๆ จัดไว้เป็นระบบและสะดวกแก่การค้นคว้า

10. เปิดโอกาสให้ผู้ร่วมงานได้พบปะสังสรรค์กัน นอกเวลาทำงาน เพื่อสร้างไมตรีอันดีต่อกัน

11. มีปฏิทินกำหนดระยะเวลาการปฏิบัติงานในเรื่องต่าง ๆ ไว้ชัดเจน

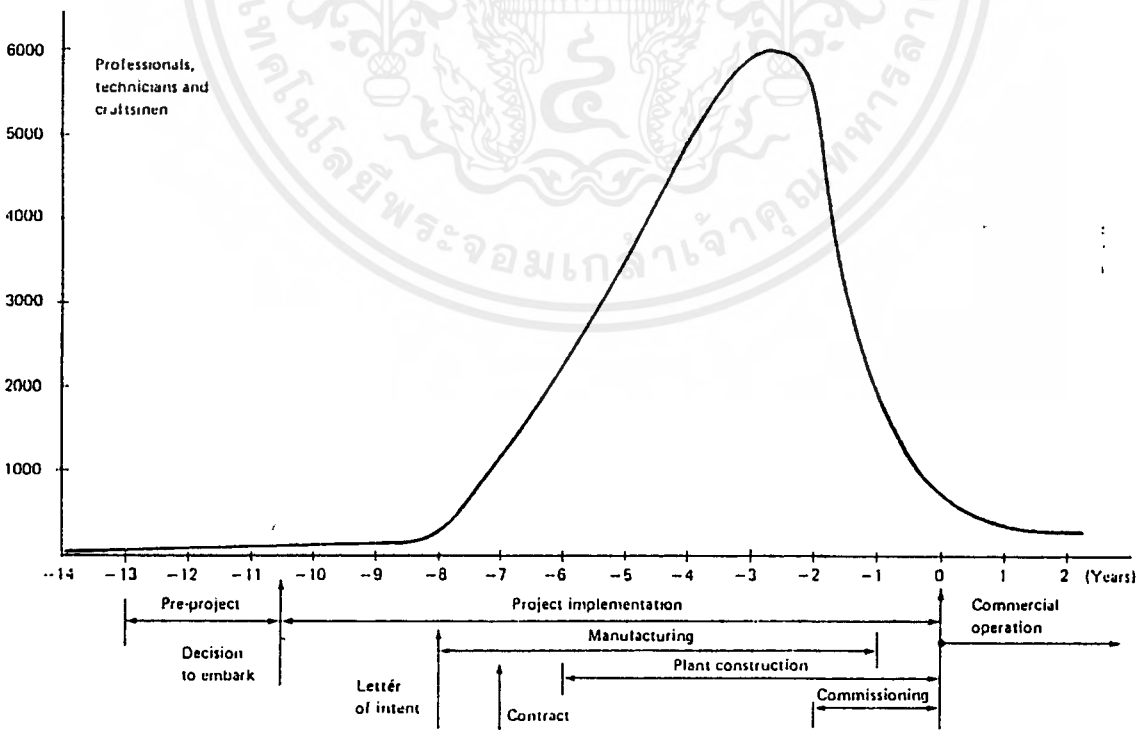
12. จัดให้มีการพัฒนาบุคลากรในระดับต่าง ๆ ให้เข้าใจและมีความรู้เกี่ยวกับงานเสมอ เช่น การประชุมสัมมนา การอบรม การประชุมปฏิบัติการ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.การจัดการกำลังคน

กิจกรรมทางโครงการพลังงานนิวเคลียร์ ต้องการกำลังคนในฝ่ายต่าง ๆ และระดับต่างๆ เป็นจำนวนมากในการจัดรูปแบบที่ต่างกัน การจัดการจะแสดงในรายละเอียดของกิจกรรมต่างๆ ในโครงการ ซึ่งจะกล่าวต่อไป จำนวนทั้งหมดที่ต้องการมาจากปัจจัยที่ต่างๆ กันของแต่ละประเทศ ซึ่งการจัดการหลักจะแล้วแต่โครงการ ซึ่งขึ้นอยู่กับมาตรฐาน และแหล่งที่ตั้ง กำลังการผลิตโรงงาน ไม่มีผลกระทบต่อจำนวนคนที่ต้องการ ของกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การจัดการโครงการ , การควบคุมคุณภาพ , การบริหารและการบำรุงรักษา แต่จะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อกิจกรรมการจัดหา เครื่องมือและการก่อสร้างโรงงาน การจัดการกำลังคนที่จะกล่าวต่อไป สามารถใช้ได้กับโรงงานที่มีขนาดระหว่าง 600-1300 MW(e)

การจัดการกำลังคนทั้งหมดแสดงไว้ดังรูป

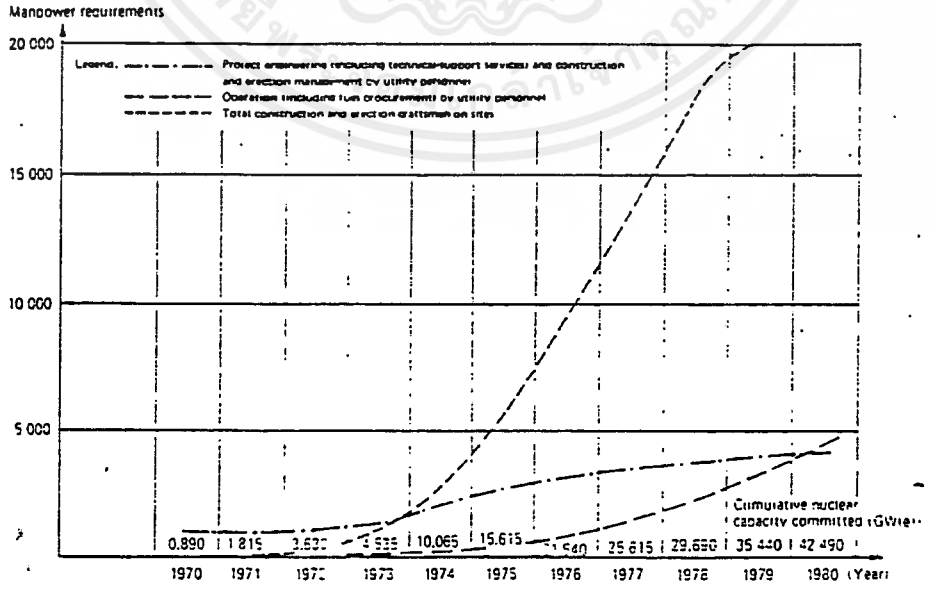


รูปที่5.14 แสดงความต้องการกำลังคนโดยรวมของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขั้นตอน Pre-Project และในช่วงแรกของการดำเนินการ มีการจัดการค่อนข้างน้อย (50-100) แต่ต้องการมีผู้เชี่ยวชาญสูง การจัดการจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการมอบหมาย (การเสนอราคา , การทำสัญญา) ให้ตั้งโรงงานแล้ว ขั้นตอนการจัดหาและการก่อสร้างเป็นขั้นตอนที่ใช้กำลังคนมากที่สุดประมาณ 50 คน กำลังคนส่วนใหญ่ (85%) เป็นช่างเทคนิคและช่างฝีมือ ในโครงการพลังงานนิวเคลียร์การจัดการกำลังคนซึ่งไม่มีความชำนาญมีจำนวนน้อยมาก(10%) อย่างไรก็ตามในบางประเทศอาจมีอัตราส่วนที่สูงขึ้น ขั้นตอนการออกแบบและการก่อสร้างต้องการความเชี่ยวชาญอย่างมาก สำหรับผู้จัดการโครงการและวิศวกร (250 - 350) ท้ายที่สุดสำหรับขั้นตอนการดำเนินการและการบำรุงรักษาต้องการ พนักงาน ที่ได้รับการฝึกอย่างดีประมาณ 170-270 คน โดยทั่วไปจะสามารถประมาณได้ว่าการจัดการกำลังคนสูงสุดประมาณ 6000 คน

แบบงานพลังงานนิวเคลียร์มีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ดังนั้นจึงไม่สามารถตั้งเกณฑ์ที่แน่นอนได้ กำลังคนที่ต้องการจะแปรผันอยู่ในช่วงไม่มีพันคนในประเทศไม่เคร่งทางด้านมาตรฐานมากนักไปจนถึง 100,000 หรือ 200,000 คนในประเทศที่เคร่งครัดในมาตรฐาน รูปที่ 5.15 แสดงตัวอย่างของการพัฒนาทางด้านการจัดการกำลังคน ในกิจกรรมด้านพลังงานนิวเคลียร์บางอย่างในประเทศฝรั่งเศส ซึ่งมีโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นจำนวนมาก



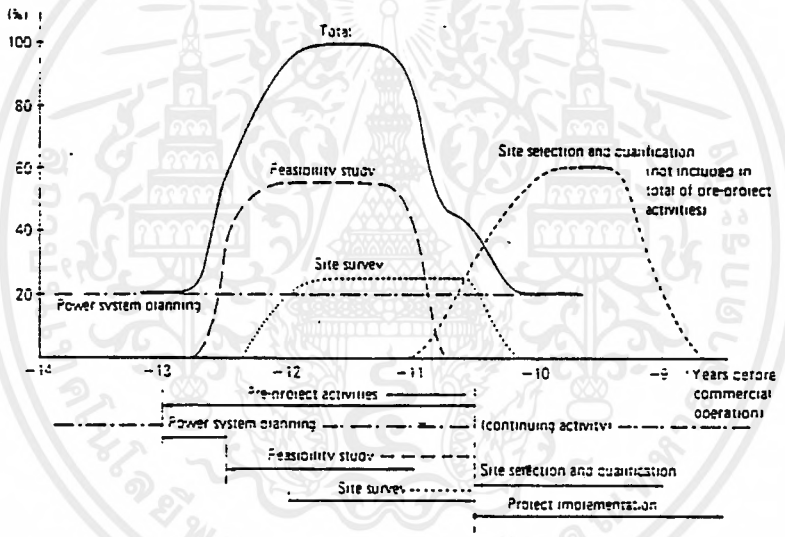
รูปที่5.15 แสดงตัวอย่างของการพัฒนาทางด้านการจัดการกำลังคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การจัดการกำลังคนในงานด้านต่างๆ</u>

1. การจัดการกำลังคนในช่วงงาน Pre- Project

กิจกรรมช่วง Pre -Project ต้องการงานที่เกี่ยวข้องไม่มากนัก แต่ต้องการผู้ทำงานที่มีความชำนาญสูง ตาราง 1.12-1 แสดงรายการกำลังคนที่ต้องการและการเลือกเทคนิค รูป 5.17 แสดงกราฟสำหรับงานนี้ต้องจำไว้เสมอว่า งาน Pre-Project ต้องคำนึงถึงความร่วมมือของคนในประเทศด้วย เมื่อกิจกรรมนี้เริ่มสอดคล้องกับงบประมาณที่ตั้งไว้ การทำงานจะต้องการการดูแล และการประสานงานร่วมกันทางด้านการส่งและตรวจสอบข้อมูล พนักงาน ที่มีประสบการณ์ จะต้องทำงานให้ประสานกับความยืดหยุ่นของงานนี้

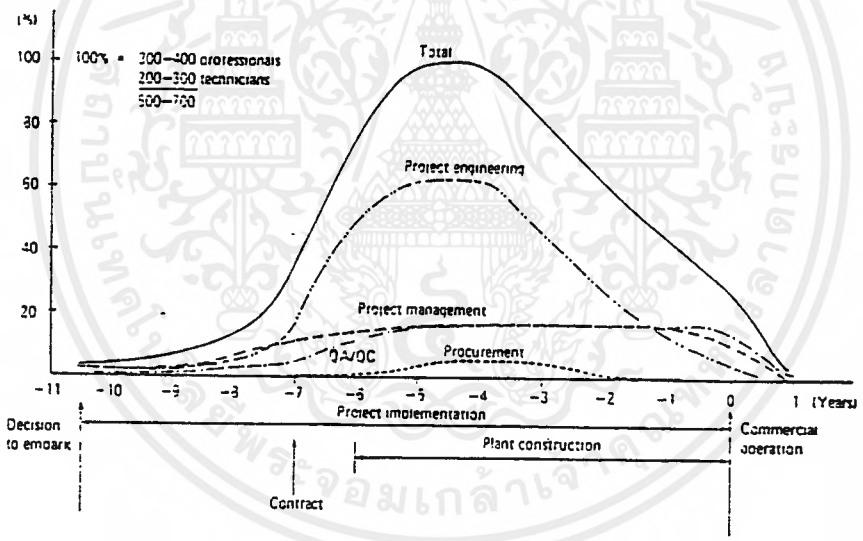


รูปที่5.16 แสดงกราฟสำหรับงานช่วง pre-project

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจัดการกำลังคนในช่วงการสานต่อโครงการ

การจัดการกำลังคนและการเลือกเทคนิคในกิจกรรมหลักต่างๆ แสดงดังตาราง 1.12-2 ถึง 1.12-5 เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ประยุกต์ใช้ได้ในตารางสรุปไว้ใน Section 1.12 ความสอดคล้องของการใช้กำลังคนแสดงดังในกราฟ รวมอยู่ใน Section 1.13 จากการศึกษาทำให้ทราบว่าการจัดการผู้เชี่ยวชาญประมาณ 300-400 คน และช่างเทคนิคประมาณ 200-300 คน ในการปฏิบัติกิจกรรมนี้ ผลรวมของกำลังคนที่ต้องการแสดงในรูป 1.3-7 อย่างไรก็ตามกำลังคนก็แปรผันต่อเงื่อนไขของสถานที่ต่าง ๆ กัน การจัดการกำลังคนเพิ่มสำหรับการจัดการ และการเผื่อในเรื่องทั่วไปมักมีอยู่เสมอ แต่คนเหล่านี้ไม่จำเป็นต้องมีความรู้เป็นพิเศษด้านพลังงานนิวเคลียร์และไม่รวมอยู่ในการประมาณกำลังคน

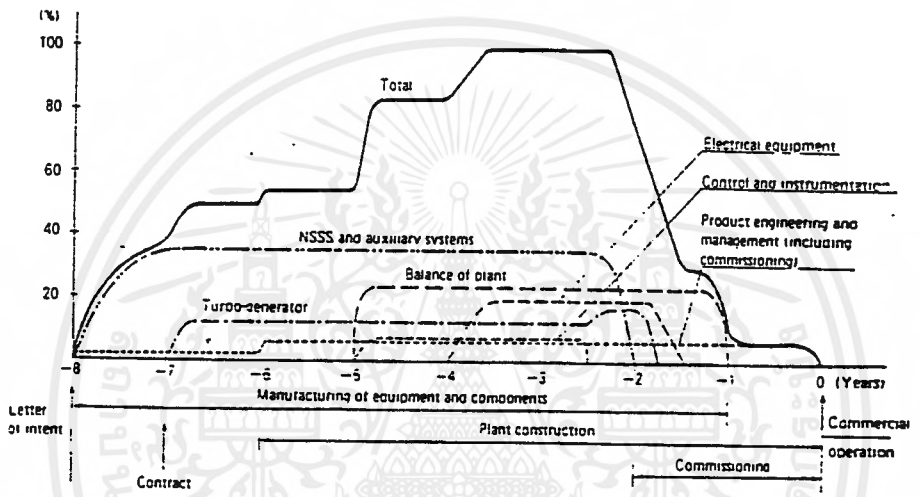


รูปที่5.17 แสดงกราฟสำหรับงานช่วง project implementation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การจัดการกำลังคนในงานจัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์

การจัดการกำลังคนโดยรวมสำหรับงานจัดหาเครื่องใช้และอุปกรณ์ (ไม่รวมการติดตั้ง) ประมาณว่าต้องการผู้เชี่ยวชาญ , ช่างเทคนิค และช่างมือรวม 3000 คน (ไม่รวมผู้ไม่มีประสบการณ์) ต่อโครงการ 1 โครงการ ดังแสดงในกราฟ 5.18 ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการแบ่งกลุ่มย่อยตามประเภทของเครื่องมือดังแสดงใน ตาราง 5.2



รูปที่5.18 แสดงกราฟสำหรับงานช่วงจัดหาเครื่องมือและอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1.4–1. MANPOWER EFFORT REQUIRED FOR EQUIPMENT MANUFACTURING
(Example: Federal Republic of Germany)

Type of equipment	Effort in man-years			Average manufacturing time (a)
	Professionals and technicians	Craftsmen	Unskilled workers	
NSSS and nuclear auxiliary systems	1530	3750	1670	5–6
Turbo-generator unit	250	1170	610	4–5
Balance of plant	480	1670	830	3–4
Electrical equipment	130	1000	250	1–3
Instrumentation and control	60	500	50	2–4
On-site activities of the manufacturer	330	750	80	6–8
Co-ordinating and product engineering[a]	670	–	–	8–10

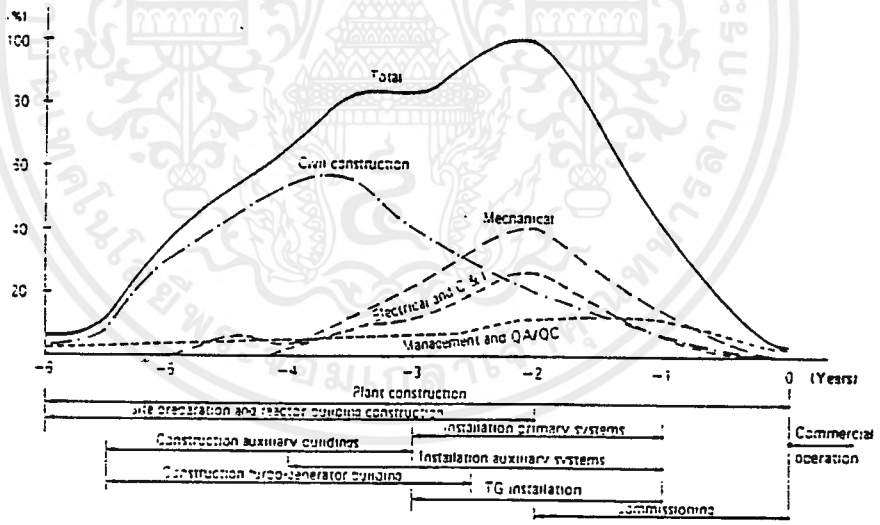
[a] A portion of the overall engineering and co-ordination effort of the manufacturer is assigned to each product.

ตาราง 5.2 กำลังคนที่ต้องการในงานด้าน manufactoring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การจัดการกำลังคนในงานก่อสร้างโรงงาน

ตาราง 1.12-6 แสดงการประเมินค่ากำลังคนที่ต้องการและการเลือกเทคนิคในการตั้งโรงงาน รูป 5.17 แสดงกราฟเกี่ยวกับการใช้กำลังคน กำลังคนที่ใช้โดยรวมประมาณ 10 ล้านชั่วโมง นับเฉพาะช่างที่มีประสบการณ์ ช่างเทคนิค และช่างฝีมือเท่านั้น โดยใช้คนประมาณ 2300-3700 คน ถ้าหากการปฏิบัติงานทำในลำดับที่ถูกต้องการจัดการจะไม่ขึ้นสูงสุด โดยรวมแล้วจะมีค่าประมาณ 2000 คน สถานที่ตั้งและลักษณะเฉพาะของแต่ละแห่งมีผลอย่างมาก ต่อกำลังคนที่ใช้สำหรับการติดตั้งเครื่องมือ การก่อสร้าง และการวางระบบ ซึ่งเราสนใจเฉพาะกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับความร่วมมือของประชากร(ดู Section 2.3 และ ตาราง 2.3-1) ดังนั้นการจัดการกำลังคนสามารถแปรผันได้อย่างมากขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งของโครงการ



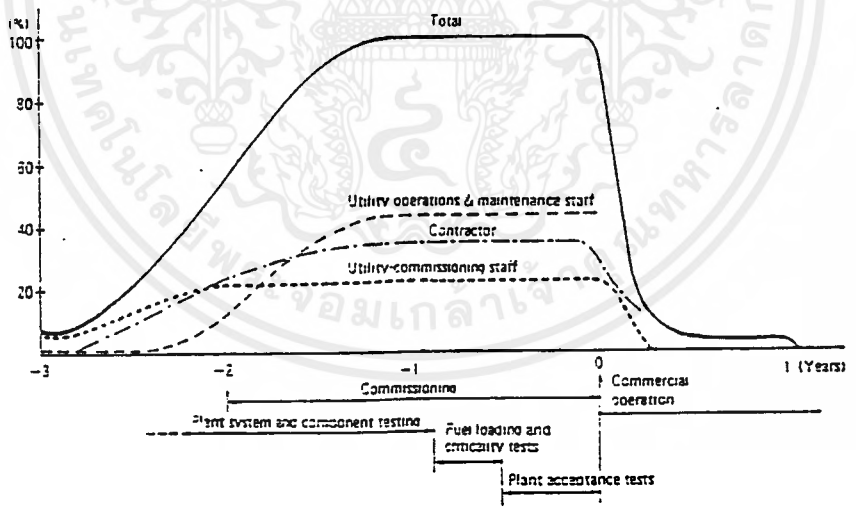
รูปที่5.19 แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วงก่อสร้างโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กำลังคนที่ต้องการในการเปิดใช้งาน

กลุ่มที่มีหน้าที่รับผิดชอบประกอบด้วย กลุ่มที่ทำหน้าที่ก่อสร้าง , ติดตั้ง และบริหารบุคคล จากสัญญารับเหมา หลังจากแบ่งหน้าที่เสร็จแล้ว พนักงานจะกลับสู่กลุ่มเดิมของตน บางครั้งรูปแบบที่เป็นทางการอาจไม่จำเป็นต้องตั้งขึ้นแต่มันจะมีขึ้นเอง ดังตัวอย่างในรูปที่ 1.6-2 ผู้ควบคุม โรงงาน อาจเป็นผู้รับเหมาใหญ่ ซึ่งจะควบคุมการทดสอบ โรงงาน ภายใต้สัญญาแบบ Turnkey หรืออาจแบ่งไปตามการใช้งานภายใต้สัญญาแบบอื่น ๆ

กำลังคนที่ต้องการ และเทคนิคที่ใช้โดยรวมสำหรับการเปิดใช้งานดังแสดงในตาราง1.13-7 ถ้าหากมีผู้รับเหมารับผิดชอบโครงการทั้งหมด ส่วนใหญ่ การจัดสรรกำลังคนจะเป็นหน้าที่ของเขาเอง ในรูป5.20 แสดงกราฟการใช้กำลังคนสำหรับการจัดสรรหน้าที่



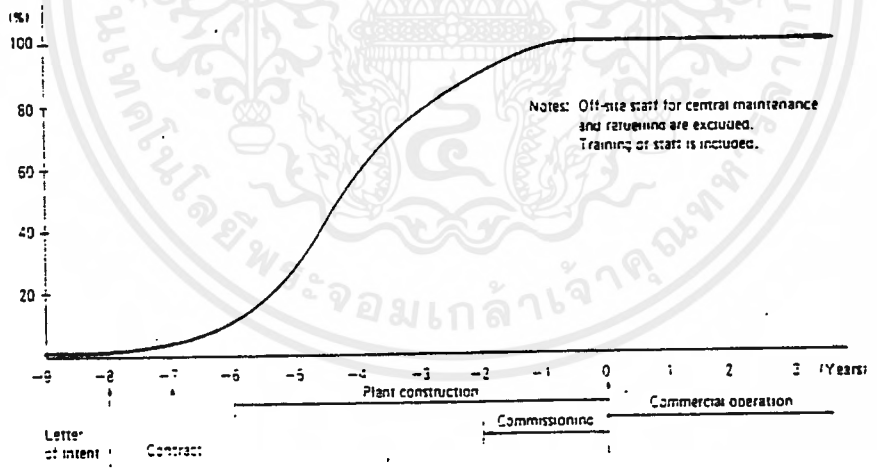
รูปที่5. 20 แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วง commission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กำลังคนที่ใช้ในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา โรงงาน

จำนวนและคุณสมบัติของบุคคลที่ต้องการ ไม่ขึ้นกับขนาดของ โรงงาน ที่ต้องการ สำหรับ โรงงาน ที่มีมากกว่าหนึ่งหน่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากหน่วยนั้นเหมือนกัน จำนวนบุคคลที่ลดลงเล็กน้อยอาจมองข้ามไปได้ การตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของกลุ่มปฏิบัติงาน และกลุ่มบำรุงรักษากำหนดขึ้นตามความเป็นไปได้ที่จะเกิดความเสียหายขึ้นขณะทำการติดตั้ง ในประเทศที่มีโรงงานนิวเคลียร์ไม่มาก เป็นการยากที่จะเลือกบุคคลากร ถ้าหากจำนวนโรงงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจำนวนรวมของบุคคลากรอาจลดลงได้

จำนวนบุคคลากรที่ใช้ในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาโดยรวม (ไม่รวมการฝึกและการดำเนินการ) ประมาณ 170-270 คน ตาราง 1.12-8 แสดงการกระจายตามเกณฑ์สำหรับโรงงานแรกจำนวนคนจะมากและอาจลดลงเมื่อตั้งโรงงานโรงต่อไป รูป5.21 แสดงการกระจายกำลังคนในการทำงานช่วงนี้



รูปที่5. 21. แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วงดำเนินการและบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กำลังคนที่ต้องการในงานระบบเชื้อเพลิง

จำนวนคนที่ต้องการในกิจกรรมนี้ขึ้นอยู่กับประเภท และจำนวนของกิจกรรมที่ต้องทำตามกฎของประกาศ สำหรับประเทศที่มีกิจกรรมที่จำเป็นต้องทำเกี่ยวกับประเทศน้อย ๆ จำนวนคนที่ต้องการจะค่อนข้างน้อยด้วย สำหรับกิจกรรมที่ประกอบด้วยการจัดหาวัตถุดิบสำหรับวงจรเชื้อเพลิง และการบริหารต้องการกลุ่มผู้เชี่ยวชาญประมาณ 6-8 คน สำหรับการจัดการด้านเชื้อเพลิง กำลังคนที่ต้องการขึ้นกับประเภทของวงจรเชื้อเพลิงที่ใช้ ไม่นับรวมการนำกลับมาใช้ใหม่ (ภายในประเทศหรือต่างประเทศ) การจัดการเชื้อเพลิงที่ใช้และต้องการกำลังคนประมาณ 100-200 (10-20% เป็นผู้เชี่ยวชาญ) กำลังส่วนมากใช้สำหรับควบคุมการจัดเก็บเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วภายในประเทศ ขั้นตอนการสำรวจยูเรเนียม ต้องการช่างและผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการฝึกหัดอย่างดี และมีประสบการณ์ประมาณ 20-30 คนขั้นตอนการขุดเจาะขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบเป็นสำคัญ และควรจะมี Yellow cahe จำนวน 100 ตันต่อปี เพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนาของโรงงาน ตาราง 5.3 แสดงจำนวนคนที่ต้องการสำหรับ (2000 t/d mining - milling) ประมาณ 300-400 คน (10% เป็นผู้เชี่ยวชาญ)

	Personnel required
General management (mining-milling)	2–3
Mining	
Management	2–4
Professionals, supervisors, technicians	20–30
Labour-craftsmen	120–150
Milling	
Management	2–4
Professionals, supervisors, technicians	20–30
Labour-craftsmen	60–80
Associated departments	
Management	2–4
Professionals, technicians	10–15
Labour-craftsmen	50–70
Administration	10–20
Total (rounded)	300–400

[1] Example of manpower requirements for a mine-mill complex processing 2000 tonnes of ore per day, in open pit operation.

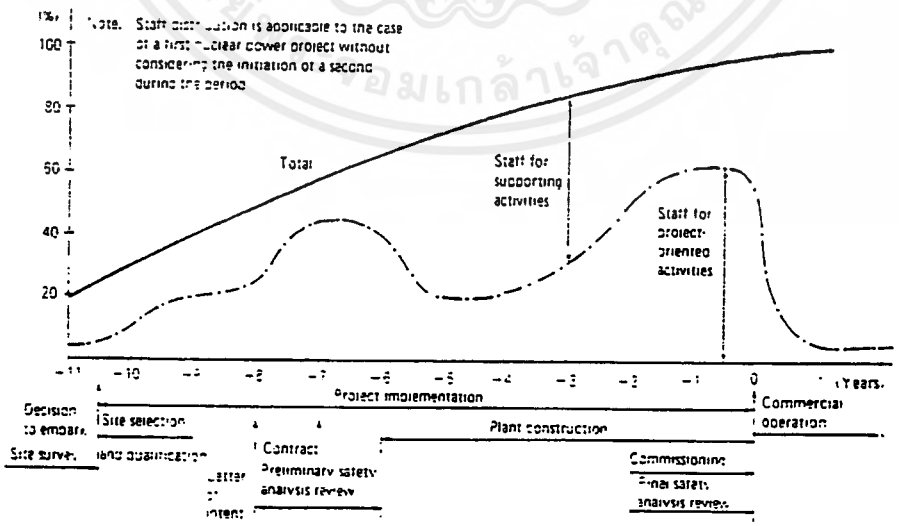
ตาราง5.3 แสดงการกระจายกำลังคนในงานขุดสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. กำลังคนที่ต้องการสำหรับส่วนควบคุมโรงงาน

กำลังคนที่ต้องการสำหรับควบคุมประมาณว่า 150-200 คน/ปี สิ่งที่ต่าง ๆ กัน เช่นรูปแบบองค์กร , กฎหมาย และระยะเวลาที่ใช้ทำให้ค่าเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงได้ขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศ ปัจจุบันแนวโน้มของกฎเกณฑ์ในเรื่องพลังงานนิวเคลียร์เคร่งครัดขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งไม่ใช่มีผลเฉพาะการจัดการด้านการออกแบบที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น ขั้นตอนการก่อสร้างและการดำเนินการ ยังเพิ่มขึ้นด้วยดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มจำนวนพนักงาน ที่ต้องการด้วย ขั้นตอนการควบคุมหน้าที่ของช่างเทคนิคและช่างฝีมือไม่มีความสำคัญมากนัก จำนวนกำลังคนที่ต้องการแสดงดังตาราง 1.12-10 แต่ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละประเทศดังแสดงในตาราง 1.12-10 ต้องการผู้เชี่ยวชาญประมาณ50-60 คน สำหรับส่วนของการควบคุม

เมื่อโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์โรงแรกเริ่มตั้งขึ้น องค์กรควบคุมพื้นฐานต้องเริ่มขึ้นโดยเริ่มจาก พนักงาน 15-20 คน แผนภูมิการใช้กำลังคนแสดงตามรูป 5.22 สำหรับการตั้ง โรงงาน เป็นครั้งแรก คุณภาพของ พนักงาน ไม่จำเป็นต้องมีความสามารถมากนัก



รูปที่5.22 แสดงกำลังคนที่ต้องการในช่วง licensing and regulation

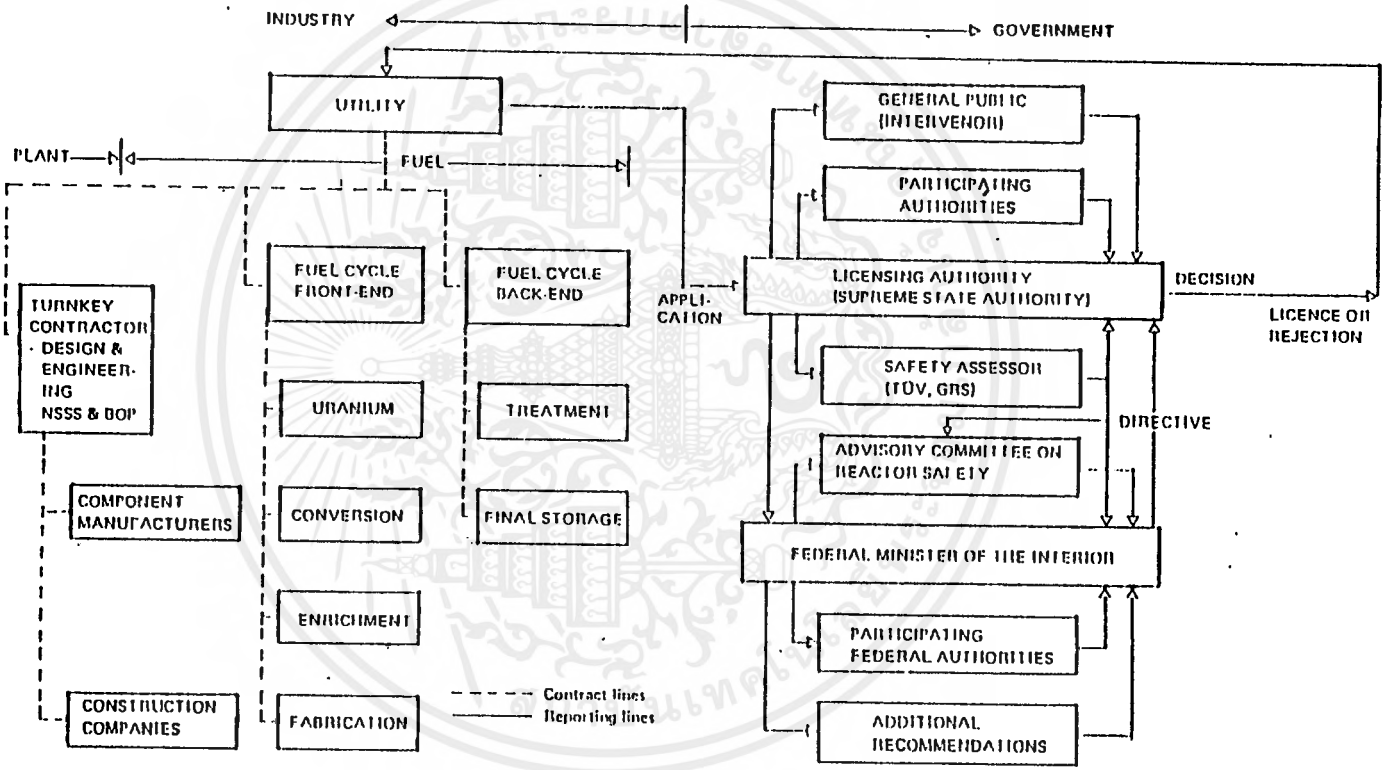
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.กำลังคนที่ใช้สำหรับการฝึก และการให้ความรู้

เมื่อการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ในโครงการพลังงานไฟฟ้านิวเคลียร์ กลุ่มคนกลุ่มหนึ่งมีความจำเป็นสำหรับการพัฒนาบุคคล การฝึกหัดบุคคล และการให้ความรู้แก่บุคคลอื่น ๆ เพื่อปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ขั้นตอนการพัฒนาบุคคลทำให้เกิดการจัดการกำลังคนที่ต้องการใช้สำหรับกิจกรรมนี้ขึ้น

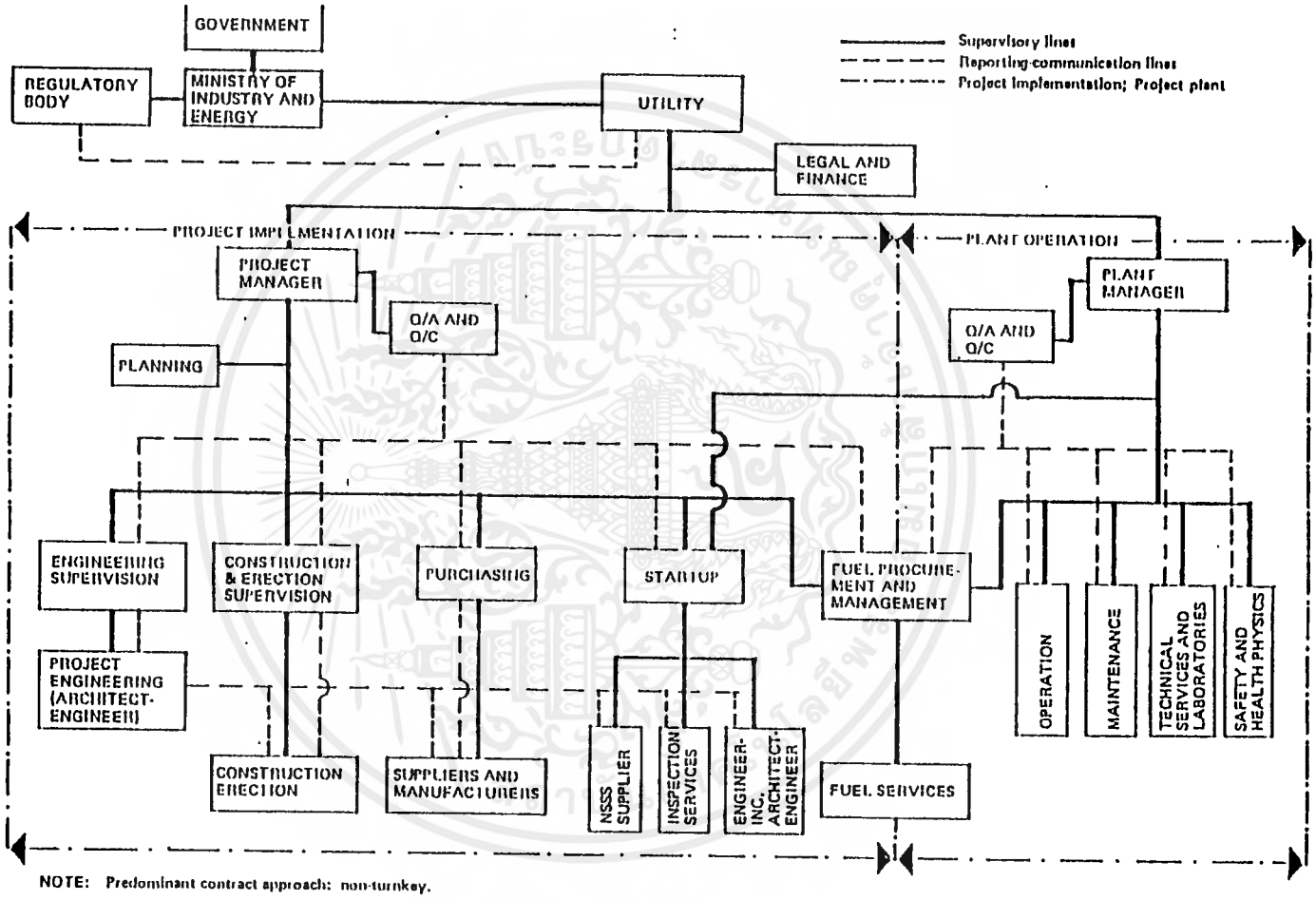
สำหรับประเทศที่เริ่มต้นทำโรงงานนิวเคลียร์ การขาดแคลนแรงงานที่มีคุณภาพทำให้การพัฒนาบุคคลากรเป็นงานที่สำคัญและจำเป็นต้องเริ่มทันที และสำหรับประเทศที่มีความรู้ทางด้านนิวเคลียร์น้อยมาก การนำเข้าความรู้จากต่างประเทศเป็นทางแก้ปัญหาเพียงทางเดียวเท่านั้น แต่ต้องจำไว้ว่าวิธีนี้ไม่สามารถใช้ได้ในระยะยาว และไม่ใช่วิธีที่ดี แต่ละประเทศต้องพัฒนาบุคคลากรของตนเองขึ้นมา ไม่เช่นนั้น โครงการโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ของประเทศนั้นจะไม่สามารถเป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



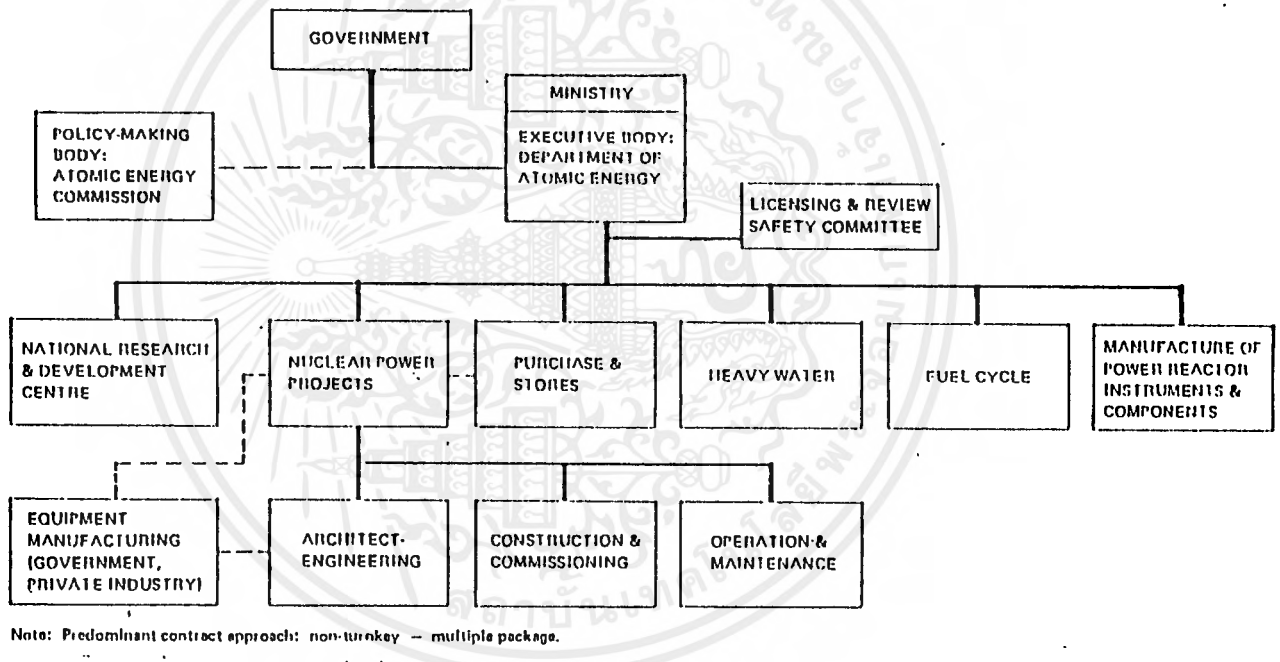
รูปที่5.23 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์(ประเทศเยอรมัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



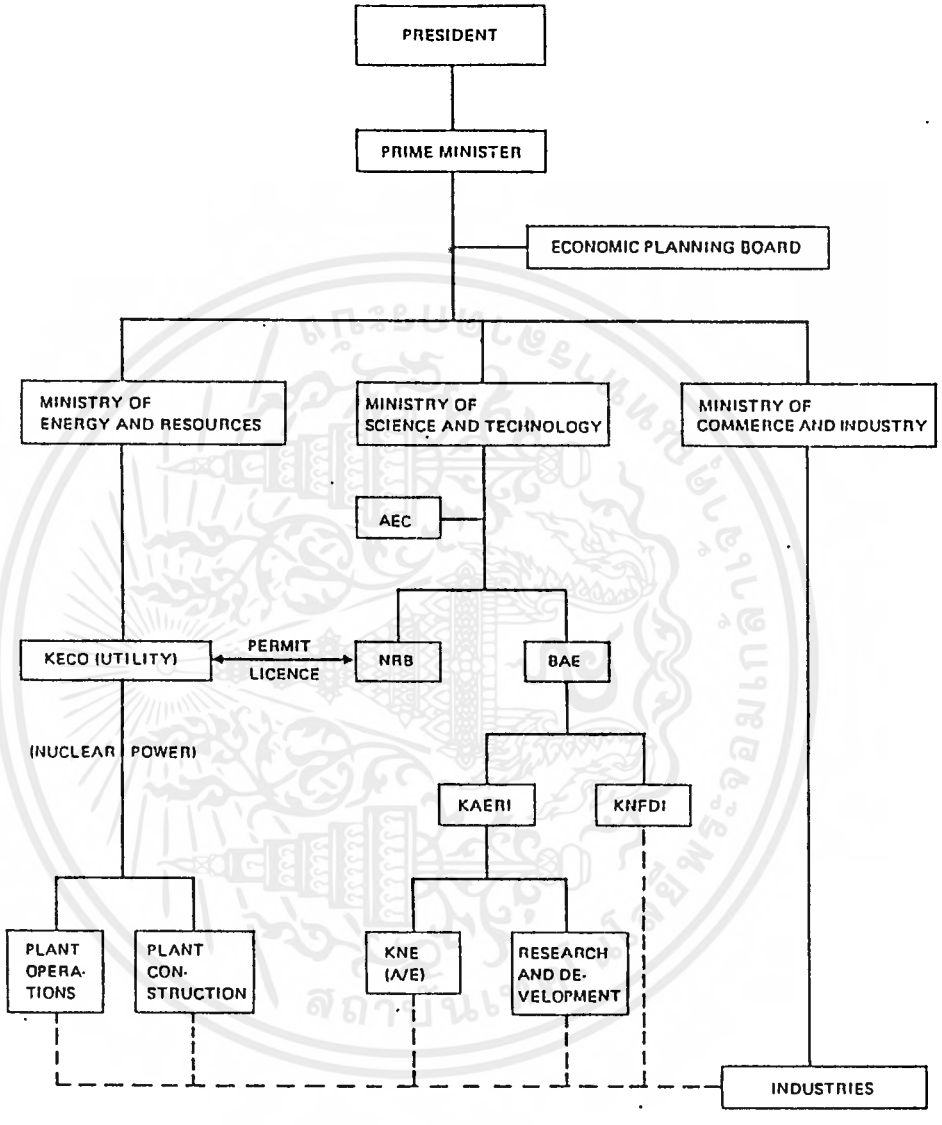
รูปที่5.24 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์(ประเทศสเปน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.25 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์(ประเทศอินเดีย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.26 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์(ประเทศเกาหลีใต้)

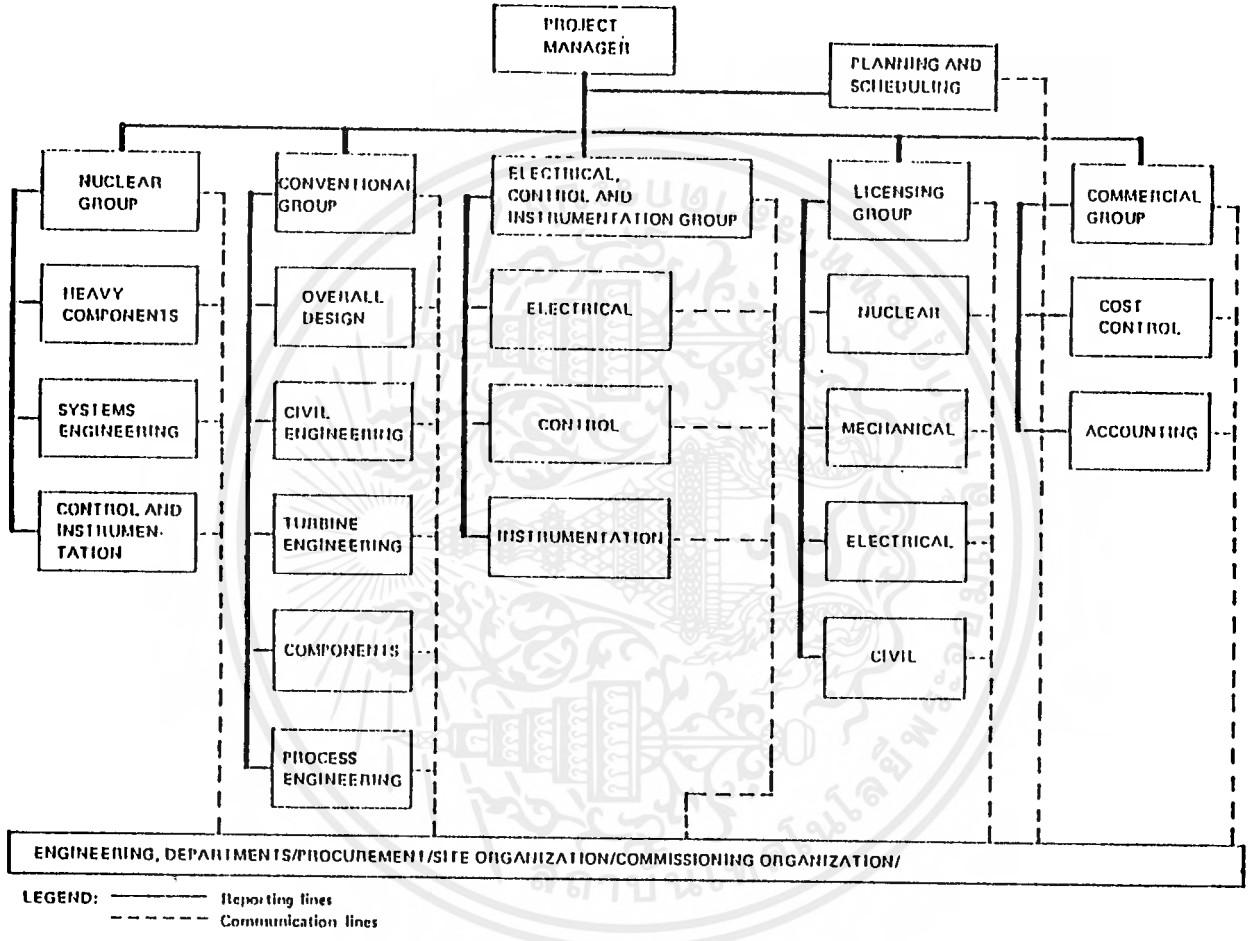
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMMENTARY TO FIG.1.1–5

Organization	Function
Economic Planning Board (EPB)	– National economic planning and development policy – Co-ordinate and make final decision on the major economic matters in the government – National budget – Foreign capital and technology inducement
Ministry of Energy and Resources (MOER)	– Responsible for energy and resources development – Nuclear power programme within scope of economic plans and policies set forth by EPB – Administrative control on all the activities of KECO
Ministry of Science and Technology (MOST)	– Planning and development of science and technology – Technical manpower development – Atomic energy development – Nuclear regulatory function including nuclear licensing, safety and safeguards
Ministry of Commerce and Industry (MCI)	– Industrial development – Export and import policies – Policy decision on national participation in the nuclear industries
Atomic Energy Commission (AEC)	– Advising Minister of MOST on atomic energy policy and planning matters, but no administrative functions (Eleven commissioners with two standing commissioners)
Korea Electric Company (KECO)	– Responsible for nuclear power plant construction and operation (government owned utility)
Nuclear Regulatory Bureau (NRB)	– Responsible for all the governmental nuclear regulatory activities such as licensing, safety and safeguards
Bureau of Atomic Energy (BAE)	– Planning of atomic energy development – Nuclear technology development – Nuclear manpower development
Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)	– Atomic energy research and development – Nuclear power technology development and technology transfer – Nuclear manpower training
Korea Nuclear Fuel Development Institute (KNFDI)	– Nuclear fuel fabrication – Nuclear fuel cycle technology research and development
Korea Nuclear Engineering Services (KNE)	– Nuclear power plant design and engineering – Exclusive right on nuclear power plant architect-engineering (AE) in the country and Korean counterpart for the foreign AE working on nuclear power projects (KECO holds major shares of the KNE but KAERI is responsible for the management of the company)
Industries	– Materials and components manufacturing for the nuclear power plants

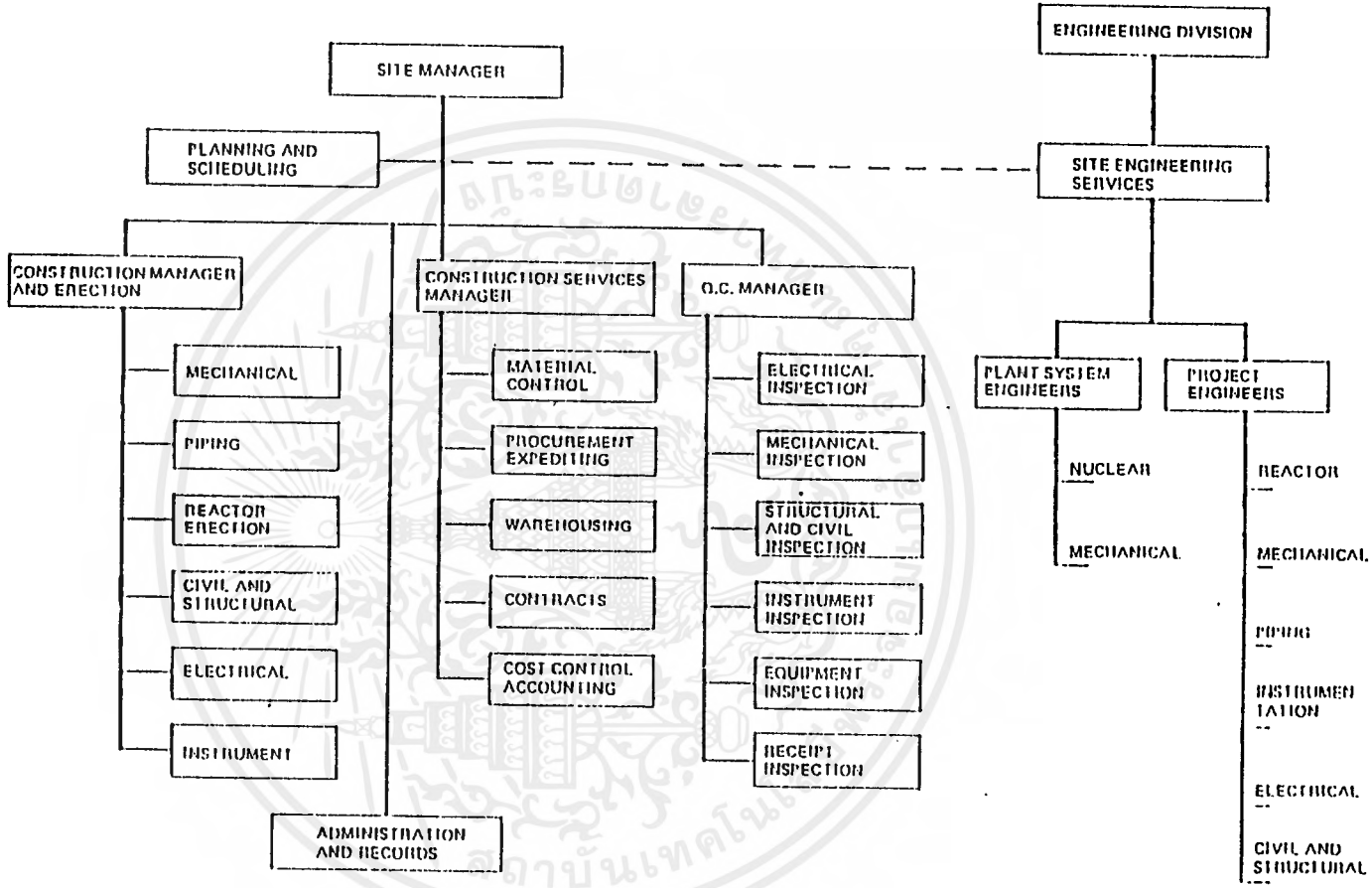
ตาราง5.4 แสดงคำจำกัดความสำหรับตัวอย่างประเทศเกาหลีใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



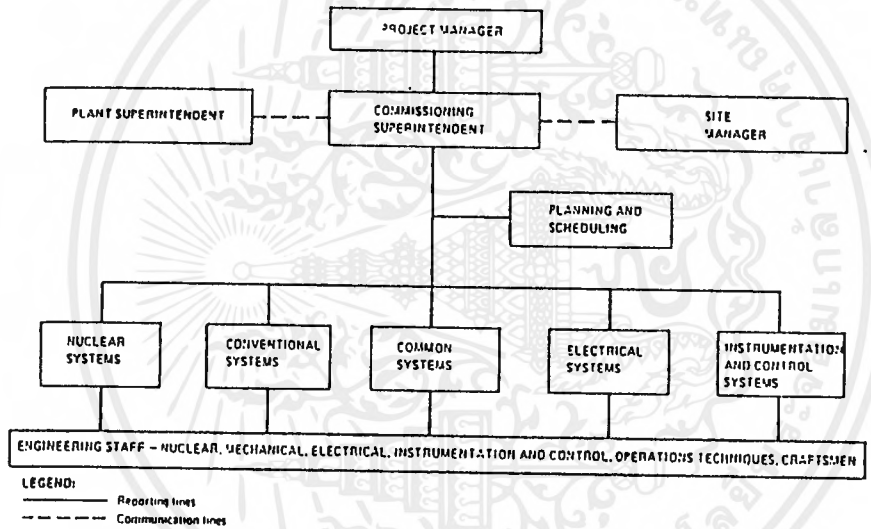
รูปที่5.27 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับการบริหารโครงการหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



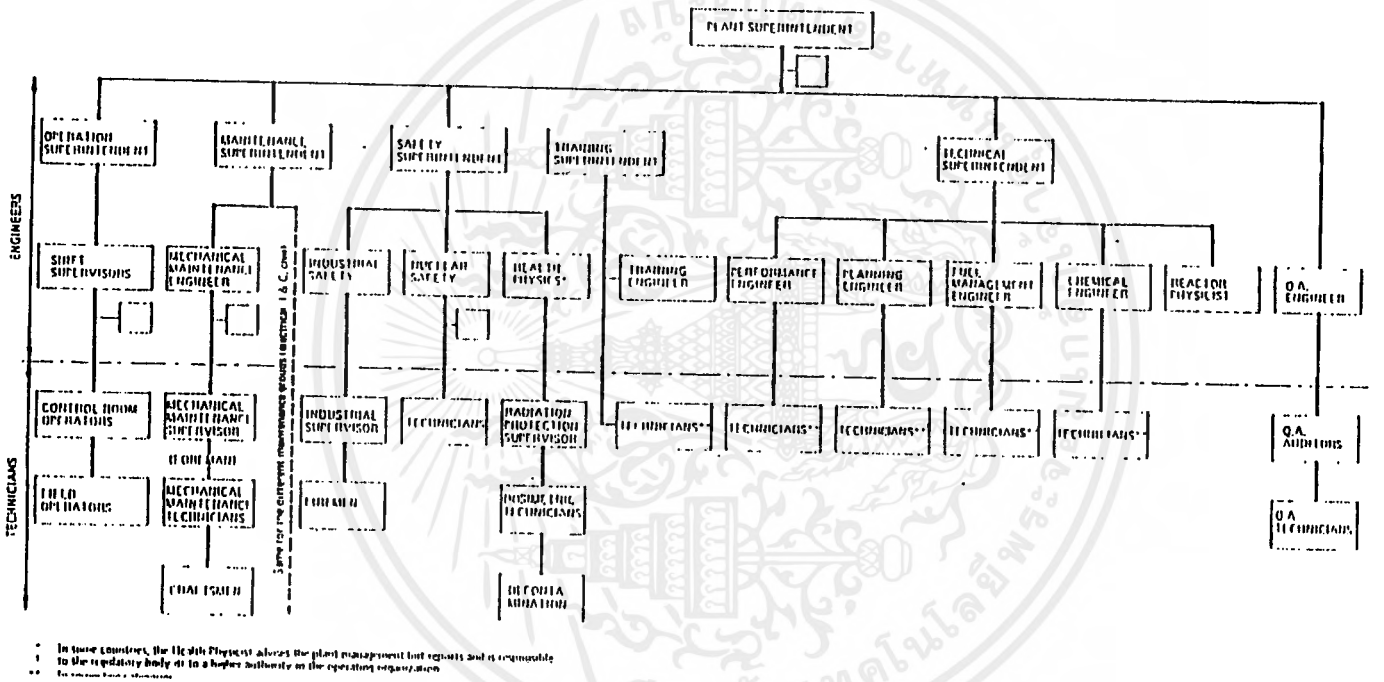
รูปที่5.28 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับการก่อสร้างโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



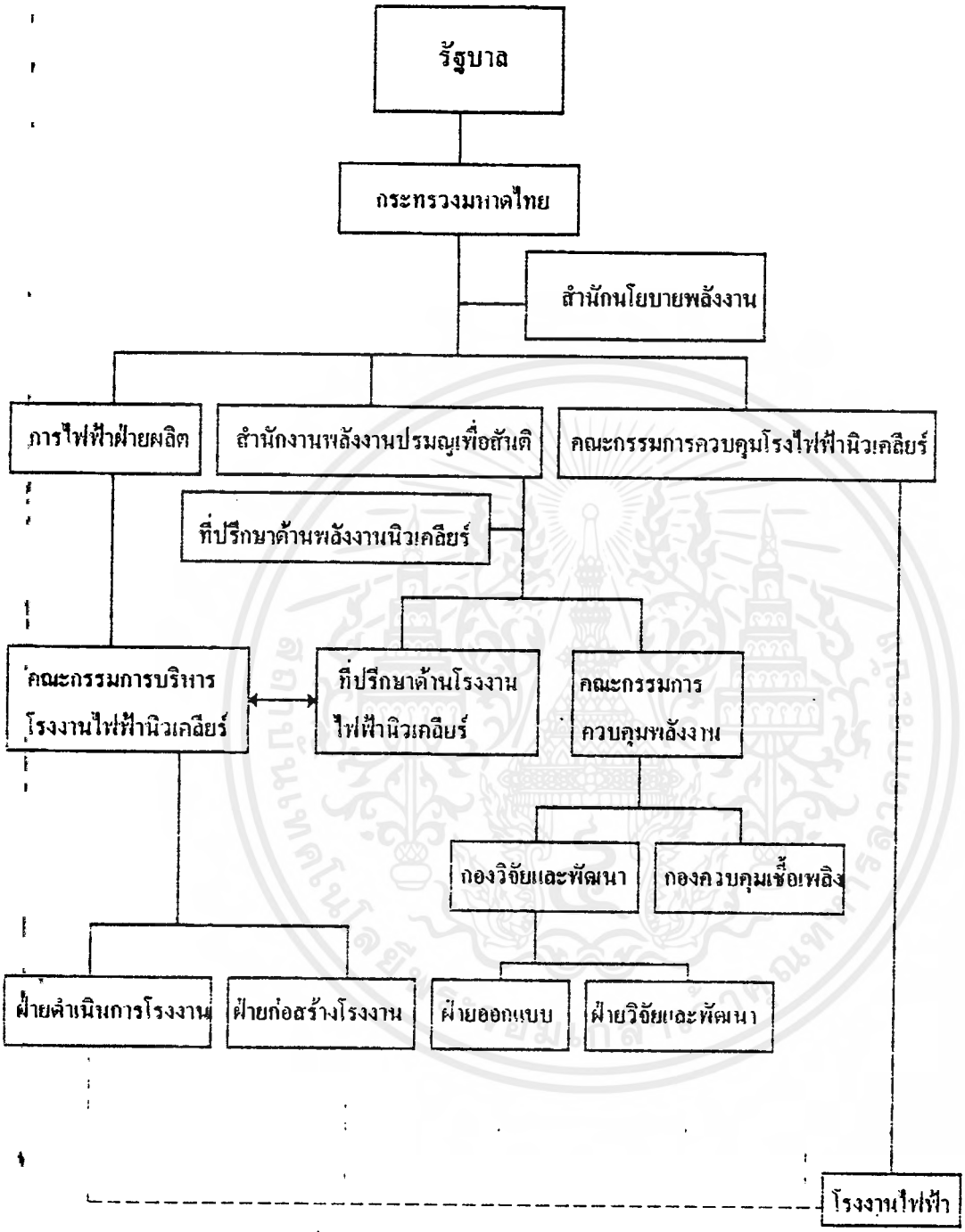
รูปที่5.29 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับการนำออกใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.30 แสดงตัวอย่างการจัดองค์การสำหรับการดำเนินการและการบำรุงรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่5.31 แสดงตัวอย่างองค์การควบคุมโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.แผนการพัฒนาบุคคลกรด้านนิวเคลียร์

หลักเกณฑ์ทั่วไปในการพัฒนาบุคลากรทางด้านพลังงานนิวเคลียร์

ลักษณะที่ต้องมีความปลอดภัยและเชื่อถือได้เป็นพิเศษ ในบุคลากรทางด้านนิวเคลียร์ ทำให้ต้องมีการวางโครงการพัฒนาบุคลากรทางด้านพลังงานนิวเคลียร์ ภายหลังจากความเข้าใจที่ว่า การพัฒนาบุคลากรนั้นจะต้องกระทำควบคู่ไปกับการพัฒนาพลังงานนิวเคลียร์ และจะต้องถือเป็นนโยบายปฏิบัติระดับชาติด้วย

โครงการพัฒนาบุคลากรทางด้านพลังงานนิวเคลียร์ถ้าเป็นไปได้ควรจะทำในรูปองค์ที่มีความร่วมมือ และต้องมีการควบคุมโดยกลุ่มที่ตั้งขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อรับผิดชอบ สำหรับการวางแผนและการดำเนินการไปตามหลักทฤษฎีและการฝึกปฏิบัติอย่างมีกฎระเบียบและมีการฝึกอบรมซึ่งจำเป็นมากในการพัฒนาบุคลากรทางด้านพลังงานนิวเคลียร์

สิ่งที่ต้องเน้นย้ำมากเป็นพิเศษคือ

- การดำเนินโครงการพัฒนาบุคลากรทางด้านพลังงานนิวเคลียร์จะไม่สามารถเป็นไปได้ถ้าบุคลากรภายในชาติไม่ให้ความร่วมมือ

- บุคลากรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเท่านั้น จึงจะถูกพิจารณาให้เข้าร่วมกับโครงการพัฒนาบุคลากร ด้านพลังงานนิวเคลียร์

- การพัฒนาบุคลากรเป็นกิจกรรมที่กินเวลานาน บางทีอาจใช้เวลา 10-15 ปี มีความจำเป็นจะต้องตั้งองค์กรระดับชาติ เพื่อดำเนินโครงการ

- ถึงแม้ว่าการจะพัฒนาบุคลากรดูเหมือนว่าจะต้องใช้เงินลงทุนสูงแต่ค่าใช้จ่ายด้านนี้ตะน้อยมากเมื่อเทียบกับการลงทุนในโครงการทั้งหมดของการใช้พลังงานนิวเคลียร์

จุดมุ่งหมายของแผนการพัฒนาบุคลากร

แผนการพัฒนาบุคลากรได้ถูกจัดขึ้นให้อย่างน้อยที่สุดสามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่จะต้องใช้ในโครงการพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งในแต่ละประเทศที่มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปในแผนงาน

เพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายของแผนการพัฒนาบุคลากรด้านพลังงานนิวเคลียร์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้น แผนงานควรเป็นดังนี้

(a) จะต้องพัฒนาบุคลากรให้มีจำนวนเพียงพอที่มีคุณสมบัติจำเป็นในงานด้านพลังงานนิวเคลียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องฝึกบุคลากรที่มีคุณสมบัติเพียงพอเพื่อจะได้มั่นใจในความน่าเชื่อถือ และความปลอดภัยในการใช้งานพลังงานนิวเคลียร์ บุคลากรที่มีคุณสมบัติไม่เพียงพอควรจะแยกออกจากกิจกรรมที่มีความสำคัญ การเพิ่มบุคลากรไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเท่าไหร่เมื่อเทียบกับคุณภาพงานซึ่งอาจจะไม่น่าพอใจ และยังเป็นการเสียทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ บุคลากรที่มีความสามารถพอที่จะทำงานกิจกรรมทางด้านพลังงานนิวเคลียร์ไม่สามารถแทนกันได้กับบุคลากรจำนวนมาก แต่ขาดคุณสมบัติที่เพียงพอ

(b) <u>เพื่อสร้างความมั่นใจว่าจะจัดหาบุคลากรได้เหมาะสมกับเวลา</u>

แผนพัฒนาบุคลากรจะต้องจัดทำเป็นตารางเพื่อจะให้ได้การศึกษาและการฝึกอบรมเหมาะสมตามเวลาของแผนพัฒนาบุคลากรด้านพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งได้วางตารางเวลาเอาไว้ ความล่าช้าในการพัฒนาอาจเกิดจากการฝึกอบรมด้านตัวบุคคลมากเกินไป อาจทำให้แผนล่าช้าซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ในขณะที่การคัดเลือกบุคลากรอย่างรวดเร็วจะทำให้กิจกรรม หรือหน้าที่สูญเสียไป และอาจทำให้เทคนิคและความชำนาญบางอย่างขาดไป

ถ้าตารางแผนพัฒนามีความล่าช้าอยู่บ่อย ๆ เนื่องจากสาเหตุหลาย ๆ อย่าง ซึ่งจะต้องมีการปรับแผนเพื่อความเหมาะสม พลังงานนิวเคลียร์ถูกพิจารณาว่าเกี่ยวข้องกับการศึกษาและเทคโนโลยี และกิจการต่าง ๆ ในโครงสร้างพื้นฐานของชาติซึ่งจะมีพื้นฐานจากอุตสาหกรรม

(c) <u>ความเชื่อมั่นที่จะใช้เวลาเพียงพอสำหรับการฝึกอบรม</u>

เพื่อที่จะให้การฝึกอบรมมีประสิทธิภาพ ระยะเวลาการฝึกอบรมเพื่อที่จะถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยี ที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ทางกิจกรรมทางนิวเคลียร์ ซึ่งจะต้องเตรียมบุคลากรเพื่อกิจกรรมดังกล่าวโดยเฉพาะ การรีบร้อนในการฝึกอบรมจะทำให้ การตัดสินใจในกิจกรรมบางอย่างไม่ดีพอ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง

(d) <u>การเลือกเทคนิคให้เหมาะสมกับอายุ ระดับความคิด และการตัดสินใจ</u>

ความสมดุลของบุคลากรเป็นสิ่งที่จำเป็น ที่จะสนับสนุนให้การฝึกหัด ความมั่นคงขององค์กร ในระยะอันยาวนาน ซึ่งจะทำให้สามารถปฏิบัติตามกิจกรรมที่ต้องการได้ ปัญหาบางอย่างควรละเว้นออกไป ไม่ต้องนำมาเกี่ยวข้อง เช่น การขาดไปของการบริหาร เนื่องจากการลาออกของผู้จัดการ ซึ่งควรจะทำเป็นโครงการต่อไปโดยหาบุคลากรที่มีประสบการณ์ที่เหมาะสมมาแทน

(e) <u>ความมั่นใจที่แผนพัฒนาจะสนับสนุนโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ในระบบการศึกษา เทคโนโลยีและอุตสาหกรรม</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาบุคลากรตามกิจกรรมทางพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งจะต้องพิจารณาให้อยู่ภายใต้แผนพัฒนาของประเทศ

(f) โอกาสในการฝึกอบรมที่มีประสิทธิภาพ

การฝึกอบรมในต่างประเทศควรจะทำหลังจากฝึกอบรมในประเทศเสร็จเรียบร้อย และที่การฝึกอบรมในต่างประเทศมีความจำเป็น เมื่อมีความชำนาญและการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เป้าหมายของการพัฒนาบุคลากรควรจะยกระดับการศึกษาภายในชาติ ไม่ใช่ว่าจะเพิ่มประสิทธิภาพเฉพาะตัว

(g) การดงไว้ซึ่งบุคลากร

การพัฒนาบุคลากรจะช่วยทำให้มีความชำนาญ และมีส่วนส่งเสริมทางด้านเศรษฐกิจและสร้างความชำนาญในด้านเศรษฐกิจ สังคมสิ่งแวดล้อม นำไปสู่การพัฒนาอาชีพต่าง ๆ

การจัดจำแนกบุคลากร - คำจำกัดความ

ความต้องการบุคลากรด้านพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งมีเนื้อหาและความหลากหลาย ซึ่งต้องการชนิดของบุคลากรแตกต่างกันออกไป ซึ่งเป็นที่ที่ยากในการฝึกอบรม ซึ่งต้องใช้เวลานาน และต้องฝึกอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สร้างความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือได้ในการทำงานด้านพลังงานนิวเคลียร์ บุคลากรด้านเทคนิคจะรวมถึงผู้จัดการด้านเทคนิค , วิศวกร , นักวิทยาศาสตร์ , ช่างเทคนิค , นักเทคนิควิทยา , แรงงานมีฝีมือ บุคลากรด้านเทคนิคสามารถจัดแบ่งได้เป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภทคือ

1) Professionals ผู้ชำนาญการ

2) Technician ช่างเทคนิค

3) Craftsmen ช่างฝีมือ

- ผู้ชำนาญการ (Professionals) จะหมายถึงผู้ที่มีความสามารถด้านงานบริหาร , เทคนิค มีระดับการศึกษาอย่างต่ำปริญญาตรีทางสายวิทยาศาสตร์ (B.S.) หรือเทียบเท่า จากสถาบันการศึกษาระดับสูง

- ช่างเทคนิค (Technician) หมายถึงผู้มีความชำนาญงานที่มีความชำนาญน้อย แต่ได้รับการฝึกอบรมด้านเทคนิค และมีระดับการศึกษาอย่างน้อยเรียนในโรงเรียนปีที่ 12 (GRADE 12 = ม. 6) แต่น้อยกว่าระดับของผู้ชำนาญการ ช่างเทคนิคจะถูกฝึกอบรมอย่างเคร่งครัดเกี่ยวกับเครื่องกล , เคมี , ไฟฟ้า , อิเลกทรอนิกส์หรือเทคนิคเฉพาะทาง เช่น การป้องกันรังสี , เครื่องมือวัดคุมต่าง ๆ , การทดสอบวัสดุ , การควบคุมคุณภาพ , การควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ช่างฝีมือ (Craftsmen) หมายถึง แรงงานมีฝีมือซึ่งจะแบ่งแยกตามการฝึกอบรมและประสบการณ์ และจะมีความชำนาญเฉพาะงานบางอย่าง และสามารถทำกิจกรรมอาศัยอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ได้ เช่นคนงานด้านงานเชื่อม , งานไฟฟ้า , งานท่อ , งานอุปกรณ์หนัก

<u>การปฏิบัติและวิธีการ</u>

สิ่งที่กลุ่มทำงานในระดับชาติควรจะทำให้เกิดขึ้นคือ

- วางแผนการประสานงานและการดำเนินโครงการของแผนพัฒนาบุคลากรด้านพลังงานนิวเคลียร์ในระดับชาติ

- ตรวจสอบดูโครงสร้างพื้นฐานระดับชาติ (Infrastructure) ดูจากระดับการศึกษา , การพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี อุตสาหกรรมภายในประเทศพัฒนาเป็นอย่างไร

- กำหนดลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของชาติที่ควรจะเป็น ซึ่งอาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างต่าง ๆ ภายในชาติ เช่น รูปแบบองค์กรของรัฐบาล , กฎหมาย และข้อกำหนดต่าง ๆ ของประเทศ

- เชื่อมั่นในคุณภาพและความเข้มข้นมาตรฐานการศึกษาและการฝึกอบรม

- จับตามองแผนพัฒนาบุคลากร เพื่อจะได้มั่นใจได้ว่า

- คุณภาพและปริมาณของบุคลากรมีประสิทธิภาพเพียงพอในการปฏิบัติงานตามกิจกรรมต่าง ๆ

- การฝึกอบรมดำเนินไปตามกำหนดเวลา , เมื่อบุคคลถูกเลือกเข้ามาทำกิจกรรมของคนนั้น ๆ

ทีมงานควรทำการศึกษาลักษณะหน้าที่ของงานต่าง ๆ และนำมาปรับปรุงให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาบุคลากร โดยอาจมีการแลกเปลี่ยนความรู้กับผู้จัดการในส่วนต่าง ๆ ของโครงการด้านพลังงานนิวเคลียร์เพื่อจะได้ทราบถึงว่า ลักษณะบุคลากรที่ต้องการเป็นอย่างไร ต้องมีความชำนาญในด้านใด ซึ่งทีมงานต้องเป็นผู้ชำนาญงาน และมีความเข้าใจในเทคโนโลยีที่จำเป็นต้องใช้ในแผนงานด้านพลังงานนิวเคลียร์เป็นอย่างดี

แผนการพัฒนาจะแบ่งกิจกรรมหลักได้เป็น 3 อย่างคือ

1. การวางแผน
2. การดำเนินการ
3. การบริหารงานบุคคล

องค์ประกอบทั้ง 3 นี้ จะต้องปฏิบัติด้วยกันอย่างต่อเนื่อง การวางแผนจะต้องจัดทำก่อนการดำเนินงาน และการบริหารบุคคล จะเป็นเครื่องมือหลักในการฝึกอบรมให้มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างดำเนินโครงการกิจกรรมทั้ง 3 นี้ต้องทำไปพร้อม ๆ กันเหมือนกัน การวางแผนต้องมีการปรับปรุงเพื่อความเหมาะสมตลอดเวลาในขณะทำการดำเนินโครงการก็ต้องเพิ่มเติมเนื้อหาให้แก่บุคลากรด้วยเหมือนกัน การบริหารงานบุคคลต้องจัดสรรหาบุคลากรใหม่ ๆ มาคอยป้อนแก่แผนงาน

การวางแผนในการปฏิบัติควรประกอบด้วย

- กำหนดผลที่ต้องการจะได้รับจากแผนพัฒนาบุคลากรและจุดมุ่งหมายที่เกี่ยวข้องกันในระดับชาติ
- กำหนดศักยภาพและการอบรมให้การศึกษาในระดับชาติ
- ประเมินทรัพยากรต่าง ๆ ภายในชาติและการฝึกอบรมที่จะได้รับจากต่างประเทศ
- จบกำหนดเวลาของแผนพัฒนาบุคลากร กำหนดวิธีในการดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การศึกษาผลกระทบอื่นๆของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การศึกษาผลกระทบของโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์

1. ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

1.1 ทฤษฎีการศึกษาด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันเป็นเป้าหมายที่ยอมรับกันทั่วไปว่า เทคโนโลยีเป็นสิ่งที่ให้คำตอบที่ท้าทายอย่างมากมายแก่มนุษย์ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีเองก็ได้ทำลายกระบวนการทางสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดการเสื่อมโทรมของคุณภาพสิ่งแวดล้อม ในขณะเดียวกันมนุษย์ได้เริ่มมองเห็นว่าการจัดการคุณภาพของทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมมิใช่เป็นความฟุ่มเฟือย แต่เป็นสิ่งจำเป็นที่สำคัญต่อการพัฒนามนุษย์เพื่อให้มนุษย์อยู่รอดในระยะยาว ตั้งแต่ปลายปี ค.ศ.1980 เป็นต้นมา จึงมีการเรียกแนวคิดในการพัฒนาในเชิงของการจัดการสิ่งแวดล้อมนี้ว่า การพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development , SD) แนวคิดดังกล่าวเกิดขึ้นเพราะมนุษย์ตระหนักว่าแบบจำลองของการพัฒนาทางเศรษฐศาสตร์แบบดั้งเดิมได้ทำลายสิ่งแวดล้อมและไม่สามารถทำให้การพัฒนามนุษย์มีความเท่าเทียมกันได้

1.1.1 ความหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืนมีได้หลากหลายต่างๆ กัน แต่โดยทั่วไปหมายถึงการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ทั้งในด้านนิเวศวิทยา สังคมและเศรษฐกิจโดยสามารถที่จะรักษาสภาพดังกล่าวให้คงอยู่ได้ต่อไปในระยะยาว ดังรูปที่ 6-1

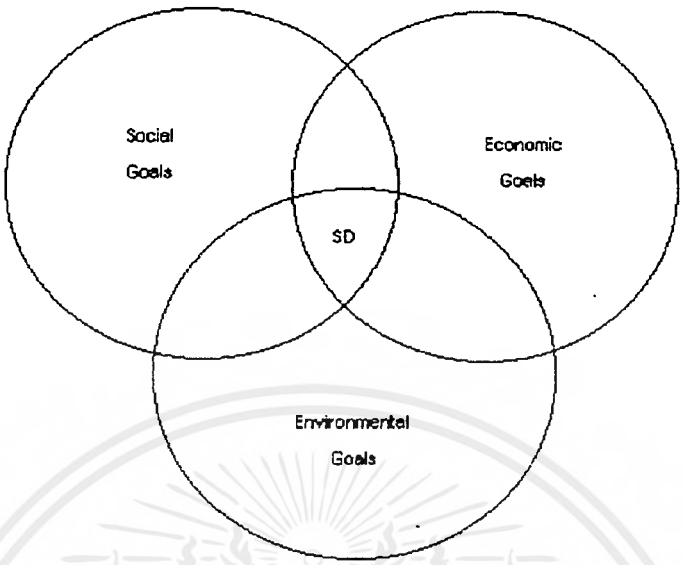
1.1.2 สิ่งแวดล้อมศึกษา

สิ่งแวดล้อมศึกษา (Environmental Education , EE) เป็นสหวิทยาการซึ่งมีเนื้อหามุ่งเน้นที่ความเข้าใจใจความสัมพันธ์ระหว่างนิเวศวิทยา สังคมและเศรษฐกิจ และวิธีการที่เกิดความกลมกลืนกันระหว่างเป้าหมายในการพัฒนาและเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม

ลักษณะของสิ่งแวดล้อมศึกษาโดยทั่วไปมีดังนี้

- พิจารณาสิ่งแวดล้อมโดยรวม โดยมองถึงธรรมชาติ สังคม เศรษฐกิจ เทคโนโลยี การเมือง วัฒนธรรม ประวัติศาสตร์ และปรัชญา หรือจริยธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

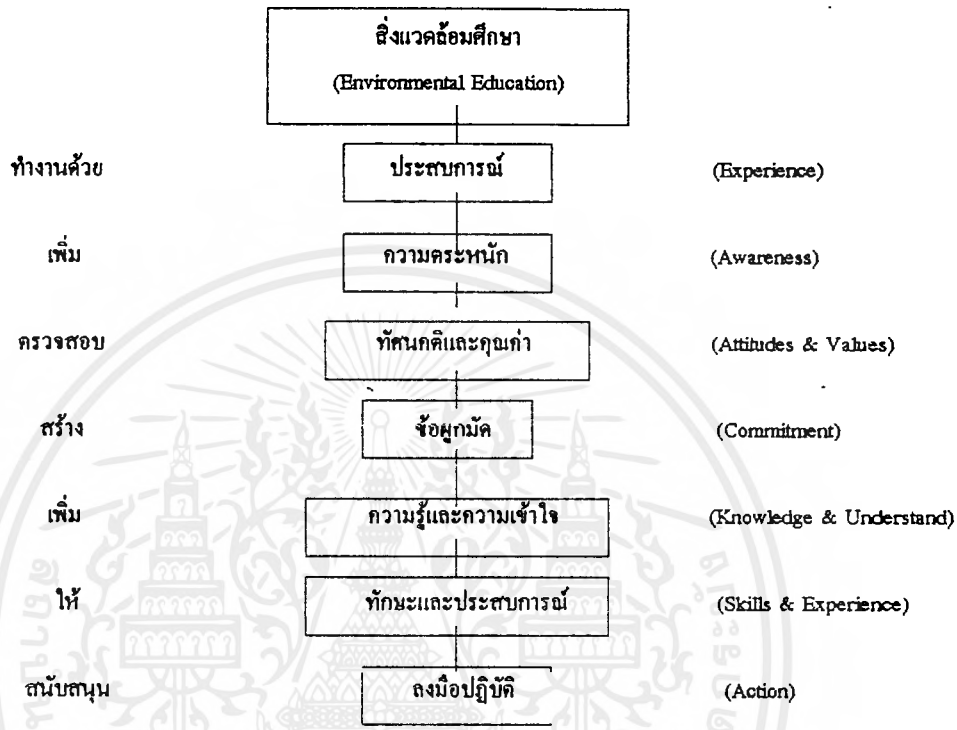


รูปที่ 6-1 แสดงแนวคิดในรูปแบบจำลองของการพัฒนาที่ยั่งยืน
(ที่มา : Connect, Jacobs and Subler, September, 1992)

- เน้นบทบาทของคุณค่าและจริยธรรมในการแก้ปัญหาในแง่การพัฒนาที่ยั่งยืน พัฒนาความตระหนักและความเข้าใจของท้องถิ่น ภูมิภาค นานาชาติและของโลก รวมทั้งกระตุ้นให้ประชาชนลงมือปฏิบัติ
- พิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการกระทำของตนเองทั้งในระยะสั้นและระยะยาว และพัฒนากลยุทธ์ในการลดผลกระทบในเชิงลบ
- สร้างความกดดันให้เกิดการมีส่วนร่วมของแต่ละคนทั้งในสถานที่ทำงานและที่บ้าน
- เน้นการให้ความรู้เพิ่มทางสิ่งแวดล้อมเป็นขบวนการเรียนรู้ตลอดชีวิต

องค์ประกอบหลักของสิ่งแวดล้อมศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 6-2 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-2 องค์ประกอบหนักของสิ่งแวดล้อมศึกษา

(ที่มา : UNESCO-UNEP INTERNATIONAL EE Programme, 1993)

1.1.2 การผสานหลักการ 3E

เมื่อเราคำนึงถึงสังคมในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งของประเทศในเอเชีย เราจำเป็นต้องพิจารณาถึงเรื่องสำคัญสามเรื่องซึ่งทั้งสามเรื่องนี้มีชื่อที่ขึ้นต้นด้วย *อักษร E* ในภาษาอังกฤษ

1. E ตัวแรก - ความมั่นคงทางพลังงาน (Energy Security)

E ตัวแรกเป็นสัญลักษณ์แทนคำว่า "Energy Security" หรือความมั่นคงทางพลังงานซึ่งได้แก่ การธำรงรักษาแหล่งพลังงานที่มั่นคงและเพียงพอ เพื่อสนองตอบความต้องการพลังงานที่เพิ่มทวีขึ้นตามระดับการพัฒนาทางเศษฐกิจ เป็นต้น อย่างเช่น บรรดาประเทศเอเชียตะวันออกที่ใช้พลังงาน (น้ำมัน) ประมาณร้อยละ 70 ( ) จากแหล่งพลังงานภายในภูมิภาคของตนเอง อย่างไรก็ตามคาดกันว่าอัตราการพึ่งพาพลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานของตนเองในภูมิภาคนี้จะลดลงเหลือร้อยละ 60 ( ) ภายในปี ค.ศ.2010 ความสามารถช่วยเหลือตนเองด้านพลังงาน (น้ำมัน) ที่มีการพยากรณ์ว่าจะลดลงของภูมิภาคนี้ จะต้องถูกทดแทนด้วยการนำเข้าน้ำมันจากตะวันออกกลาง ซึ่งจะยังผลให้มีความมั่นคงด้านการจัดหาพลังงาน (น้ำมัน)ลดน้อยลงด้วย

หมายเหตุ : ภูมิภาคเอเชียตะวันออกมี 11 ประเทศคือประเทศสมาชิกอาเซียน 6 ประเทศ และมีประเทศอุตสาหกรรมใหม่ 3 ประเทศ คือ สาธารณรัฐเกาหลี ไต้หวัน และฮ่องกง อีก 2 ประเทศคือ จีนและญี่ปุ่น

2 E ตัวที่ 2 - การคุ้มครองสิ่งแวดล้อม (Environment Protection)

E ตัวที่ 2 เป็นสัญลักษณ์แทนคำว่า "Environment Protect" หรือการคุ้มครองสิ่งแวดล้อมจากการคุกคามของมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากการใช้พลังงาน ซึ่งกำลังเพิ่มมากขึ้นทุกที การใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้มีการปล่อยสารซัลเฟอร์ออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ออกมามากขึ้น การปล่อยสาร SO_x และ NO_x ออกสู่อากาศทำให้เกิดมลพิษในสิ่งแวดล้อม รวมทั้งฝนกรดด้วย ขณะนี้ประชาคมระหว่างประเทศได้ลงความเห็นพ้องกันแล้วว่า CO_2 เป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น

3. E ตัวที่ 3 - การพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Economic Development)

E ตัวที่ 3 เป็นสัญลักษณ์แทนคำว่า "Economic Development " หรือการพัฒนาทางเศรษฐกิจ เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น พึ่งพาการนำเข้ามากขึ้นและมีความมั่นคงทางด้านแหล่งพลังงานภายในน้อยลงพร้อมกันนั้นก็เป็นตัวการเพิ่มประมาณการปล่อยสาร SO_x , NO_x และ CO_2 ออกสู่อากาศซึ่งมีผลเสียต่อการคุ้มครองสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามการพัฒนาทางเศรษฐกิจก็เป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญสำหรับประเทศกำลังพัฒนา เพื่อการปรับปรุงมาตรฐานการครองชีพของประชากร

การผสานหลักการ 3E

การสร้างสมดุลอย่างเหมาะสมระหว่างหลักการ 3E ดังที่อธิบายมาแล้วนั้น ย่อมขึ้นอยู่กับนโยบายบริหารประเทศว่าจะสามารถผสานประโยชน์ระหว่างการดำเนินการทั้ง 3 ด้านนี้ได้ดีเพียงใด มิฉะนั้นการขัดแย้งกัน ก็จะนำประชาคมโลกไปสู่ภาวะยากลำบาก ในการติดสินใช้อย่างใดอย่างหนึ่ง กุญแจสำคุญของความสำเร็จในเรื่องนี้ก็คือ ความก้าวหน้าหรือการถ่ายทอดทางเทคโนโลยีในเอเชียนั้น สิ่งสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประการหนึ่งก็คือ ต้องมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากประเทศอุตสาหกรรมซึ่งรวมทั้งญี่ปุ่นด้วย ไปสู่ประเทศกำลังพัฒนา

ปัญหาเรื่อง SO_x

มลพิษในอากาศและน้ำที่เกิดจากการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นนั้นจะยิ่งทวีประมาณมากขึ้นจากการประกอบอุตสาหกรรมการใช้รถยนต์ และความเป็นเมือง (Urbanization) อันเนื่องมาจากการพัฒนาทางเศรษฐกิจ จากการศึกษาเรื่องอากาศเป็นพิษได้พบว่า SO_x คือตัวการสำคัญในการสร้างมลพิษในสิ่งแวดล้อม การปล่อย SO_x ออกสู่อากาศมีผลทำลายสุขภาพและสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ ทางออกสำหรับปัญหานี้คือ เราต้องหันมาใช้ก๊าซธรรมชาติ ไฟฟ้าพลังน้ำ และพลังแสงอาทิตย์มากขึ้น เพราะพลังงานเหล่านี้จะไม่ก่อสาร SO_x แต่การลดการใช้ถ่านหินและน้ำมันลงนั้นก็เป็นสิ่งที่ทำได้ยากยิ่ง ด้วยเหตุนี้เอง จึงต้องมุ่งเน้นให้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีในการใช้ก๊าซเหลวที่ปราศจากกำมะถันจะญี่ปุ่นและจากประเทศพัฒนาอื่น ๆ มาสู่ประเทศกำลังพัฒนา อย่างไรก็ตามเนื่องจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีดังกล่าวนี้มีค่าใช้จ่ายสูงมา ดังนั้นจึงต้องพยายามหาทางช่วยเหลือทางการเงินเพื่อจารถ่ายทอดเทคโนโลยี นอกจากนั้น ยังต้องหาทางพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยี ในการลดสารกำมะถันด้วยวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำขึ้นมาขายให้แก่ประเทศกำลังพัฒนาด้วย

ปัญหาเรื่อง CO_2

การใช้มาตรการต่างๆเพื่อมุ่งลดการปล่อย CO_2 โดยบรรดาอุตสาหกรรมเท่านั้น ย่อมไม่เป็นการเพียงพอที่จะหยุดยั้งความร้อนที่เพิ่มขึ้นของโลกดังนั้นประชาคมโลกจึงต้องพยายามหาทางจัดการกับการปล่อย CO_2 อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น โดยครอบคลุมถึงบรรดาประเทศกำลังพัฒนาต่างๆ ตลอดจนประเทศที่เคยอยู่ในค่ายคอมมิวนิสต์ด้วย เพราะปัจจุบันการปล่อยสาร CO_2 ในประเทศเหล่านี้มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 50 ของโลก และคาดว่าจะเพิ่มเป็น 2 ใน 3 ส่วนภายในศตวรรษที่ 21 นี้ โดยประการฉะนี้ จึงต้องมีการดำเนินการอย่างจริงจังเพื่อให้มีการประหยัดพลังงาน มีการใช้แหล่งพลังงาน "สะอาด" มากขึ้น ทั้งยังต้องมีการพัฒนาพลังไฟฟ้าปรมาณู ตลอดจนการกำหนดโครงการสนับสนุนการถ่ายทอดเทคโนโลยีดังกล่าว โดยครอบคลุมถึงการให้ความช่วยเหลือด้านการเงินด้วย ในบรรดามาตรการต่างๆ ดังกล่าวมีโครงการที่เรียกว่า "การปฏิบัติร่วมกัน"รวมอยู่ด้วย (ภายใต้โครงการนี้ประเทศสมาชิกประเทศใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศหนึ่งสามารถช่วยให้ประเทศสมาชิกอื่นๆ ลดการปล่อยสาร CO_2 ได้ จากการดำเนินการของตน) ซึ่งนับเป็นความก้าวหน้ามากที่สุดในขณะนี้

การผสานหลักการ 3E ในระดับภูมิภาคเอเชีย

การผสานหลักการ 3E คือวัตถุประสงค์ที่แต่ละประเทศสามารถกำหนดขึ้นได้ แต่หากต้องการให้บรรลุผลสูงสุดตามศักยภาพแล้ว ควรมีการร่วมกันดำเนินการด้วยความร่วมมือระหว่างประเทศในระดับภูมิภาร เรื่องนี้นับเป็นภารกิจหลักประการหนึ่งของการแก้ปัญหาระหว่างประเทศในซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ตลอดจนของประเทศกำลังพัฒนาด้วย ซึ่งจะสามารถบรรลุผลได้โดยการมีแนวปฏิบัติระหว่างประเทศเท่านั้น

1.2 โครงร่างด้านสิ่งแวดล้อม และนโยบายของรัฐบาล

จากการหารือกับผู้แทนหน่วยงานต่างๆ ของรัฐบาล และกับกลุ่มผู้สนับสนุนการรักษาสภาพแวดล้อมภาคเอกชน คณะที่ปรึกษาจึงได้มาซึ่งความกระจ่างเพิ่มขึ้นทางด้านนโยบายหลักต่อสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย การร่วมประชุมกับสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (สผ. หรือ OEPP) ของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (NEB) ได้จัดขึ้นหลายครั้งเพื่อยืนยันนโยบายและระเบียบปฏิบัติของรัฐบาล และหรือหารือหลักเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมเกี่ยวกับมูลค่าในรูปแบบต่างๆ ของผลกระทบ รวมทุ้งความสำคัญของผลกระทบที่มีต่อสิ่งที่ถูกกระทบที่มีความอ่อนไหวง่าย

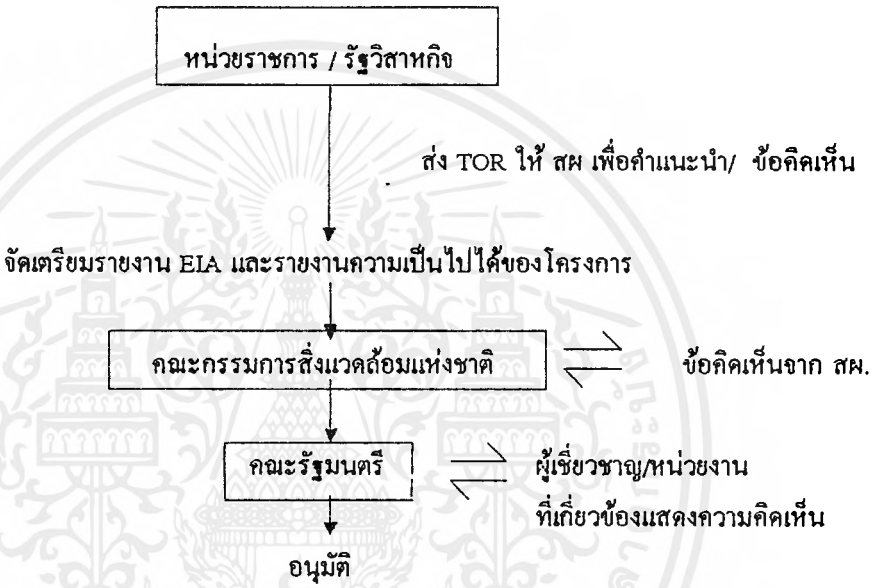
ในประเทศไทย ก็เหมือนประเทศอื่นๆ อีกหลายแห่งทั่วโลก ระดับการคุ้มครองสภาพแวดล้อมที่ต้องการ (หลักแนวคิด) มันจักสูงกว่าที่กฎหมาย(นโยบาย)มีให้ อีกทั้งระดับการบังคับใช้นโยบายมักจะบังไม่เพียงพอ ทั้งนี้เนื่องจากการโอนอ่อนผ่อนตามตามความจะเป็นด้านการเงินและข้อจำกัดทางวิศวกรรม

1.2.1 ขั้นตอนการรายงานการิวเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

โครงการขนาดใหย่ ต้องทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA Report)เพื่อเสนอแก่คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สรุปและแสดงไว้ในรูปที่ 6-3 และ 6-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-3 ระเบียบและขั้นตอนทั่วไปว่าด้วยการรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA Report) สำหรับโครงการซึ่งอยู่ภายใต้ความดูแลของหน่วยราชการหรือรัฐวิสาหกิจและโครงการร่วมลงทุนซึ่งต้องขออนุมัติจากคณะรัฐมนตรี



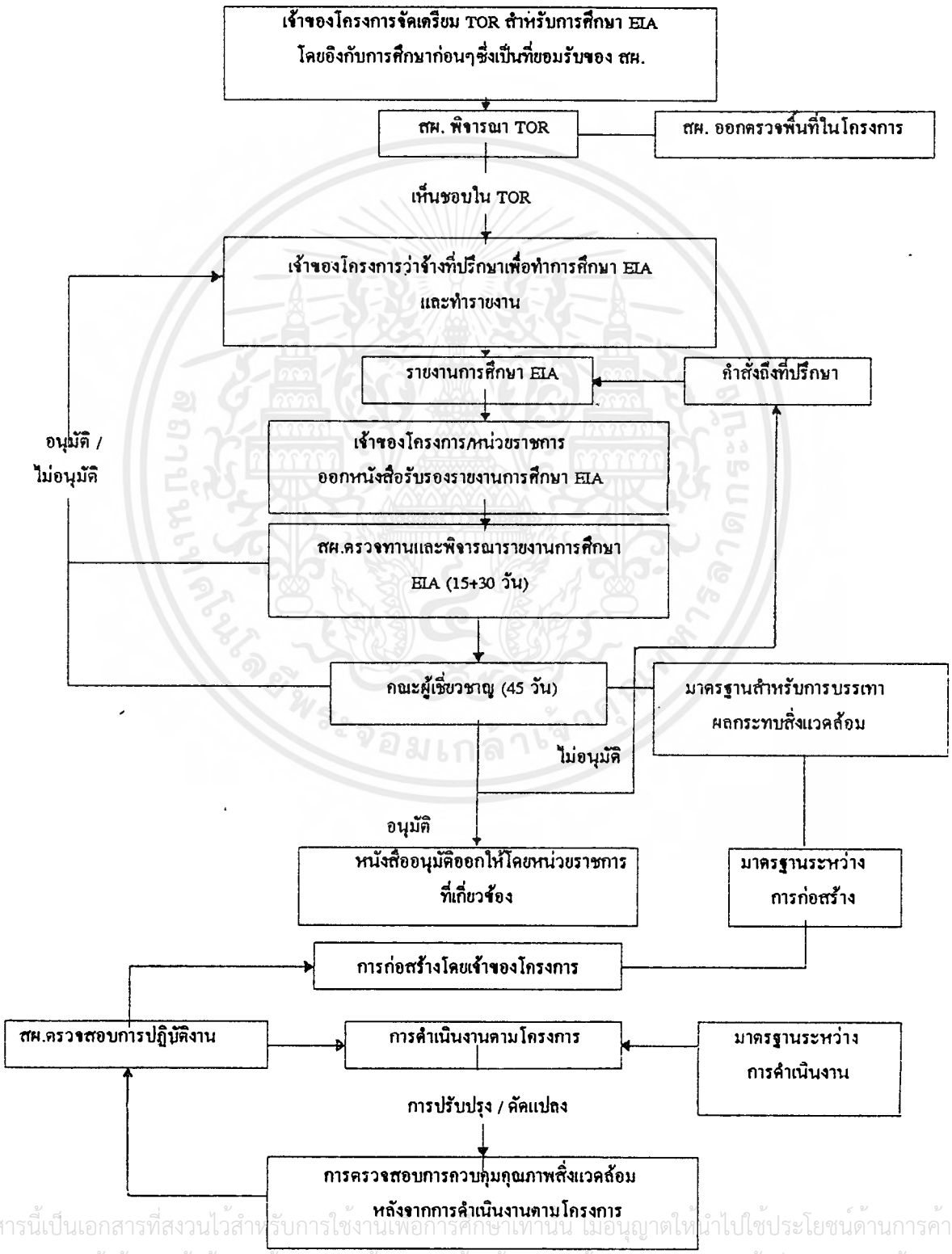
EIA = Environmental Impact Assessment = การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

TOR = Term of Reference = ข้อกำหนดขอบเขตของงาน

สผ. = สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม = Office of Environmental Policy and Planning (OEPP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 6-4 ระเบียบและขั้นตอนอย่างละเอียดว่าด้วยการราบงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม(EIA Report) โดยเจ้าของโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 มาตรฐานสิ่งแวดล้อม

มาตรฐานสิ่งแวดล้อมได้กำหนดไว้โดยระเบียบข้อบังคับของทางรัฐบาล บัญชีรายชื่อมาตรฐาน หน่วยงานที่รับผิดชอบ และวันที่ออกมาตรฐานเหล่านั่น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6-1 รายชื่อที่กล่าวนี้คัดมาจากรายงานโครงการศึกษาของ Peman Group ชื่อ "Metropolitan Regional Structure Planning Study" และที่ได้พัฒนาจากเอกสารอ้างอิงของ สผ. (OEPP) หมายเลข 9 ปี พ.ศ. 2532

ตารางที่ 6-1 มาตรฐานสิ่งแวดล้อม (ENVIRONMENTAL STANDARD REGULATION)

(ที่มา : OEPP, 1989 (Ref. 9))

Standard	Notified / Issued by	Published Date
Air Quality Standards		
• National Ambient Air Quality Standards	• Nation Environment Board	December 1,1981
• Industrial Emission Standard	• Ministry of Industry	August 14,1971
• Motor Vehicle Emission	• National Environment Board	May 5,1988
	• The Police Department	February 16,1994
	• Department of Land Transport	September 9,1988
• Boat/Ship Vessel Emission	• Harbor Department.	August 3,1984
Noise Standards		
• Drafted Community Noise Standard	• National Environment Board	
• Motor Vehicle Noise Standards	• National Environment Board	January 1,1987
	• The Police Department	February 16,1984
	• Department of Land Transport	September 14,1984
• Boat/Ship/Vessel Noise Standards	• Harbor Department	August 3,1984
• Noise Standards in Workplace	• Ministry of Interior	November 30,1976
	• Ministry of Industry	August 14,1971
Water Quality Standards		
• Ground Water Quality Standards for Drinking Purpose	• Ministry of Industry	June 27,1978

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard	Notified/Issued by	Published Date
• Industrial Effluent Standards	• Ministry of Industry	March 5,1982
• Tentative Industrial Effluent Guidelines for Discharging into the Eastern Seaboard Coastal Water (Map Ta Phut Area)	• Nation Environment	
• Water Characteristic Discharge into Deep Well	• Ministry of Industry	June 27,1978
• Domestic Effluent Guidelines	• National Environment Board	January 31,1985
• Effluent Standard for Buildings	• National Environment Board	January 30,1990
• Coastal Water Quality Guidelines	• National Environment Board	1989
• Surface Water Quality Classification & Objectives	• Ministry of Science, Technology and Energy	April 15,1986
• Chao Phraya River Water Quality Standard	• National Environment Board	April 15,1986
• Tha Chin River Water Quality Standard	• National Environment Board	May 28,1986
• Mae Klong River Water Quality Standard	• National Environment Board	
• Bang Pakong, Nakhon Nayok and Pra Chin River Water Quality Standards	• National Environment Board	March 9,1991

1.2.3 การบรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในกรณีที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ นโยบายของรัฐบาลจะต้องอิงอยู่กับการจัดกองทุนสนับสนุน เพื่อชดเชยและบรรเทาผลกระทบ

เมื่อมีการอนุมัติให้ก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม พร้อมด้วยแผนลดผลกระทบที่รัดกุม ต้องกำหนดขึ้นและต้องผ่านการรับรองโดยหน่วยงานของรัฐบาลที่เป็นเจ้าของโครงการโดยเฉพาะ การลดผลกระทบควรจะทำทุกวิถีทางที่เป็นว่าสมเหตุผลและมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การวางแผนด้านสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

1.การประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

ก่อนที่จะดำเนินการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ มีความจำเป็นที่ต้องดำเนินการสำรวจศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรมและด้านเศรษฐศาสตร์

1.1 การศึกษาลักษณะของโครงการ มีการวิเคราะห์ผลกระทบทั้งดีและเสียของโครงการจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงลักษณะทั่วๆ ไปของโครงการ เพื่อเป็นข้อกำหนดเบื้องต้น และเป็นกรอบข่ายในการศึกษา จำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงลักษณะทั่วๆ ไปของโครงการ เพื่อเป็นข้อกำหนดเบื้องต้นและเป็นกรอบข่ายในการศึกษาปัญหาสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ เช่น การเลือกทำเลที่ตั้งของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ซึ่งถือว่าเป็นข้อกำหนดที่สำคัญมากทั้งด้านกายภาพและชีวภาพ ตลอดจนการพิจารณาระบบ เป็นต้น

1.2 การศึกษาสภาพแวดล้อมของโครงการ เป็นการสำรวจศึกษาสภาพแวดล้อมปัจจุบันก่อนที่จะมีโครงการ หรือในบริเวณที่ตั้งโครงการ ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาสภาพแวดล้อมในทุกระดับ ได้แก่ สิ่งที่ไม่มีชีวิต สิ่งที่มีชีวิต สิ่งอุปโภคบริโภคต่างๆ และคุณภาพชีวิต

1.3 การคาดการณ์ผลกระทบที่จะเกิดขึ้น เป็นการคาดการณ์ว่า ถ้ามีโครงการแล้วในบริเวณนั้นๆ จะเกิดผลดีผลสียอย่างไรต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งการศึกษาขั้นนี้จะประกอบด้วยการศึกษาถึงผลกระทบในระดับกายภาพ ระดับชีวภาพ ระดับอุปโภคบริโภค และระดับคุณภาพชีวิต

1.4 การเปรียบเทียบการมีและไม่มีโครงการ เป็นการคาดการณ์ว่าถ้ามีโครงการแล้วในบริเวณนั้นจะเกิดผลดีผลเสียอย่างไรต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งการศึกษาขั้นนี้จะประกอบด้วยการศึกษาผลกระทบในด้านดีและด้านเสียของสภาพแวดล้อม ทั้งทางตรงและทางอ้อมในทุกระดับ

1.5 การประเมินผลดีและผลเสียและหาทางเลือก ซึ่งจะต้องดำเนินการวิเคราะห์ทั้งด้านดีและด้านเสียในทุกสาขาสิ่งแวดล้อม อันได้แก่ ด้านสังคมและเศรษฐกิจ ด้านแหล่งน้ำ ด้านป่าไม้ และสัตว์ป่า ด้านคุณภาพน้ำและการประมง ด้านะรณีวิทยาและแหล่งแร่ ด้านการอพยพประชากรและตั้งถิ่นฐานใหม่ ด้านมลภาวะและมลพิษ ด้านสาธารณสุข ด้านโบราณคดีและการท่องเที่ยว และด้านอิทธิพลไฟฟ้า

1.6 การทบทวนการศึกษา ในกรณีที่ปรกฏว่าโครงการนั้นๆ จะก่อให้เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมมากว่าผลดีเป็นส่วนรวมแล้ว ก็สมควรที่จะมีการทบทวนศึกษาใหม่ทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมดตั้งแต่ต้น ทั้งทางด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อการปรับปรุงโครงการนั้นๆ ให้เหมาะสมเพิ่มเติมต่อไป

1.7 การใช้ทางเลือกที่ดีที่สุด หลังจากได้มีการศึกษาทบทวนตามขั้นตอนแล้วจนได้ความเหมาะสมของโครงการที่สอดคล้องต้องกันในทุกด้าน ก็สามารถที่จะวางแผนแก้ไขผลกระทบด้านเสียและวางแผนพัฒนาด้านดีต่อไป

1.8 ตัดสินใจและเสนอแนะหลังจากการศึกษาผลกระทบสภาวะแวดล้อมตามขั้นตอนต่างๆ จะนำมาพิจารณร่วมกันทั้งด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อมอีกครั้ง ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมของโครงการนั้นๆ อย่างสมบูรณ์แล้วก็จะสามารถที่จะตัดสินใจและเสนอแนะได้อย่างถูกต้อง

2. การแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การแก้ไขผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมส่วนมากจะดำเนินการระหว่างการก่อสร้างโครงการ แผนการแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะได้มาจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม แผนการแก้ไขผลกระทบในขั้นละเอียด จะเป็นแนวทางในการดำเนินการแก้ไขผลกระทบด้านเสียของโครงการต่อสิ่งแวดล้อม และจะเป็นการแก้ไขเพื่อให้สอดคล้องกับการแก้ไขให้สอดคล้องกับหลักการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

3. การพัฒนาสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาสิ่งแวดล้อมนั้นส่วนมากจะเป็นการดำเนินการหลังจากการก่อสร้างโครงการแล้วเสร็จสักระยะหนึ่ง ซึ่งจะเป็นระยะที่สภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นใหม่ที่จะต้องดำเนินการพัฒนาทรัพยากรสิ่งแวดล้อมของโครงการหลังการก่อสร้าง ทั้งนี้เพื่อการพัฒนาโครงการให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและเป็นการใช้ประโยชน์จากโครงการให้ได้สูงสุด โดยเฉพาะผลประโยชน์ทางอ้อมของโครงการตลอดจนการปรับให้เกิดสภาวะสมดุลระหว่างอุปสงค์สิ่งแวดล้อมกับอุปทานสิ่งแวดล้อม เช่นการส่งเสริมการประหยัดไฟฟ้าและการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น

1.4 การประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ในชั้นแรกสุดของการศึกษาโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จะต้องมีการพิจารณาอย่างจริงจังในเรื่องผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต้อสิ่งแวดล้อมจากการก่อสร้าง และจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความห่วงใยในสิ่งแวดล้อมสามารถได้แพร่กระจายและแยกประเด็นออกจากกันดังนี้

1. สิ่งแวดล้อมของมนุษย์ (ที่อยู่อาศัย,การจ้างงาน,สถาบัน)
2. สิ่งแวดล้อมทางวัฒนธรรม (สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์และโบราณคดี)
3. สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ (อากาศ,น้ำ,พืช,สัตว์)

1.4.1 การประเมินด้านสิ่งแวดล้อมในอนาคต

1.4.1.1 เขตสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง

1. สถานที่ , แหล่งพันธุ์ไม้

จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ตั้งอยู่ในเขตภาคใต้ ติดกับทะเล ต้นไม้ส่วนใหญ่ เป็นต้นมะพร้าว

2. ทะเล

ทะเล เป็นแหล่งของสัตว์น้ำ ประชาชนในพื้นที่ใช้บริโภค และมีหลายชนิดที่เป็นสัตว์เศรษฐกิจของประเทศ

3. สิ่งแวดล้อมมนุษย์ (Human Environment)

สิ่งแวดล้อมมนุษย์ ได้แก่ อาคารที่พักอาศัย, สถานที่ราชการ, โรงแรม เป็นต้น

4. สิ่งแวดล้อมทางวัฒนธรรม (Cultural Environment)

สิ่งแวดล้อมทางวัฒนธรรม ได้แก่ วัดวาอาราม, สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ เป็นต้น

1.4.1.2 วิธีการประเมิน

การประเมินด้านสิ่งแวดล้อมใช้สมมติฐาน ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายประการ ในที่นี้เสนอไว้ 2 ประการ

ประการแรก โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ไม่มีเขม่าควัน ไม่มีก๊าซเสียที่จะเป็นต้นเหตุทำให้เกิดฝนกรดและภาวะเรือนกระจก

ประการที่สอง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์เป็นทางเลือกใหม่ในการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลกระทบจากโครงการ

1.5.1 ผลกระทบในการเตรียมบริเวณการก่อสร้างและระหว่างการก่อสร้าง

1. **การเวนคืนที่ดินและการโยกย้าย**

ในการคัดเลือกสถานที่ตั้ง มีข้อกำหนดให้หลีกเลี่ยงเขตชุมชน แต่อย่างไรก็ตาม อาจจำเป็นต้องมีการเวนคืนที่ดิน ซึ่งต้องมีการจ่ายค่าชดเชยหรือหาที่อยู่ให้ใหม่ตามที่กฎหมายกำหนด

2. **ต้นไม้**

ต้นไม้บริเวณที่จะทำการก่อสร้างควรถอนออกไปปลูกที่อื่น

3. **เสียงจากเครื่องจักรที่ทำงาน**

เสียงจากการก่อสร้างมีผลกระทบน้อยมาก เนื่องจากในการคัดเลือกสถานที่ตั้งจะพยายามหลีกเลี่ยงเขตชุมชน แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการทำกำแพงกั้นโดยรอบบริเวณก่อสร้างเพื่อช่วยลดผลกระทบจากเสียง

4. **ฝุ่น**

กำแพงที่กั้นโดยรอบจะช่วยลดผลกระทบจากฝุ่นได้

1.5.2 ผลกระทบหลังการก่อสร้างและระหว่างการดำเนินงาน

1. **สภาพพื้นที่**

บริเวณที่ก่อสร้างต้องได้รับการพัฒนาหรือปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมใหม่ เช่น ปลูกต้นไม้ทดแทน

2. **ผลกระทบจากรังสี**

2.1 **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรังสี**

ชนิดของรังสี

รังสีเป็นพลังงานที่แพร่กระจายออกมาในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในความยาวคลื่นต่างกัน พลังงานดังกล่าวจะถูกปล่อยจากอะตอมในหลายรูปแบบ เช่น แสง ความร้อน คลื่นวิทยุ คลื่นโทรทัศน์ และกัมมันตรังสี โดยจำแนกรังสีออกเป็น

1. รังสีที่ทำให้เกิดการแตกประจุ (Ionizing Radiation)

เป็นรังสีที่กระทบสารใดๆแล้วก็ตาม จะทำให้เกิดการแตกประจุบวกหรือประจุลบที่สารนั้นๆ ซึ่งการกลายเป็นประจุของสารต่างๆนี้ จะทำให้ขบวนการทางชีววิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารนั้นตามสภาพปกติถูกรบกวนไปด้วย รังสีชนิดนี้จัดเป็นพลังงานในระดับสูงที่มีผลต่อเซลสิ่งมีชีวิตมาก โดยทั่วไปเรียกว่า กัมมันตรังสี (Radioactive) จะพบว่ารังสีที่ทำให้เกิดประจุนี้มี 2 ลักษณะคือ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก เคลื่อนที่ไปในลักษณะของคลื่น เช่น X-ray และรังสีแกมมา หรือเป็นอนุภาค เช่น รังสีแอลฟา และรังสีเบตา

รังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวของประจุ แบ่งออกเป็น

อนุภาคแอลฟา (Alpha) มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก เนื่องจากนิวเคลียร์ของอะตอมของฮีเลียมประกอบด้วยโปรตอนสองตัวและนิวตรอนสองตัว ดังนั้นอนุภาคแอลฟาจึงมีประจุเป็นบวก โดยมีประจุเป็นสองเท่า และน้ำหนักอะตอมเป็นสี่เท่า

อนุภาคแอลฟาเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 19,200 กิโลเมตร/วินาที หรือประมาณ 1 ใน 15 เท่าของความเร็วแสง เนื่องจากอนุภาคนี้ค่อนข้างใหญ่เมื่อเทียบกับอนุภาคอื่น จึงไม่สามารถทะลุผ่านเนื้อวัตถุได้ง่ายเหมือนอนุภาคอื่นๆ แต่จะสามารถกั้นให้หยุดได้ โดยใช้กระดาษ 1 ชิ้น หรือ 2 ชิ้น หรือทะลุผ่านได้ถึงเพียงแค่ผิวหนังเท่านั้น และโดยปกติเคลื่อนที่ได้ไกลไม่เกินกว่า 9 ซ.ม.ในอากาศ เมื่ออนุภาคแอลฟาชนอะตอมหรือโมเลกุลของวัตถุใดจะทำให้อิเลคตรอนหลุดออกมาเป็นสาเหตุให้เกิดอิออน

อนุภาคเบตา (Beta) เป็นอิเลคตรอนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วของอนุภาคแอลฟาถึง 10 เท่า หรืออาจมากกว่าขึ้นไป อนุภาคเบตานี้มีประจุไฟฟ้าเป็นลบ สามารถเบี่ยงเบนได้ในสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก เนื่องจากขนาดของอนุภาคนี้มีขนาดเล็กและมีความเร็วสูง จึงสามารถทะลุวัตถุหนาได้ดีกว่าอนุภาคแอลฟา โดยสามารถทะลุเข้าเนื้อเยื่อได้ถึง 1-2 ซ.ม. อาจกั้นอนุภาคเบตานี้ได้ด้วยชิ้นโลหะบางๆ

รังสีแกมมา (Gamma rays) เป็นรังสีช่วงความถี่สูงมากกว่ารังสีเอ็กซ์ ไม่มีน้ำหนักและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าแสง คือประมาณ 297,600 กิโลเมตร/วินาที มีคุณสมบัติเหมือนรังสีเอ็กซ คือสามารถทะลุผ่านร่างกายมนุษย์ หรือวัตถุหนามากๆ เช่นไม้หรือโลหะได้ และยังพบว่ามีอำนาจการทะลุผ่านได้ดีกว่ารังสีเอ็กซ์ จากการทดลองพบว่า รังสีแกมมาสามารถทะลุผ่านคอนกรีตหนาประมาณ 1 ฟุตได้ แต่จะสามารถดูดซับได้หมดในคอนกรีตหนา 1 เมตร

รังสีเอ็กซ์ (X-ray) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นเดียวกับรังสีแกมมา แต่แผ่ออกมาจากวงโคจรของอิเลคตรอน มีพลังงานต่ำกว่ารังสีแกมมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวของประจุ (Non-ionizing Radiation)

เป็นรังสีที่พบในชีวิตประจำวัน เช่น คลื่นวิทยุและโทรทัศน์, แสงอาทิตย์, วีดีโอ, การฉายภาพข้ามศีรษะ, สายส่งไฟฟ้า เป็นต้น รังสีประเภทนี้ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวของประจุที่มีพลังงานสูง แต่ก็เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้เช่นกันถ้าหากได้รับในปริมาณมากและเป็นเวลานาน เช่น ทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง

หน่วยวัดรังสี

การวัดรังสีสามารถวัดได้ใน 2 ลักษณะคือ

- ปริมาณและชนิดของรังสีที่มนุษย์สัมผัส (Exposed radiation)
- ปริมาณรังที่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ร่างกาย (Absorbed radiation)

หน่วยวัดต่างๆ ได้แก่

1. คูรี่ (Curie, Ci) เป็นหน่วยวัดที่ใช้กันทั่วๆไป โดยตั้งชื่อขึ้นหลังจากมาดามแมรี่ คูรี่ และสามี ปีแอร์ คูรี่ ได้ค้นพบธาตุเรเดียม คูรี่เป็นหน่วยวัดรังสีโดยกำหนดว่า สารกัมมันตรังสีที่สลายตัวในอัตรา 3.7 x 1010 ครั้ง/ 1 วินาที จะมีความแรงเท่ากับ 1 คูรี่

2. แร้ด (Radiation absobed dose, Rad) คือปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยสิ่งมีชีวิตในรูปพลังงานสะสมในช่วงเวลาหนึ่ง

3. เร็ม (Radiation equivalent man, Rem) หน่วยวัด "เร็ม" ถูกนำมาใช้เนื่องจากความแตกต่างของรังสีแต่ละชนิด โดยรังสีขนาด 1 แร้ดเท่ากัน แต่เป็นรังสีคนละชนิดกันจะมีผลต่อเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตต่างกัน ดังนั้น "เร็ม" จึงเป็นหน่วยที่ถูกตั้งขึ้นเพื่อให้สามารถอธิบายผลกระทบด้านชีววิทยาจากการดูดกลืนรังสีชนิดต่างๆให้อยู่บนฐานเดียวกัน ตัวอย่างเช่น รังสีแอลฟา 1 แร้ด จะเป็นอันตรายต่ออวัยวะมากกว่ารังสีเอ็กซ์ 1 แร้ด 10 เท่า ดังนั้น เมื่อคำนึงถึงอันตรายทางด้านชีววิทยาของรังสีแอลฟา 1 เร็ดจะเท่ากับ 10 เร็ม

4. เรนท์เก้น (Roentgens, R) เป็นชื่อที่ได้มาจาก Wilhelm Roentgen ซึ่งเป็นผู้ค้นพบรังสีเอ็กซ์ R เป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีสัมผัส ที่ใช้วัดรังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา โดยวัดเป็นปริมาณพลังงานที่ทำให้อากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรแตกตัวเป็นไอออน

นอกจากหน่วยวัดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ปัจจุบันมีการใช้หน่วยวัดรังสีอื่นๆ ที่แตกต่างไป เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gray : 1 Gray = 100 Rad

Sievert : 1 SV = 100 Rem

Becquerel : 1 Ci = 3.7 x 1010 Bq

แหล่งกำเนิดของรังสี

มนุษย์ได้รับรังสีจากสิ่งแวดล้อมตลอดเวลา โดยได้รับจากรังสีในธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้น

1. รังสีที่มีอยู่เป็นพื้นฐานในธรรมชาติ (National Background Radiation)

นักวิทยาศาสตร์ได้มีการศึกษาและวิจัยระดับรังสีในธรรมชาติเพื่อกำหนดปริมาณความปลอดภัยสำหรับรังสีที่เกิดจากสิ่งประดิษฐ์ของมนุษย์ เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นต้น เพราะมนุษย์เกิดและเจริญเติบโตมาในระดับรังสีที่เป็นพื้นฐานในธรรมชาติโดยมิได้รับอันตราย

1) แหล่งกำเนิดรังสีภายนอก (External Radiation Sources)

จากรังสีคอสมิก (Cosmic) ซึ่งประกอบด้วยไอออนบวก ที่มีพลังงานสูงจากอากาศและจากดวงอาทิตย์ เมื่อรังสีคอสมิกแผ่มาถึงบรรยากาศของโลก ไอออนบวกจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและไนโตรเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศเกิดเป็นรังสีแกมมาและนิวตรอน รังสีคอสมิกเป็นกัมมันตรังสีภายนอกที่สำคัญ ปริมาณของรังสีคอสมิกจะขึ้นอยู่กับระดับความสูงเหนือผิวโลก ปริมาณรังสีที่จะได้รับที่ระดับน้ำทะเลจะมีปริมาณเป็นครึ่งหนึ่งของที่ระดับความสูง 1,620 เมตร โดยเฉลี่ยมนุษย์จะได้รับรังสีคอสมิกประมาณ 45 มิลลิเร็ม / ปี

จากพื้นดินทั่วๆไปจะมีสารกัมมันตรังสีเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย ส่วนมากเป็นธาตุโปรแตสเซียม 40, ยูเรเนียม, ธอเรียม และธาตุใหม่จากปฏิกิริยาแตกตัว (Decay Product) รังสีที่ออกมาจากแหล่งเหล่านี้ส่วนมากเป็นรังสีแกมมา ปริมาณรังสีที่มนุษย์จะได้รับขึ้นอยู่กับสถานที่ ถ้าพื้นดินเป็นหินแกรนิตหรือเป็นสถานที่ๆ มีธาตุยูเรเนียมในธรรมชาติมากกว่าธรรมดาก็อาจมีปริมาณรังสีที่จะได้รับถึง 140 มิลลิเร็ม / ปี ส่วนค่าเฉลี่ยการที่จะได้รับรังสีจากพื้นดินประมาณ 15-40 มิลลิเร็ม / ปี

วัสดุก่อสร้าง มีสารกัมมันตรังสปนอยู่บ้าง มนุษย์สามารถรับรังสีจากที่อยู่อาศัยได้ดังนี้

ปริมาณรังสีที่ได้รับจากบ้านที่ทำด้วยอิฐ 50-100 มิลลิเร็ม / ปี

ปริมาณรังสีที่ได้รับจากบ้านที่ทำด้วยซีเมนต์ 70-100 มิลลิเร็ม / ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณรังสีที่ได้รับจากบ้านที่ทำด้วยไม้ 30-50 มิลลิเร็ม / ปี

2) แหล่งกำเนิดรังสีภายในร่างกาย (Internal Radiation Sources)

จากการบริโภคพืชและการหายใจ พืชจะดูดธาตุโปรแตสเซียม รวมทั้งโปรแตสเซียม 40 ที่เป็นสารกัมมันตรังสีจากพื้นดิน เมื่อมนุษย์บริโภคพืชเข้าไปในร่างกายจะทำให้มีสารกัมมันตรังสีสะสมในร่างกาย ปริมาณที่สะสมจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอายุและเพศของผู้บริโภค ในบรรยากาศมีก๊าซกัมมันตรังสี เรดอน 220 และเรดอน 222 ที่เกิดจากธาตุธอเรียมและยูเรเนียมที่มีอยู่ในพื้นดิน เมื่อมนุษย์หายใจเข้าไปในปอดก็สามารถไหลวนเข้าไปทั่วร่างกายได้ในระบบหมุนเวียนโลหิต สารกัมมันต-รังสีเรดอนที่ตกค้างอยู่ในปอดจะสลายตัวเป็นสารกัมมันตรังสีที่เป็นของแข็งติดในปอด จึงเป็นแหล่งรังสีแอลฟาในร่างกาย นอกจากนี้สารกัมมันตรังสี คาร์บอน 14 ที่เกิดจากปฏิกิริยาของรังสีคอสมิกกับไนโตรเจนในอากาศ จากการสังเคราะห์แสงของพืช(Photosynthesis) พืชจะได้รับคาร์บอน 14 รวมเข้าไปกับคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย เมื่อมนุษย์บริโภคพืช จึงรับเอา คาร์บอน 14 เข้าไปในร่างกายด้วย

ปริมาณการรับรังสีโดยเฉลี่ยโดยเฉลี่ยที่มนุษย์ที่มนุษย์รับจากสารกัมมันตรังสี ที่มีอยู่ในร่างกายเนื่องมาจากการบริโภคอาหาร นำ้ และ การหายใจประมาณ 25 มิลลิเร็ม / ปี

3) แหล่งกำเนิดรังสีที่มีอยู่ในธรรมชาติ

มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการใช้เทคโนโลยีของมนุษย์ ปริมาณของรังสีจากสารกัมมันตรังสีที่มีแหล่งในธรรมชาติดั้งเดิมนั้นเมื่อมิได้นำมาใช้ก็จะอยู่ลึกใต้แผ่นดินไม่กระทบกระเทือนต่อสภาพแวดล้อมเท่าใด แต่เมื่อมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมนุษย์สามารถขุดเจาะนำก๊าซมาใช้ เช่น ใช้ก๊าซในการหุงต้มอาหาร กัมมันตรังสีเรดอน 222 จะไม่หายไปจากการเผาก๊าซ ความแรงของปริมาณรังสี 20×10^{-9} ถึง 50×10^{-9} ไมโครคูรี / ก๊าซ 1 มิลลิลิตร ปริมาณรังสีที่มนุษย์ผู้ใช้ก๊าซจะได้รับ (กรณีที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศที่ดี) จะสูงถึง 50 มิลลิเร็ม / ปีมีการนำถ่านหินหรือลิกไนต์มาใช้เป็นต้นพลังงานก็อาจมีผลกระทบกระเทือนต่อมนุษย์เช่นกัน เพราะตามธรรมชาติจะมีสารกัมมันตรังสีอยู่ในตัวของถ่านหิน เมื่อใช้เป็นต้นพลังงานความร้อนทำให้เกิดการกระจายออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น

1) รังสีที่ใช้ในการแพทย์ แหล่งรังสีที่ใช้ในการวินิจฉัยและบำบัดโรคในกิจการแพทย์มีปริมาณสูงมากเมื่อเทียบกับแหล่งอื่นๆ เช่น การฉายรังสีเอ็กซ์ (X-rays) ในส่วนทรวงอกจะได้รับรังสีประมาณ 9 มิลลิเร็ม / ครั้ง และฉายรังสีเอ็กซ์ที่ลำไส้จะได้รับรังสีประมาณ 210 มิลลิเร็ม /ครั้ง

2) รังสีที่เกิดจากการทดลองลูกระเบิดปรมาณูในอากาศ จะให้สารจากปฏิกิริยาการแตกตัว(Fission Product) ที่เป็นสารกัมมันตรังสีที่มีกัมมันตรังสีสูงมาก เช่น สตรอนเตียม 90, ซีเซียม 137, คาร์บอน 14 ที่ตกค้างอยู่ในอากาศหลังจากการทดลองและสามารถกระจายไปได้ทั่งโลก มนุษย์ทุกคนจึงได้รับสารกัมมันตรังสี (Global fallout) เข้าสู่ร่างกาย

3) แหล่งกำเนิดรังสีอื่นๆ ปริมาณรังสีที่มนษย์ได้รับจากรังสีคอสมิกขึ้นอยู่กับระดับความสูงจากพื้นดิน การเดินทางโดยเครื่องบินจะทำให้ผู้โดยสารรับรังสีเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเครื่องบินโดยสารสมัยปัจจุบันนี้บินในระดับสูงมาก ผู้โดยสารจะได้รับรังสีประมาณ 4 มิลลิเร็ม / การเดินทางในระยะทาง 6,000 ไมล์

เครื่องประดับประจำต่างๆ เช่น สีสะท้อนแสงจากหน้าปัทม์นาฬิกา และหน้าปัทม์เครื่องมือบางชนิด มีส่วนผสมสารกัมมันตรังสี เรเดียม ตริเตียม และ โพรมีเตียม 14 บ้าง มนุษย์จะได้รับรังสีจากแหล่งเหล่านี้ประมาณ 1.5 มิลลิเร็ม

โทรทัศน์ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีชนิดหนึ่ง การดูโทรทัศน์วันละ 5 ชั่วโมง จะได้รับรังสีประมาณ 0.75 มิลลิเร็ม / ปี

นอกจากนี้ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับรังสีที่ใช้ในกิจการแพทย์ และอุตสาหกรรม จะได้รับรังสีมากกว่าบุคคลธรรมดา จากสถิติในประเทศสหรัฐอเมริกา มีคนทำงานในทางรังสีถึง 0.4% ของประชาชนทั้งหมด ค่าประมาณของปริมาณรังสีโดยเฉลี่ยมีบุคคลผู้ทำงานเกี่ยวกับรังสีได้รับเท่ากับ 210 มิลลิเร็ม / ปี นับว่าปริมาณสูงมากเมื่อเทียบกับรังสีจากแหล่งอื่นๆ

4) รังสีจากปฏิกรณ์นิวเคลียร์โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Radiaton from Nuclear Power Plant)

2.2 **สารกัมมันตรังสีในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์**

1) สารกัมมันตรังสีในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ มาจากแหล่งกัมมันตรังสีที่เกิดขึ้นในการเดินเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์แบบน้ำธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

(LWR) แหล่งรับรังสีจากปฏิกิริยาแตกตัวของเชื้อเพลิงในหลอดเชื้อเพลิงที่เรียกว่า สารจากปฏิกิริยาแตกตัว(Fission Product) สารกัมมันตรังสีนี้จะอยู่ในหลอดเชื้อเพลิงตลอดเวลาที่ใช้งานในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ จนกว่าจะถึงเวลาเปลี่ยนเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ใหม่แล้วนำไปสกัดในโรงงานสกัดเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว (Reprocessing Plant) ในบางครั้งอาจมีสารจากปฏิกิริยาแตกตัวสามารถเล็ดลอดออกมาจากหลอดเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ได้บ้างทางรูรั่วเล็กๆ หรือรอยร้าวเล็กๆ ของผนังหลอดเชื้อเพลิงนิวเคลียร์เข้าสู่ระบบนำระบายความร้อนในหม้อปฏิกรณ์นิวเคลียร์ได้ สารกัมมันตรังสีเหล่านี้ตัวที่สำคัญได้แก่ ตริเตียม คริพตอน เซนอน ไอโอดีน ซีเรียม และ สตรอนเตียม

ตารางที่ 6.2 ธาตุจากปฏิกิริยาแตกตัว ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

(Some Important Fission Products)

	Half-life	Radiation		Half-life	Radiation
Gases			*Solids*, cont'd.		
Tritium	12.3 yr	beta	Yttrium-91	59.0 d	beta, 0.3% gamma
Krypton-83m^a	1.9 h	gamma	Tellurium-129	70.0 min	beta, 20% gamma
Krypton-85m^a	4.4 h	beta, gamma	Tellurium-131m^a	1.3 d	82% beta, 31% gamma
Krypton-85	10.8 yr	beta, 0.4% gamma	Tellurium-131	25.0 min	beta, 68% gamma
Krypton-87	1.3 h	beta, gamma	Tellurium-133	13.0 min	beta
Krypton-88	2.8 h	beta, 35% gamma	Iodine-131	8.0 d	beta, gamma
Xenon-133m^a	2.3 d	gamma	Iodine-133	20.0 h	beta, gamma
Xenon-133	5.3 d	beta, 37% gamma	Iodine-135	6.7 h	beta, 37% gamma
Xenon-135m^a	16.0 min	gamma	Cesium-134	2.0 d	beta, gamma
Xenon-135	9.1 h	beta, gamma	Cesium-136	14.0 d	beta, gamma
Xenon-138	18.0 min	beta, gamma	Cesium-137	30.0 yr	beta, 89% gamma
Solids			Cesium-138	32.0 min	beta, 73% gamma
Rubidium-88	18.0 min	beta	Barium-140	13.0 d	beta, gamma
Strontium-89	53.0 d	beta, 0.01% gamma	Lanthanum-140	1.7 d	beta, gamma
Strontium-90	28.0 yr	beta	Cerium-144	290.0 d	beta, 13% gamma
Yttrium-90	2.7 d	beta	Praseodymium-144	17.0 min	beta, 2.5% gamma

[a] The letter *m* refers to a metastable (high-energy) state of the indicated nuclide; metastable state usually decay by emitting their extra energy as gamma rays.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ค่าความเข้มสูงสุดของไอโซโทปของธาตุกัมมันตรังสี (MPC) ที่กำหนดโดยคณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสีระหว่างประเทศ (The International Commission on Radiological Protection, ICRP), (For Occupation Exposure 168 hr week)

ไอโซโทป	MPC ในน้ำ *Ci/cm^3	ไอโซโทป	MPC ในน้ำ *Ci/cm^3
Sr^{89}	1×10^{-4}	Mn^{54}	1×10^{-3}
Sr^{90}	4×10^{-6}	Cr^{51}	2×10^{-2}
Ru^{103}	8×10^{-4}	Fe^{59}	6×10^{-4}
Ru^{106}	1×10^{-4}	Kr^{85}	3×10^{-6}
Te^{127}	8×10^{-3}	Kr^{87}	3×10^{-7}
$I^{1.9}$	4×10^{-6}	Xe^{133}	3×10^{-6}
I^{131}	2×10^{-5}	Xe^{135}	1×10^{-6}
I^{133}	7×10^{-5}	I^{129}	6×10^{-10}
I^{135}	2×10^{-4}	I^{131}	3×10^{-9}
Cs^{134}	9×10^{-5}	I^{133}	1×10^{-8}
Cs^{137}	2×10^{-4}	I^{135}	4×10^{-8}
Co^{60}	5×10^{-4}		
Co^{58}	1×10^{-3}		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แหล่งรังสีมาจากการที่สารหรือธาตุดูดจับนิวตรอน แล้วกลายเป็นสารกัมมันตรังสี (Neutron Activation Products) ออกซิเจนที่ประกอบเป็นโมเลกุลของน้ำระบายความร้อน ก๊าซออกซิเจน ไนโตรเจน และ อาร์กอน ที่ละลายอยู่ในระบบระบายความร้อน เมื่อดูดจับนิวตรอนจะกลายเป็นสารกัมมันตรังสี ตัวที่สำคัญ คือ ไนโตรเจน 13, ไนโตรเจน 16 และอาร์กอน 41 โลหะต่างๆ เช่น เหล็ก โครเมียม นิกเกิล โคบอลต์ และแมงกานีส ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ใช้ทำหม้อปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เครื่องสูบน้ำ ท่อน้ำ (Steam General) ที่เป็นอุปกรณ์ของระบบระบายความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ อาจจะดูดจับนิวตรอนและกลายเป็นสารกัมมันตรังสีได้บ้างบางส่วน เมื่อเกิดการผุกร่อนในผนังของเครื่องอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ เศษและผงโลหะที่เป็นกัมมันตรังสีอาจหลุดเข้าไปปะปนกับน้ำในระบบระบายความร้อนได้ ธาตุที่สำคัญ คือ แมงกานีส 54, แมงกานีส 56, โคบอลต์ 58, โคบอลต์ 60 และเหล็ก 59 สารกัมมันตรังสีเนื่องจากการดูดจับนิวตรอนจะอยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จากแหล่งที่เกิดเมื่อได้ผ่านกรรมวิธีการขจัดกากกัมมันตรังสีที่ทำให้สารเหล่านี้อยู่ในสภาวะทางฟิสิกส์และนิวเคลียร์ที่เหมาะสมในการขจัดกากตามกฎเกณฑ์ระบบการขจัดกากต่อไป

อย่างไรก็ตาม เมื่อได้นำสารกัมมันตรังสีให้ผ่านระบบการขจัดกากกัมมันตรังสีแล้ว ส่วนที่มีระดับรังสีต่ำมากและไม่มีอันตรายตามกฎเกณฑ์ที่กำหนดไว้ก็สามารถปล่อยออกจากแหล่งผลิตพลังงานนิวเคลียร์ หรือโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้ ตามปกติมีการปล่อยออกเป็น 2 สภาวะด้วยกัน คือ การปล่อยออกสู่บรรยากาศ (Airborne Effluent) และการปล่อยสู่แหล่งน้ำข้างเคียงในรูปของเหลว (Liquid Effluent) ด้วยเหตุนี้ประชาชนจะได้รับรังสีจากการปล่อยออกของแหล่งผลิตพลังงานนิวเคลียร์ แต่จะได้รับเป็นปริมาณน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับรังสีที่มีอยู่เป็นพื้นฐานในธรรมชาติ ในทางปฏิบัติเครื่องปฏกรณ์นิวเคลียร์ทั่วโลก เมื่อปล่อยรังสีปริมาณเล็กน้อยนี้ยังไม่เคยปรากฏผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของประชาชนแต่อย่างใด

2) วิถีทางที่ประชาชนจะได้รับรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ (Radiation Exposure Pathway) ประชาชนอาจจะได้รับรังสีจากหลายทางด้วยกัน แหล่งภายนอกร่างกายได้รับจากการสัมผัสกับอากาศรอบตัวจากการอาบน้ำในทะเล แม่น้ำ ลำคลอง จากรังสีที่มาจากสารกัมมันตรังสีที่ตกค้างอยู่บนพื้นดิน ในลักษณะเป็นฝุ่นกัมมันตรังสี และการรับรังสีโดยตรงจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ แหล่งภายในร่างกายโดยการหายใจเอา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกัมมันตรังสีเข้าไป จากการบริโภคน้ำและอาหาร เช่น พืช ผัก ปลา ผลไม้ ปู หอย แม้แต่นกและสัตว์ปีกอื่นๆ จากการดื่มนมวัว ควาย แพะ เป็นต้น

สารกัมมันตรังสีจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก คือ ไอโอดีน 131 และ ไอโอดีน 133 (เกิดจากปฏิกิริยาแตกตัวของเชื้อเพลิงนิวเคลียร์) ซึ่งมีผลต่อต่อมไทรอยด์ และสลายตัวได้ยาก ตริเตียมจะมีอยู่ในการปล่อยออกมาทางบรรยากาศ และในการปล่อยของเหลว ซึ่งสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง มนุษย์ได้รับตริเตียมไม่มากนัก แต่ตริเตียมสามารถอยู่ได้ดีในสิ่งแวดล้อม สำหรับซีเซียม 134 และ ซีเซียม 137 นั้น มนุษย์สามารถรับรังสีจากธาตุนี้ เช่น รังสีแกมมา และรังสีเบตา อาจที่จะได้รับซีเซียมโดยการดื่มน้ำ และการบริโภคสัตว์น้ำที่จับบริเวณโรงไฟฟ้านิวเคลียร์หรือใกล้เคียง ส่วนธาตุอื่นๆ ก็มีการปล่อยออกสู่บรรยากาศบ้าง แต่จะได้รับรังสีจากการสัมผัสกับอากาศภายนอกร่างกายในส่วนการหายใจเข้าไปนั้นมีน้อย

ก๊าซกัมมันตรังสีอื่นๆ ที่มีครึ่งชีวิตสั้น (Short Halflife) สามารถลดระดับความแรงของรังสีในตัวเองได้ ถ้ากักเก็บเอาไว้ให้ระดับรังสีลดลงก่อนที่จะออกสู่สิ่งแวดล้อม ได้แก่ เซนอน 133 และ คริพตอน 88 ส่วนคริพตอน 85 แม้จะออกมาเป็นจำนวนน้อย แต่มีความสามารถในการสะสมอยู่ในบรรยากาศจนมีปริมาณมากพอที่จะเป็นผลกระทบต่อมนุษย์ได้

ปริมาณรังสีที่ประชาชนซึ่งพักอาศัยใกล้เคียงกับสถานที่ตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ได้รับ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีอื่นๆ จากตัวเลขเฉลี่ยข้อมูลของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ที่ทำการบันทึกจากข้อมูลของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่เดินเครื่องแล้วทั่วโลก แสดงให้เห็นว่า ปริมาณรังสีที่มนุษย์ได้รับนั้น จากธรรมชาติมากที่สุด 67.6% รังสีที่ใช้ในกิจการแพทย์ซึ่งเป็นแหล่งรังสีที่มนุษย์ผลิตขึ้น 30.7% ส่วนรังสีที่มาจากอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ (รวมทั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์) เพียง 0.15% เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ระบบการป้องกันสิ่งแวดล้อมในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ อากาศในโรงไฟฟ้าที่จะระบายออกสู่บรรยากาศจะถูกบำบัดเสียก่อน โดยมีการเก็บกักไว้ช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้มีการสลายตัวของกัมมันตรังสีที่มีอายุสั้น จากนั้นจะมีการกรองเพื่อเก็บฝุ่นละอองและดักจับกัมมันตรังสีก่อนที่จะปล่อยออกทางปล่องระบายอากาศ

ของเหลวหรือน้ำที่อยู่ในระบบหรือต้องการปล่อยทิ้ง ในส่วนที่มีโอกาศปนเปื้อนสารกัมมันตรังสีจะมีการบำบัดในทุกจุดโดยอาศัยการเช่นเดียวกับอากาศ

ในการออกแบบโรงไฟฟ้าจะมีการสร้างแบบจำลองสภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้ทำนายปริมาณรังสีที่จะกระจัดกระจายไปในบริเวณต่างๆ โดยใช้สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วและทิศทางลม ฤดูกาลสภาพอากาศ และข้อมูลภูมิประเทศ เป็นต้น เพื่อนำกลับมาแก้ไขปรับปรุงโครงสร้างของโรงไฟฟ้าและแบบจำลองนี้ยังมีการใช้เมื่อเกิดอุบัติเหตุรั่วไหลของสารกัมมันตรังสีอีกด้วย

4) มาตรการป้องกันสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ การดำเนินงานโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทุกขั้นตอน ตั้งแต่การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม การเลือกสถานที่ตั้ง การออกแบบ การก่อสร้าง การเดินเครื่อง การบำรุงรักษา การเปลี่ยนเชื้อเพลิง และกระบวนการอื่นๆ ต้องดำเนินการตามกฎหมายและข้อบังคับอย่างเคร่งครัด โดยยึดเกณฑ์ของทบวงการพลังงานระหว่างประเทศ (IAEA)และพิจารณาดัดแปลงจากข้อกำหนดของประเทศที่ได้รับความเชื่อถือด้านการใช้พลังงานนิวเคลียร์

นอกจากนี้จะมีการติดตามตรวจสอบระดับรังสีอย่างสม่ำเสมอเพื่อจะได้ทราบความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น การตรวจสอบระดับรังสีกระทำโดยการตรวจวัดระดับรังสีรอบบริเวณ การเก็บตัวอย่างน้ำ ดิน อากาศ พืช สัตว์ และนม มาตรวจการสะสมของสารกัมมันตรังสีและตรวจสภาพอากาศ อุตุนิยมวิทยา เป็นต้น

3. **อุบัติเหตุ**

แม้การก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะมีการกำหนดมาตรการ และการออกแบบการก่อสร้างตลอดจนปฏิบัติงานตามที่ได้กำหนดไว้ ทำให้โอกาศที่จะเกิดอุบัติเหตุมีน้อยมาก แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการเตรียมพร้อมที่จะจัดการกับอุบัติเหตุซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดการกับอุบัติเหตุ

การเตรียมพร้อมที่จะจัดการกับอุบัติที่อาจเกิดขึ้นเป็นสิ่งสำคัญ การจัดการกับอุบัติเหตุหมายถึงมาตรการต่างๆ ที่นำมาใช้เพื่อลดผลความเสียหายในโรงไฟฟ้าให้น้อยลงจนในระดับที่สามารถควบคุมได้และไม่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานภายในโรงไฟฟ้าและประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบๆ โรงไฟฟ้า การจัดการกับอุบัติเหตุจะประกอบด้วยมาตรการต่างๆ เป็นขั้นตอนดังนี้

- การป้องกันอุบัติเหตุและการควบคุมความเสียหายไม่ให้ขยายตัวรุนแรง
- การบรรเทาผลจากอุบัติเหตุ

เครื่องมือสำคัญที่จะนำมาใช้ในการจัดการอุบัติเหตุประกอบไปด้วยมาตรการต่างๆ รวมทั้งระบบความปลอดภัยต่างๆ ที่นำมาใช้ และความสำคัญมากก็คือ ระบบป้องกันตัวอาคารปฏิกรณ์ที่จะเป็นตัวลดผลความเสียหายให้จำกัดอยู่ในเฉพาะตัวปฏิกรณ์เท่านั้น

แผนการฉุกเฉินนอกบริเวณไฟฟ้า

โดยปกติบริเวณโดยรอบๆ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะเป็นบริเวณที่ห่างจากศูนย์กลางของชุมชน และบริเวณที่ประชาชนอาศัยอยู่ไม่หนาแน่นเกินไป แผนการฉุกเฉินนอกบริเวณโรงไฟฟ้า เป็นการจัดเตรียมอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในบริเวณโดยรอบโรงไฟฟ้าเพื่อเป็นการป้องกันผู้ปฏิบัติงานในโรงไฟฟ้า และประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบๆ ไม่ให้ได้รับอันตรายจากรังสีไม่ว่าจะเกิดอุบัติเหตุรุนแรงเพียงใดก็ตาม มาตรการต่างๆ ในแผนการฉุกเฉินประกอบด้วย

- การแจ้งข่าวให้ทราบก่อนแต่เนินๆ
- การจัดหาสถานที่ที่ปลอดภัยและการเตรียมการอพยพ
- การจัดเตรียมอุปกรณ์ในการป้องกันรังสี
- การตรวจวัดปริมาณรังสี
- การควบคุมเส้นทางเข้า-ออกบริเวณโดยรอบโรงไฟฟ้า
- การทำความสะอาดการปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี
- การจัดเตรียมการบริการทางแพทย์
- การจัดเตรียมอาหารและเครื่องดื่ม
- การควบคุมผลผลิตทางการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารให้ประชาชนได้ทราบ

4. ความร้อน

ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จะมีความร้อนเหลือจากการใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า และไม่ได้ใช้ (Waste Heat) ปล่อยออกมา ความร้อนที่เหลือนี้ส่วนมากจะปล่อยออกมากับน้ำจากระบบระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น ความร้อนดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิของแหล่งน้ำบริเวณนั้นสูงขึ้นกว่าเดิม สำหรับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิดใช้น้ำบริสุทธิ์ (LWR) จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 10 °Cจะมีผลกระทบต่อกระเทือนต่อสิ่งมีชีวิตซึ่งอาศัยและเจริญเติบโตในบริเวณนั้น รวมทั้งระบบนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำด้วย ผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับอัตรา และปริมาณของน้ำอุ่นจากระบบระบายความร้อนที่ปล่อยออกมา ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีวิธีการและการควบคุมการปล่อยน้ำอุ่นจากระบบระบายความร้อนด้วยวิธีการที่ถูกต้อง ทั้งนี้จะต้องให้เป็นไปตามกฎเกณฑ์และข้อบังคับที่วางไว้

ในโรงไฟฟ้านิวเคลียรชนิดที่ใชน้ำบริสุทธิ์ (LWR) อัตราความร้อนมีค่าประมาณ 10,400 บีทียู ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วยเท่ากับ 3,413 บีทียู ดังนั้นประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ 33% ปริมาณความร้อนส่วนหนึ่งที่ระบายออกทำให้ตัวโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ร้อนขึ้นประมาณ 5% จึงเหลือปริมาณความร้อนที่จะต้องระบายออกจากเครื่องควบแน่นอีก 62% จึงเห็นได้ว่าการที่โรงไฟฟ้าผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกๆ 1 หน่วย (Watt)จะต้องระบายความร้อนจากเครื่องควบแน่นประมาณ 6,500 บีทียู/ชั่วโมง ถ้าคิดจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 1,000 MW อัตราการระบายความร้อนจะเท่ากับ 6.5×10^9 บีทียู/ชั่วโมง

การคำนวณหาอัตราความร้อนและปริมาณของน้ำที่จะต้องใช้ในการระบายความร้อนของโรงไฟฟ้าสามารถหาค่าได้จากสมการ

"อัตราการระบายความร้อน (บีทียู/ชั่วโมง) มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (ปอนด์/ชั่วโมง) กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของน้ำที่ใช้ระบายความร้อน(องศาฟาเรนไฮต์)"

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ชนิดใช้น้ำบริสุทธิ์ (LWR) อุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนในเครื่องควบแน่นซึ่งดูดจากแหล่งน้ำ จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 17°F (10°C) ดังนั้น อัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมในการระบายความร้อนเท่ากับ 360 ล้านปอนด์/ชั่วโมง หรือ 45 ลูกบาศก์/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิของน้ำมีอิทธิพลต่อการควบคุมการเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบภายในสิ่งมีชีวิต (Metabolism) และพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำ อุณหภูมิไม่เพียงแต่จะมีผลกระทบต่อการกำหนดการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในแต่ละชนิดออกไปเท่านั้น แต่ยังมีผลต่อการจัดระเบียบรูปแบบของระบบนิเวศวิทยา (Ecosystem) ด้วย สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดในแหล่งน้ำจะมีระดับอุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิสูงสุดของน้ำที่จะดำรงชีวิตอยู่ได้ (Tolerance Temperature) ที่ระดับอุณหภูมิซึ่งทำให้มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด (Optimum Growth Temperature) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำรงชีวิต (Perferred Temperature) และมีขอบเขตของระดับอุณหภูมิของน้ำที่อพยพย้ายที่อยู่ การวางไข่ รวมทั้งการขยายพันธุ์ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมของน้ำยังมีผลในทางอ้อมต่อการละลายของออกซิเจน ระดับการเป็นอันตรายจากสารเคมีบางอย่างต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้

ได้มีการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อสิ่งมีชีวิต สัตว์น้ำและพืชน้ำทั้งในห้องทดลองและบริเวณแหล่งปล่อยน้ำอุ่น เนื่องจากการระบายความร้อนลงสู่แหล่งน้ำนั้นๆ แต่การคาดหมายนั้นอาจมีการคาดเคลื่อนไปบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อยุ่งยากในการทำนายผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งมีความซับซ้อนมาก นอกจากนั้นยังจะต้องพิจารณาถึงความแตกต่างของผลกระทบในระยะสั้นและระยะยาว เนื่องจากผลกระทบในระยะสั้นอาจมีผลมาก แต่ตามธรรมชาติแล้วจะมีการปรับตัวของระบบนิเวศไปด้วย ฉะนั้นผลกระทบอาจไม่มากตามคาดหมายก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กฎหมายและข้อบังคับ

2.1 กฎหมายและข้อบังคับที่มีผลกระทบต่อโครงการ

ก่อนที่จะเริ่มโครงการจะต้องมีการทบทวนกฎหมายต่างๆ ที่บังคับใช้อยู่ในปัจจุบัน รวมทั้งประเทศหรือคำสั่งตามกฎหมายว่าด้วยการเวนคืนที่ดิน และการวางแผนพัฒนาร่วมกัน เนื่องด้วยกฎหมายเหล่านี้อาจมีผลกระทบต่อการดำเนินงานของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ นอกจากนี้จำเป็นจะต้องมีการร่างกฎหมายที่เกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขึ้น ครอบคลุมการดำเนินงานโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทุกขั้นตอน ตั้งแต่การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม การเลือกสถานที่ตั้ง การออกแบบ การก่อสร้าง การเดินเครื่อง การบำรุงรักษา การขนส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ และกระบวนการอื่นๆ ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม โดยยึดข้อกำหนดของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA : องค์การสหประชาชาติ) และพิจารณาดัดแปลงข้อกำหนดของบางประเทศที่ได้รับการยอมรับในด้านการใช้พลังงานนิวเคลียร์ กฎหมายและข้อบังคับที่สำคัญมีดังนี้

1. พระราชบัญญัติเวนคืนอสังหาริมทรัพย์ พ.ศ.2530 ซึ่งครอบคลุมเรื่องการเวนคืน ค่าทดแทน และวิธีการเวนคืนอสังหาริมทรัพย์

2. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ซึ่งกำหนดระเบียบและขั้นตอนว่าด้วยการรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

3. กฎเกณฑ์และข้อบังคับด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมในโครงการโครงไฟฟ้านิวเคลียร์ โดยในที่นี้จะพิจารณาดัดแปลงจากกฎเกณฑ์และข้อบังคับของคณะกรรมาธิการพลังงานปรมาณูแห่งสหรัฐอเมริกา (USAEC) และของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)

นอกจากนี้ก็ยังมีกฎหมายอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อโครงการได้เช่นกัน เช่น พระราชบัญญัติการผังเมือง พระราชบัญญัติส่งเสริมให้เอกชนมีส่วนร่วมในการดำเนินงานในกิจการของรัฐ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับกฎหมายบางฉบับ

1.พระราชบัญญัติเวนคืนอสังหาริมทรัพย์ พ.ศ.2530

ได้มีประกาศใช้พระราชบัญญัติเวนคืนอสังหาริมทรัพย์ พ.ศ.2530 โดยการแก้ไขปรับปรุง พ.ร.บ.เวนคืนอสังหาริมทรัพย์ พ.ศ.2497 ซึ่งเก่าแก่ล้าสมัย ประเด็นหลักของ พ.ร.บ.นี้ ครอบคลุมเรื่องการเวนคืน ค่าทดแทน และวิธีดำเนินการ

ตามบทบัญญัติแห่ง พ.ร.บ.นี้ เมื่อไรก็ตามที่เกิดความต้องการอสังหาริมทรัพย์เพื่อสาธารณประโยชน์ การป้องกันประเทศ ทรัพยากรธรรมชาติ การผังเมือง การพัฒนาเกษตรกรรม การพัฒนาอุตสาหกรรม การปฏิรูปที่ดิน และเพื่อสาธารณประโยชน์อื่นใด ภาครัฐบาลสามารถทำการเวนคืนได้ เว้นไว้แต่ที่ พ.ร.บ.ระบุไว้เป็นอย่างอื่น

ถึงแม้ว่าการเวนคืนถูกกำหนดไว้ในกฎหมายทั่วไปแล้ว แต่การเวนคืนอสังหาริมทรัพย์ตามบทบัญญัติแห่ง พ.ร.บ. นี้ ก็สามารถนำมาใช้ได้ หากได้รับความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรี

มาตรา 18-27 แห่ง พ.ร.บ.นี้ กำหนดหลักเกณฑ์การจ่ายค่าทดแทนอสังหาริม-ทรัพย์ที่ถูกเวนคืนและมาตรา 28-36 กำหนดหลักเกณฑ์ในการเวนคืนและวิธีดำเนินการ

2. พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535

พระราชบัญญัติฉบับที่ว่าด้วยมาตรการควบคุมและแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยส่งเสริมประชาชนและองค์กรเอกชนให้มีส่วนร่วมในการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม จัดระบบการบริหารสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามหลักการจัดการคุณภรพสิ่งแวดล้อม กำหนดอำนาจหน้าที่ของส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ และราชการส่วนท้องถิ่นให้เกิดการประสานงานและมีหน้าที่ร่วมกันในการสิ่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม ตลอดจนถึงระเบียบและขั้นตอนว่าด้วยการรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ฯลฯ

มาตรา12-21 ว่าด้วยคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

มาตรา 32-34 ว่าด้วยมาตรฐานคุณภาพชีวิต

มาตรา 35-41 ว่าด้วยการวางแผนจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อม

มาตรา 42-45 ว่าด้วยเขตอนุรักษ์และพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม

มาตรา 46-51 ว่าด้วยการทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. กฎเกณฑ์และข้อบังคับด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมในโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่ได้มีการตรากฎหมายขึ้นใช้ในประเทศ แต่ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ได้กำหนดกฎเกณฑ์และข้อบังคับเพื่อใช้กับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทั่วโลก และในที่นี้จะพิจารณาดัดแปลงจากกฎเกณฑ์และข้อบังคับของคณะกรรมาธิการพลังงานปรมาณูแห่งสหรัฐอเมริกา (USAEC)

กฎเกณฑ์และข้อบังคับที่คณกรรมาธการพลังงานปรมาณูแห่งสหรัฐอเมริการ ได้กำหนดขึ้น เกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์โดยเฉพาะ เรียกว่า "Code of Federal Regulations" ภาคที่ 10 (10 CFR) เป็นกฎเกณฑ์และข้อกำหนดอย่างละเอียดที่สำคัญ และได้นำมาใช้สำหรับประเทศไทย ดังนี้

1. 10 CFR 20 มาตรฐานสำหรับการป้องกันอันตรายจากรังสี (Standard for Protection Against Radiation)

กฎข้อนี้เป็นมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายจากรังสี ได้มีการกำหนดมาตรฐานควบคุมและอัตราการปล่อยรังสีออกมา ทั้งในเวลาเดินเครื่องปกติ และในเวลาเกิดอุบัติเหตุ ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสิ่งที่มีชีวิต กฎเกณฑ์ที่ได้กำหนดให้ใช้ข้อบังคับขององค์การป้องกันอันตรายสิ่งแวดล้อม (The Environmental Protection Agency หรือ EPA) ของสหรัฐอเมริกาเป็นหลักในการปฏิบัติ

2. 10 CFR 50 การออกใบอนุญาตในการผลิต และการใช้ประโยชน์ของอุปกรณ์นิวเคลียร์ (Licensing of Production and Utilization Facilities)

เป็นกฎเกณฑ์ในการควบคุมการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในทางสันติทุกชนิด สำหรับเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ เป็นมาตรการควบคุมทุกขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง การเดินเครื่อง และอื่นๆ กำหนดมาตรฐานของวัสดุที่ใช้ในการผลิต การประกอบชิ้นส่วนของอุปกรณ์ทุกชนิด การทดสอบ รวมทั้งควบคุมการประกันคุณภาพทุกขั้นตอน เพื่อให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีความปลอดภัย

3 10 CFR 55 การออกใบอนุญาตการเดินเครื่อง (Operators Licenses)

ข้อกำหนดนี้เป็นมาตรการควบคุมคุณสมบัติของผู้ที่จะปฏิบัติงานในหน่วยต่างๆภายในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ผู้ที่จะปฏิบัติงานนอกจากจะต้องมีคุณสมบัติครบด้วยแล้วต้องผ่านการทดสอบและสอบเพื่อขอใบอนุญาตการปฏิบัติงานเดินเครื่อง ทั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อจะได้มีความเข้าใจ สามารถควบคุมและเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างเรียบร้อย และปลอดภัย

4. 10 CFR 70 วัสดุนิวเคลียร์พิเศษ (Special Nuclear Material)

ข้อกำหนดและมาตรการเกี่ยวกับวัสดุนิวเคลียร์พิเศษ เช่น พลูโตเนียม-239 ยูเรเนียม-233 และยูเรเนียม-235 เป็นต้น ควบคุมถึงการรับ การส่ง การครอบครอง การเคลื่อนย้าย รวมทั้งการใช้วัสดุนิวเคลียร์

5. 10 CFR 71 การขนส่งวัสดุรังสี (Packing of Radioactive Material for Transport)

ข้อกำหนดควบคุมการขนส่งวัสดุที่มีรังสี หมายถึงแท่งเชื้อเพลิงที่ใช้แล้ว กำหนดวิธีการและลักษณะการขนส่งที่ปลอดภัย รวมทั้งการออกแบบภาชนะที่บรรจุและพาหนะที่ใช้ให้ได้มาตรฐานที่สามารถทนทานต่อสภาพการถูกกระแทก การถูกบีบอัด และความทนทานต่อความร้อนให้ได้ตามมาตรฐาน

6. 10 CFR 100 ข้อกำหนดสถานที่ตั้งปฏิกรณ์นิวเคลียร์ (Reactor site Criteria)

ข้อกำหนดสำหรับเลือกสถานที่ก่อสร้างให้มีความปลอดภัยที่สุด โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญทางวิชาการ เช่น สภาพแผ่นดินไหว อุตุนิยมวิทยา สมุทรศาสตร์ อุทกศาสตร์ ธรณีวิทยา ลักษณะประกอบทางเขตปลอดประชากร (Exclusion Area) เขตประชากรบาง (Low Population Zone) และการอยู่ห่างจากชุมชน (Population Centre Distance)

2.3 หน่วยงานที่ควบคุมและปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในประเทศไทย

ปัจจุบันมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์อยู่ 3 หน่วยงาน คือ คณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ

คณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ (พปส.) ตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ พ.ศ.2504 โดยมีประกาศแต่งตั้งคณะกรรมการพลังงานปรมาณูเพื่อสันติให้มีหน้าที่พิจารณาออกใบอนุญาต วางมาตรการและควบคุมการใช้พลังงานปรมาณูในทางสันติ รวมทั้งเป็นส่วนราชการที่กำหนดกฎเกณฑ์และข้อบังคับต่างๆเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการใช้พลังงานปรมาณู (พลังงานนิวเคลียร์) ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้และประชาชน

คณะกรรมการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) ตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติสภาพัฒนาการเศรษฐกิจแห่งชาติ พ.ศ.2502 โดยมีประกาศแต่งตั้งให้สภาพัฒนาการเศรษฐกิจแห่งชาติ มีหน้าที่พิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์และการใช้ทรัพยากรในประเทศของโครงการของหน่วยราชการ และรัฐวิสาหกิจต่างๆ เพื่อนำข้อคิดเห็นเสนอประกอบการพิจารณาของคณะรัฐมนตรี ดังนั้น สศช. จึงมีหน้าที่ในการพิจารณาความเหมาะสมของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ด้วยว่าอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมหรือไม่

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สวล.) ตั้งขึ้นตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2518 แต่งตั้งคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติให้มีหน้าที่พิจารณาเสนอความเห็นเกี่ยวกับส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ และภาคเอกชน ที่ดำเนินการในโครงการต่างๆ ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความเสียหายแก่คุณภาพสิ่งแวดล้อมต่อคณะรัฐมนตรี หรือส่วนราชการที่เกี่ยวข้องและเสนอแนะมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมในเรื่องต่างๆ พร้อมทั้งมาตรการในการตรวจสอบ เสนอแนะข้อแก้ไขพร้อมทั้งบทกำหนดโทษต่อผู้ฝ่าฝืนเพื่อเสนอต่อคณะรัฐมนตรี

ในด้านการปฏิบัติ ผู้ดำเนินโครงการจะต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการใช้ทรัพยากรในประเทศ เสนอผ่านกระทรวงเจ้าสังกัดของผู้ดำเนินโครงการ ถึง สศช. เพื่อทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมของโครงการที่ได้เสนอมา เมื่อคณะกรรมการบริหาร สศช.ได้ทำการวิเคราะห์เสร็จและสรุปข้อคิดเห็นเสนอแนะต่อคณะรัฐมนตรี เพื่อประกอบการพิจารณาอนุมัติหรือระงับโครงการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

พลังงานนิวเคลียร์ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าประมาณ 40 ปีมาแล้ว มีอุบัติเหตุร้ายแรงเกิดขึ้น 2 ครั้ง ได้แก่อุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์ในสหรัฐอเมริกา และอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชอร์โนบิล ในรัฐยูเครนของอดีตสหภาพโซเวียต (ปัจจุบันคือประเทศยูเครน : Ukraine)ซึ่งครั้งนี้นับได้ว่าเป็นอุบัติเหตุครั้งร้ายแรงที่สุด

อุบัติเหตุทั้งสองครั้งนี้ ถือว่าเป็นบทเรียนที่สำคัญในการใช้พลังงานนิวเคลียร์ ทำให้วงการอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ตระหนักถึงมหันตภัยที่เกิดขึ้น และได้มีการกำหนดมาตรการควบคุมด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้กับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ทั่วโลก ซึ่งก็คือ กฎเกณฑ์และข้อบังคับของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)

<u>อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์</u>

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์ ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ PWR ขนาดกำลัง 954 เมกกะวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์ มี 2 หน่วย หน่วยที่เกิดอุบัติเหตุคือหน่วยที่ 2 ซึ่งเริ่มเดินเครื่องเข้าสู่สภาวะวิกฤตเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2521 และได้เกิดอุบัติเหตุแกนปฏิกรณ์หลอมละลายเนื่องจากขาดน้ำระบายความร้อนเมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2522 ความเสียหายจากอุบัติเหตุมีทั้งผลทางรังสี และผลทางเศรษฐกิจ ผลทางรังสี คือ มีเจ้าหน้าที่ของโรงไฟฟ้าได้รับรังสีสูงสุดประมาณ 40 มิลลิซีเวิร์ท จำนวน 2 คน และมีสารกัมมันตรังสีรั่วออกสู่สิ่งแวดล้อมเอม ทำให้ประชาชนได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น 0.00416-0.0125 เท่า จากรังสีที่ได้รับในธรรมชาติ ส่วนผลทางเศรษฐกิจ คือ โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 ต้องหยุดดำเนินการ และจ่ายค่าไฟฟ้าทดแทนวันละประมาณ 12 ล้านบาท ถูกฟ้องร้องเรียกค่าเสียหายประมาณ 500 ล้านบาท และค่าซ่อมแซมโรงไฟฟ้าที่เชื้อเพลิงหลอมละลายประมาณ 2 หมื่นล้าน

อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 นับได้ว่าเป็นอุบัติเหตุที่รุนแรงที่สุดของเทคโนโลยีนิวเคลียร์ในโลกตะวันตก (สหรัฐอเมริกา แคนาดา ฝรั่งเศส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เยอรมัน) ดังนั้นหลังจากอุบัติเหตุดังกล่าวจึงเกิดการพัฒนาทั้งด้านเทคโนโลยีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และด้านการควบคุมความปลอดภัย

1. ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2

ตารางที่ 6.4 รายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ	PWR
ระบบระบายความร้อนปฐมภูมิ	น้ำธรรมดา
ระบบระบายความร้อนทุติยภูมิ	น้ำธรรมดา
สารหน่วงนิวตรอน	น้ำธรรมดา
ขนาดกำลัง	959 เมกกะวัตต์ไฟฟ้า
แกนปฏิกรณ์	
เส้นผ่านศูนย์กลาง	3.27 เมตร
ความสูง	3.65 เมตร
ลักษณะ	ทรงกระบอก
เชื้อเพลิง	ยูเรเนียมไดออกไซด์ (UO_2) , U-235 เสริม สมรรถนะต่ำ 2.57%
จำนวนแท่งเชื้อเพลิง	36816 แท่ง
การจัดเรียงมัดแท่งเชื้อเพลิง	15*15
จำนวนมัดแท่งเชื้อเพลิง	177
แท่งควบคุม	Ag-In-Cd (80%-15%-5%)
จำนวนแท่งควบคุม	69 มัดแท่งควบคุม
ถังปฏิกรณ์	
เส้นผ่านศูนย์กลาง	4.35 เมตร
ความสูง	12.4 เมตร
ความดันขณะเดินเครื่องปกติ	2150 ปอนด์/ตารางนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุ	High carbon steel
<u>อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์</u>	
ความสูง	58.8 เมตร
ความหนา	1.2 เมตร
วัสดุ	คอนกรีตเสริมเหล็ก

<u>2. ลำดับเหตุการณ์อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2</u>

เมื่อเวลา 4.00 น. ของวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2522 มีสัญญาณแจ้งเหตุจากกังหันไอน้ำให้ลดกำลังเครื่องปฏิกรณ์ (ลดอัตราการเกิดปฏิกริยาฟิชชัน) เนื่องจากปริมาณไอน้ำที่ไปหมุนกังหันที่น้อยผิดปกติ ซึ่งมีสาเหตุมาจากปั๊มของ Feed water ในวงจรระบายความร้อนทุติยภูมิเกิดการขัดข้องไม่สามาปั๊มน้ำจากเครื่องควบแน่นไปยังเครื่องผลิตไอน้ำได้ทำให้ปริมาณน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำน้อยลง การที่ปริมาณน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำลดลงทำให้ปริมาณการถ่ายโอนความร้อนของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิน้อย ระบายความร้อนทุติยภูมิมีประสิทธิภาพต่ำลง หลังจากเกิดอุบัติเหตุไป 3 นาที ปริมาณความร้อนภายในเตาปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้น้ำระบายความร้อนปฐมภูมิขยายตัวทำให้ความดันสูงขึ้นเป็น 2255 ปอนด์/ตารางนิ้ว (ปกติถังปฏิกรณ์ควบคุมความดันที่ 2150 ปอนด์/ตารางนิ้ว) และในขณะเดียวกันไอน้ำในส่วนบนของเครื่องควบคุมความดันถูกอัดตัวเนื่องจากการขยายตัวของน้ำ จนกระทั่งความดันภายในถังปฏิกรณ์เพิ่มเป็น 2355 ปอนด์/ตารางนิ้ว จึงมีสัญญาณส่งไปเปิดวาล์ว Pilot Operated Relief Valve (PORV) ของเครื่องควบคุมความดัน โดยวาล์ว PORV ต่อกับท่อที่นำน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิที่ถ่ายโอนความร้อนในเครื่องผลิตไอน้ำแล้ว ซึ่งเรียกว่า น้ำเย็น (Cold Leg) กลับเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ เมื่อวาล์วเปิดน้ำเย็นจะไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมความดันแทนน้ำเย็นที่ไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมความดันจะไปควบแน่นไอน้ำที่ถูกอัดตัว ให้กลายเป็นหยดน้ำทำให้ความดันภายใน เครื่องควบรุมความดันลดลง เมื่อความดันในเครื่องควบคุมความดันลดลง ความดันในถังปฏิกรณ์จะลดลงเช่นเดียวกัน เนื่องจากความดันในถังปฏิกรณ์และเครื่องควบคุมความดันมีความสัมพันธ์แบบแปรตามกัน

เวลา 04.02 น. ความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงเหลือ 2255 ปอนด์/ตารางนิ้ว-กรัม High pressure injection pump (HPI) เริ่มทำงานโดยการปล่อยน้ำระบายความร้อนเข้าสู่แกนปฏิกรณ์แบบอัตโนมัติ ด้วยอัตราการไหล 1000 แกลลอน/นาที แต่เจ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

หน้าที่ดูที่แผงวงจรพบว่าระดับน้ำภายในเครื่องควบคุมความดันสูงเพียงพอ (เจ้าหน้าที่ได้รับการฝึกอบรมว่า ถ้าระดับน้ำในเครื่องควบคุมความดันสูงเพียงพอ แสดงว่า ภายในเตาปฏิกรณ์มีน้ำระบายความร้อนสูงเกินกว่าแกนปฏิกรณ์ เนื่องจากตำแหน่งของเครื่องควบคุมความดันอยู่สูงกว่าเตาปฏิกรณ์ ดังนั้นหากเครื่องควบคุมความดันมีปริมาณน้ำมากภายในแกนปฏิกรณ์ย่อมมีน้ำมากเช่นกัน) เจ้าหน้าที่จึงลดอัตรการไหลของน้ำจาก HPI เหลือ 100 แกลลอน/นาที หลังจาก HPI ทำงานได้เพียง 30 วินาที ในกรณีนี้หากเจ้าหน้าที่ปล่อยให้ HPI ทำงานโดยอัตโนมัติแล้วจะมีปริมาณน้ำมากพอที่จะระบายความร้อนในแกนปฏิกรณ์ได้ ซึ่งคงจะไม่เกิดการหลอมละลายแกนปฏิกรณ์

เวลา 04.08 น. เจ้าหน้าที่ได้ตรวจสอบปริมาณน้ำที่จะเข้าเครื่องผลิตไอน้ำ ปรากฏว่าไม่มีน้ำไหลเข้าเครื่องผลิตไอน้ำ เนื่องจาก Emergency feed water pump ของระบบระบายความร้อยทุติยภูมิที่สำรองไว้ 2 เครื่องไม่ได้ทำงาน เนื่องจากปั๊มสำรองทั้ง 2 ถูกปิด ซึ่งปกติปั๊มทั้งสองจะต้องเปิดตลอดเวลา จะปิดต่อเมื่อในระหว่างการทดสอบ Emergency feed water pump และจะต้องเปิดปั๊มไว้ตามเดิมเมื่อการทดสอบเสร็จสิ้น หลังจากเจ้าหน้าที่ตรวจสอบพบว่ามีตารางการทดสอบ Emergency feed water pump เมื่อวันที่ 26 มีนาคม และหลังจากการทดสอบไม่ได้เปิดปั๊มไว้ตามเดิม ปั๊มดังกล่าวถูกปิดมาเป็นเวลา 2 วันแล้ว ดังนั้นเมื่อ feed water pump ไม่ทำงานจึงไม่มีปั๊มสำรองทำงานต่อเนื่องซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาณน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำลดลง เจ้าหน้าที่จึงทำการเปิด Emergency feed water pump ทั้ง 2 ตัว เพื่อให้น้ำระบายความร้อนทุติยภูมิสามารถไหลเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำได้ จากเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้เจ้าหน้าที่คิดว่าสามารถค้นพบสาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุและสามารถควบคุมสถานการณ์ดังกล่าวไว้ได้เรียบร้อย

เวลา 04.11 น. มีสัญญาณเตือนว่ามีน้ำภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์(เป็นน้ำซึ่งล้นมาจากถังเก็บที่รับน้ำที่มากเกินพอของเครื่องควบคุมความดัน) นำดังกล่าวมีส่วนของไอน้ำอยู่ด้วยทำให้ความร้อนและความดันภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น

เวลา 04.12 น. สามารถลดความดันในเตาปฏิกรณ์ลงมาเป็น 2205 ปอนด์/ตารางนิ้ว วาล์ว PORV จึงปิดลงและมีสัญญาณไฟขึ้นที่หน้าจอห้องควบคุมแสดงว่าวาล์วปิดแล้ว แต่ในสภาพความจริงวาล์ว PORV เกิดการขัดข้องไม่สามารถปิดได้ ทำให้น้ำเย็นในระบบปฐมภูมิจากเครื่องผลิตไอน้ำแทนที่จะไหลเข้าสู่เตาปฏิกรณ์กลับไหลเข้าสู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมความดันแทนเป็นเวลา 100 นาที คิดเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมความดัน 32000 แกลลอน หรือ 1/3 ของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ

เวลา 04.15 น. เจ้าหน้าที่เปิดปั๊มภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์เพื่อปั๊มน้ำที่ล้นออกมาไปเก็บในถังเก็บนอกอาคาร แต่ความร้อนและความดันภายในอาคารยังคงสูงขึ้นเรื่อย ๆ ต่อมาเวลา 04.39 น. เจ้าหน้าที่ทำการปิดปั๊มดังกล่าว เนื่องจากไม่ทราบแหล่งที่มาของน้ำดังกล่าว และเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ปนเปื้อนสารรังสีออกนอกอาคาร

เวลา 05.00 น. ปั๊มน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิ 4 ตัว เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรง ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการปั๊มไอน้ำแทนน้ำ แต่เจ้าหน้าที่คิดว่าเนื่องจากแรงดันของน้ำระบายความร้อนปฐมภูมิที่หนุนเวียนภายในระบบ ซึ่งการสั่นสะเทือนของปั๊มอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊มหรือท่อน้ำได้ ดังนั้นจึงตัดสินใจปิดปั๊มน้ำเมื่อเวลา 05.14 น. เพื่อลดความรุนแรงของแรงดันของน้ำภายในเตาปฏิกรณ์

เวลา 06.00 น. อุณหภูมิภายในเตาปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้นมากประมาณ 3500-4000 องศาฟาเรนไฮต์ และที่แกนปฏิกรณ์ประมาณ 5600 องศาฟาเรนไฮต์ ที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้แท่งหุ้มเชื้อเพลิง (สารผสมเซอร์โคเนียม)ทำปฏิกิริยาละลายกับน้ำ และเชื้อเพลิงยูเรเนียมไดออกไซด์หลอมละลายได้ (จุดหลอมเหลวของเชื้อเพลิงยูเรเนียมไดออกไซด์ 5200 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งเป็นต้นเหตุให้เชื้อเพลิงและผลิตภุณฑ์จากปฏิกิริยาฟิชชันหลุดออกมาปนเปื้อนกับน้ำและไอน้ำภายในถังปฏิกรณ์ หลังจากอุบัติเหตุเจ้าหน้าที่ได้ประเมินความเสียหายของแกนปฏิกรณ์สูงถึง 90 เปอร์เซนต์ ในขณะที่อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้น เครื่องวัดปริมาณรังสีภายในอาคารได้ส่งสัญญาณเตือนภัยแจ้งปริมาณรังสีที่สูงผิดปกติ เจ้าหน้าที่ป้องกันอันตรายจากรังสีได้ทำการสำรวจปริมาณรังสีภายในโรงไฟฟ้าพบว่ามีปริมาณสูงผิดปกติจริง เวลา 07.00 น. เจ้าหน้าที่แจ้งเหตุฉุกเฉินแก่ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการอพยพประชาชนออกห่างจากโรงไฟฟ้า

3. ผลของอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 มีผลเสียหายทั้งทางรังสีและทางเศรษฐกิจ กล่าวโดย

ผลทางรังสี ได้มีการสำรวจปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 และเจ้าหน้าที่ได้รับ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ประชาชนภายในรัศมี 50 ไมล์ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสีคิดเป็นร้อยละ 0.8 ของสารกัมมันตรังสีที่ประชาชนได้รับในธรรมชาติ

2. ประชาชนภายในรัศมี 5 ไมล์ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสีคิดเป็นร้อยละ 10 ของสารกัมมันตรังสีที่ประชาชนได้รับในธรรมชาติ

3. ประชาชนที่อยู่บริเวณโรงไฟฟ้าในขณะเกิดอุบัติเหตุ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสี 0.7 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติในร่างกาย

4. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานในระหว่างการเกิดอุบัติเหตุ ได้รับปริมาณสารกัมมันตรังสี 30-40 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งมากกว่าปริมาณรังสีที่ US-NRC ยอมให้เจ้าหน้าที่ได้รับ (ปริมาณสารกัมมันตรังสีที่ยอมให้รับได้ 30 มิลลิซีเวิร์ท)

5. มีสารกัมมันตรังสีรั่วออกสู่สิ่งแวดล้อมเล็กน้อยต่ำกว่ามาตรฐานนานาชาติ และในปริมาณดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน

6. เกิดผลกระทบต่อสภาพจิตใจในระยะสั้นกับประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบๆ โรงไฟฟ้า

ผลทางเศรษฐกิจ โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 ต้องหยุดดำเนินการ และดสียค่าใช้จ่ายในการ

1. ค่าไฟฟ้าทดแทนวันละประมาณ 12 ล้านบาท
2. ค่าเสียหายจากการฟ้องร้องประมาณ 500 ล้านบาท
3. ค่าซ่อมแซมโรงไฟฟ้าที่เชื้อเพลิงหลอมละลายประมาณ 2 พันล้านบาท

4. บทสรุปจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2

ได้มีการสรุปสาเหตุของอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ทรีไมล์ไอส์แลนด์-2 แยกออกเป็น 2 ประเด็น คือ ความผิดพลาดจากเครื่องจักรและความผิดพลาดของเจ้าหน้าที่ จากบทสรุปดังกล่าวทำให้มีการหาแนวทางป้องกันมิให้เกิดอุบัติเหตุรุนแรงของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ จึงทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์และด้านการควบคุมความปลอดภัยแก่โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์รุ่นใหม่ในอนาคต ซึ่งสามารถกล่าวสรุปแนวคิดได้ดังนี้

การพัฒนาด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์ ได้มีการเสนอแนวคิดให้มีการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์รุ่นใหม่โดยมีแนวโน้ม ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ให้มีมาตรฐานเดียวกัน เพื่อลดความซับซ้อนของอุปกรณ์

2. ลดความซับซ้อนในการเดินเครื่องปฏิกรณ์โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าใจการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์ได้ง่ายขึ้น เพื่อลดความผิดพลาด

3. เครื่องปฏิกรณ์สามารถทำงานตอบสนองต่อเหตุผิดปกติได้โดยอัตโนมัติ เพื่อลดความรุนแรงของเหตุผิดปกติและให้เจ้าหน้าที่มีเวลาประเมินแก้ไขสถานการณ์ และตัดสินใจได้

4. ใช้ระบบความปลอดภัยธรรมชาติ เช่น ระบบระบายความร้อยโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ หรือ อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อป้องกันการผิดพลาดของเจ้าหน้าที่และเครื่องจักร

การพัฒนาด้านการควบคุมความปลอดภัย

เพิ่มความสำคัญแก่การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่เดินเครื่องและมีการพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรม

2. เพิ่มเอกสารการวิเคราะห์ความปลอดภัย

<u>อุบัติเหตุโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เชอร์โนบิล</u>

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล ตั้งอยู่ที่ประเทศยูเครน ใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง แบบ RBMK (Reactor Bolshoy Moschnosti Kipyashiy : large power boiling reactor) ออกแบบโดยวิศวกรชาวรัสเซีย การก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์แบบนี้มักจะสร้างเป็นคู่ เนื่องจากมีการออกแบบให้บางระบบใช้ร่วมกัน สำหรับโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลมีเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทั้งหมด 4 หน่วย หน่วยที่เกิดอุบัติเหตุคือหน่วยที่ 4 ซึ่งใช้ระบบบางส่วนร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังหน่วยที่ 3 เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังหน่วยที่ 4 เปิดเดินเครื่องเมื่อปี พ.ศ.2526 และเกิดอุบัติเหตุเมื่อวันที่ 26 เมษายน พ.ศ.2529

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ลักษณะเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลหน่วยที่ 4

ตารางที่ 6.5 รายละเอียดเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลหน่วยที่ 4

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง	RBMK
ขนาดกำลัง	1000 เมกกะวัตต์ไฟฟ้า
สารระบายความร้อน	น้ำธรรมดา
สารหน่วงนิวตรอน	กราไฟต์
แกนปฏิกรณ์ ขนาดท่อความดัน เชื้อเพลิง แท่งหุ้มเชื้อเพลิง การจัดเรียงแท่งเชื้อเพลิง จำนวนมัดแท่งเชื้อเพลิง แท่งควบคุม ลักษณะของสารหน่วงนิวตรอน	 หนา 40 เซนติเมตร ,เส้นผ่านศูนย์กลาง 88 เซนติเมตร ยูเรเนียมเสริมสมรรถนะต่ำ 2% โลหะผสมเซอร์โคเนียม อยู่ภายในท่อความดันซึ่งบรรจุในแท่งกราไฟต์ 1661 โบรอนคาร์ไบด์ แท่งกราไฟต์รูปทรงกระบอก ตรงกลางเจาะรูเพื่อบรรจุท่อความดันหรือแท่งควบคุม , แท่งกราไฟต์มีทั้งหมด 2488 แท่ง
ถังปฏิกรณ์ ความสูง / เส้นผ่านศูนย์กลาง	 7 / 12.2 เมตร
อาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์	ไม่มี หลังคาเป็นแบบอาคารธรรมดา ไม่ได้ออกแบบสำหรับคลุมเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทำงานของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง RBMK มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ BWR โดยน้ำระบายความร้อนจะวิ่งผ่านช่องกราไฟต์แต่ละช่อง จากล่างสู่บนและเดือดกลายเป็นไอ โดยมีส่วนผสมของน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 14 ส่วนผสมดังกล่าวจะผ่านเข้าสู่เครื่องแยกไอน้ำออกจากน้ำซึ่งอยู่ภายนอกถังปฏิกรณ์ เพื่อยกไอน้ำกับน้ำ ต่อจากนั้น ไอน้ำจะไปหมุนกังหันผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ส่วนที่แตกต่างของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ แบบ RBMK กับ BWR คือ เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง RBMK ใช้น้ำทำหน้าที่เป็นสารระบายความร้อนและใช้กราไฟต์เป็นสารหน่วงนิวเตรอน แต่สำหรับเครื่องปฏิกรณ์แบบ BWR ใช้น้ำเป็นทั้งสารหน่วงนิวตรอนและสารระบายความร้อน

ภายในแกนปฏิกรณ์ของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง RBMK ประกอบด้วยแท่งกราไฟต์รูปทรงกระบอกตรงกลายเจาะรูให้ท่อความดันที่ภายในบรรจุมัดแท่งเชื้อเพลิงหรือบางท่อบรรจุแท่งควบคุม ระหว่างแท่งกราไฟต์และท่อความดันหรือแท่งควบคุม จึงมีส่วนผสมของก๊าซฮีเลียมและก๊าซไนโตรเจน เพื่อระบายความร้อนให้แท่งกราไฟต์ และเป็นฉนวนกั้นไม่ให้แท่งกราไฟต์รับความร้อนจากแท่งเชื้อเพลิง และเป็นการป้องกันไม่ให้แท่งกราไฟต์สัมผัสกับอากาศซึ่งในที่อุณหภูมิสูงอาจทำให้แท่งกราไฟต์เกิดการลุกไหม้ได้ (อุณหภูมิของแท่งกราไฟต์ในขณะเดินเครื่องประมาณ 600-700° c) การควบคุมปฏิกิริยาฟิชชันของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK ใช้แท่งควบคุมซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 มี 4 ส่วน ใช้ควบคุมการกระจายกำลัง การหยุดปฏิกิริยาฟิชชันเมื่อเกิดเหตุขัดข้องหรือเหตุฉุกเฉิน ซึ่งแท่งควบคุมจะเคลื่อนจากด้านบนถังปฏิกรณ์สู่ด้านล่าง และกลุ่มที่ 2 ใช้ควบคุมการกระจายกำลัง ในแกนปฏิกรณ์แท่งควบคุมของกลุ่มที่ 2 นี้จะมีขนาดสั้นและเคลื่อนที่ขึ้นจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังแบบ RBMK นี้ ในขณะเดินเครื่องเต็มกำลัง สัมประสิทธิ์ void ของสารระบายความร้อนจะมีค่าเป็นบวก และค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเชื้อเพลิงมีค่าเป็นลบ จะทำให้ภายในแกนปฏิกรณ์อยู่ในสภาวะ negative reactivity หมายถึง ถ้าอุณหภูมิภายในแกนปฏิกรณ์สูงขึ้น (ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น) จะต้องเพิ่มปริมาณน้ำระบายความร้อนที่ไหลเข้าแกนปฏิกรณ์ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเดือดอย่างรุนแรงและไม่ให้เกิด void ภายในแกนปฏิกรณ์ขึ้น (ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์ void ของสารระบายความร้อนลดลง). เนื่องจากมีการออกแบบให้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้งสองมีคุณสมบัติแปรผกผันกัน ทั้งนี้เพื่อคงสภาวะ negative reactivity หากเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ของ void มีค่าเป็นบวกและสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของเชื้อเพลิงมีค่าเป็นบวก จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังมีค่าเป็นบวก และแกนปฏิกรณ์ไม่สามารถคงสภาวะ negative reactivity ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมปฏิกิริยาฟิชชัน และเป็นการยากที่จะควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นและค่าตัวแปรไฮโดรลิกต่างๆ แต่หากเดินเครื่องที่กำลังต่ำกว่าร้อยละ 20 ของการเดินเครื่องเต็มกำลัง หรือประมาณ 700 เมกกะวัตต์ความร้อนแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังจะมีค่าเป็นบวก ดังนั้นเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ประเภทนี้จึงห้ามเด็ดขาดไม่ให้ทำการเดินเครื่องที่กำลังต่ำกว่าร้อยละ 20 ของการเดินเครื่องเต็มกำลัง และมีข้อบังคับในการเดินเครื่องว่าต้องให้มีแท่งควบคุมภายในแกนปฏิกรณ์ไม่น้อยกว่า 30 แท่ง

3. ลำดับเหตุการณ์การเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล

อุบัติเหตุนี้เกิดขึ้นระหว่างการทำการทดลองในระหว่างการหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์เพื่อซ่อมบำรุงตามกำหนดระยะเวลา การทดลองดังกล่าวเป็นการทดลองเกี่ยวกับ Tubogenerator คือเพื่อดูความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ปั๊มน้ำในระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน ในระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ป้อนโรงไฟฟ้าดับและรอการติดเครื่องดีเซลเป็นเวลา 30 วินาที เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าสำรอง โดยกระแสไฟฟ้าที่จะจ่ายให้แก่ปั๊มน้ำดังกล่าวจะอาศัยแรงเฉื่อยของกังหันที่ยังหมุนอยู่ไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟ ในการทดลองจะต้องเดินเครื่องที่ขนาดกำลัง 700-1000 เมกกะวัตต์ความร้อน ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถเดินเครื่องได้ในสถานะที่มีระบบควบคุมความปลอดภัยอัตโนมัติ ดังนั้นเจ้าหน้าที่ที่ทำการทดลองจึงฝ่าฝืนกฎระเบียบการเดินเครื่องโดย

1. ลดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ให้อยู่ในช่วงที่สามารถทำการทดลองได้

2. ปิดระบบระบายความร้อนแกนปฏิกรณ์ฉุกเฉิน เพื่อป้องกันมิให้เกิดการขัดข้องในระหว่างทำการทดลอง

3. ทำการปิดวงจรการหยุดเดินเครื่องปฏิกรณ์ในสภาวะฉุกเฉินแบบอัตโนมัติในเป็นการทำงานโดยบังคับโดยเจ้าหน้าที่

4. ยกแท่งควบคุมเกือบทั้งหมดให้อยู่ในระดับสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการกระทำดังกล่าวข้างต้นทำให้เจ้าหน้าที่สามาถเดินเครื่องที่กำลัง 700 เมกกะวัตต์ความร้อนได้ ลำดับเหตุการณ์การเกิดอุบัติเหตุสรุปโดยสังเขปได้ดังนี้

เมื่อเวลา 01.00 น. ของวันที่ 25 เมษายน พ.ศ.2529 ได้มีการลดกำลังของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังเชอร์โนบิลหน่วยที่ 4 เดินเครื่องเต็มกำลังอยู่ เพื่อทำการปิดซ่อมบำรุงตามระยะเวลาที่กำหนด

เวลา 13.05 น. กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ลดลงมาที่ 1600 เมกกะวัตต์ความร้อน และเดินเครื่องต่อไปอีก 9 ชั่วโมง จนกระทั่งเวลา 23.10 น.จึงทำการลดกำลังลงอีก

เวลา 00.28 น. ของวันที่ 26 เมษายน พ.ศ.2529 กำลังของเครื่องปฏิกรณ์ลดลงเหลือ 30 เมกกะวัตต์ความร้อน สาเหตุเนื่องมาจากเจ้าหน้าที่ที่ทำการทดลองไม่ได้ปลดระบบแท่งควบคุม ซึ่งกำลังขนาด 30 เมกกะวัตต์ความร้อน ไม่สามารถทำการทดลองได้ ดังนั้น เจ้าหน้าที่จึงเริ่มเดินเครื่องใหม่ จนกระทั่งเวลา 01.20 น. สามารถเดินเครื่องที่กำลัง 200 เมกกะวัตต์ความร้อนได้ โดยเจ้าหน้าที่ได้ทำการควบคุมระบบต่างๆ ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่คงที่ของอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนและอุณหภูมิ การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์แบบ RBMK นี้ หากค่าทั้งสองที่การเปลี่ยนแปลงสูงจะทำให้กำลังของเครื่องปฏิกรณ์เปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้น เจ้าหน้าที่จึงทำการปลดระบบหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินอัตโนมัติ เพื่อให้สามารถเดินเครื่องต่อไปได้

เวลา 01.23 น. มีสัญญาณจากกังหันว่ายังคงอยู่ในการทดลอง

เวลา 01.23.40 น. กำลังของเครื่องปฏิกรณ์เพิ่มสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็ว เจ้าหน้าที่พยายามใช้ระบบบังคับด้วยมือเมื่อหยุดเดินเครื่อง ซึ่งขีดความสามารถในการหยุดเดินเครื่องกระทันหันในขณะนั้นมีจำกัด เพราะท่งควบคุมถูกดึงอยู่ในระดับสูงสุดเกือบทุกแท่ง

เวลา 01.23.44 กำลังของเครื่องปฏิกรณ์พุ่งขึ้นสูงเกือบ 100 เท่าของการเดินเครื่องเต็มกำลัง ทำให้เกิดความร้อนภายในแกนปฏิกรณ์สูงมาก แท่งเชื้อเพลิงแตกออกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย บางส่วนอยู่ในสภาพของไอทำให้เกิดการระเบิด ส่วนท่อของระบบระบายความร้อนถูกตัวขาด ความร้อนที่เพิ่มขึ้นมหาศาลทำให้น้ำระบายความร้อนเดือดอย่างรุนแรง ความดันภายในเครื่องปฏิกรณ์สูงขึ้นมาก อีก 2-3 นาทีหลังจากการระเบิดครั้งแรกก็มีการระเบิดของไอน้ำ แรงระเบิดได้ทำลายท่อความดันและฝาครอบถังปฏิกรณ์แตกกระจาย ส่วนแท่งกราไฟต์เกิดติดไฟลุกไหม้และชิ้นส่วนในแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกรณ์พุ่งกระเด็นออกจากตึกปฏิกรณ์ผ่านช่องทางที่พังพินาศ ฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อม

การเกิดอุบัติเหตุนี้ทำให้กราไฟต์และเชื้อเพลิงนิวเคลียร์พุ่งกระเด็นไปติดยังหลังคาตึกข้างเคียงเกิดเพลิงลุกไหม้ขึ้น เจ้าหน้าที่ดับเพลิงทำการดับเพลิงจนกระทั่งเพลิงดับลงเมื่อเวลา 5.00 น.ของวันที่ 26 เมษายน ภายหลังไหม้อยู่ 3.5 ชั่วโมง ในช่วงแรกผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาฟิชชันฟุ้งกระจายออกมาตลอดเวลา พร้อมการเผาไหม้ของกราไฟต์จนกระทั่งเมื่อวันที่ 28 เมษายน เจ้าหน้าที่พยายามหยุดการฟุ้งกระจายโดยการทิ้ง

1. สารประกอบโบรอนคาไบต์ (Boroncarbide B_4C) จำนวน 40 ตันเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาฟิชชัน

2. สารประกอบโดโลไมท์ (Domolite, $(MgCa)(CO_3)_2$)) จำนวน 800 ตัน เพื่อหยุดการลุกไหม้ของแท่งกราไฟต์

3. ทราย ดิน จำนวน 1800 ตัน เพื่อลดการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสีลงทับส่วนของแกนปฏิกรณ์

4. ตะกั่ว จำนวน 2400 ตัน เพื่อเป็นตัวกำบังรังสี

วันที่ 4 พฤษภาคม มีการปล่อยไนโตรเจนเหลวเพื่อระบายความร้อนภายในแกนปฏิกรณ์

วันที่ 6 พฤษภาคม อุณหภูมิภายในแกนปฏิกรณ์ลดลง และสามารถหยุดการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสีได้

4. ผลของอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล

โรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลไม่มีอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์ ดังนั้นแรงระเบิดภายในแกนปฏิกรณ์จึงทำให้หลังคาอาคารปฏิกรณ์แตกหัก สารกัมมันตรังสีภายในฟุ้งกระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นบริเวณกว้าง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนและสิ่งแวดล้อม ผลกระทบดังกล่าวสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

1. การฟุ้งกระจายของรังสี

ประมาณการว่า สารกัมมันตรังสีที่อยู่ภายในแกนปฏิกรณ์มีความแรงรังสีทั้งสิ้น $4*10^{19}$ เบคเคอเรล ฟุ้งกระจายออกมาประมาณ $1*10^{18}$-$2*10^{18}$ เบคเคอเรล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 3-4 ของสารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในแกนปฏิกรณ์ ส่วนก๊าซเฉื่อยรังสีภายในแกนปฏิกรณ์ได้ฟุ้งกระจายออกไปทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอโซโทปรังสี ได้ฟุ้งกระจายออกมาอย่างต่อเนื่องกันตั้งแต่วันที่ 26 เมษายน ถึงวันที่ 5 พฤษภาคม เป็นเวลา 10 วัน โดยมีอัตรการฟุ้งกระจายและทิศทางที่ไม่แน่นอน คือ ช่วงวันที่ 26-29 เมษายน กลุ่มควันของสารกัมมันตรังสีมีความสูง 0.7-1.5 กิโลเมตร พุ่งออกมาและแพร่กระจายไปตามทิศทางลมในทิศเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือ หลังจากนั้นกระแสลมได้เปลี่ยนแปลงไป โดยพัดไปทางทิศใต้และตะวันออก พร้อมกันนี้อัตราการฟุ้งกระจายของสารกัมมันตรังสีก็ลดลงและเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในระหว่างวันที่ 4-5 พฤษภาคม ซึ่งเป็นการฟุ้งกระจายช่วงสุดท้ายก่อนที่จะสิ้นสุดลงเนื่องจากเจ้าหน้าที่สามารถควบคุมสถานการณ์ไว้ได้

หลังจากอุบัติเหตุได้มีการสำรวจความเปรอะเปื้อนของซีเซียม-137* (Cs-137) ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ พบว่า มีปริมาณมากกว่า 1480 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร 555-1480 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร ในบริเวณที่มีการเปรอะเปื้อนสูง และ 185-555 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตร 37-185 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตรและต่ำกว่า 37 กิโลเบคเคอเรลต่อตารางเมตรในบริเวณที่มีการเปรอะเปื้อนต่ำตามลำดับ

2. ปริมาณรังสีที่ประชาชนได้รับ

การฟุ้งกระจายและการตกค้างของสารกัมมันตรังสีมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและประชาชน โดยสามารถแบ่งพิจารณาได้ 2 ระยะดังนี้

2.1 ผลกระทบระยะแรก เมื่อกลุ่มควันของสารกัมมันตรังสีลอยไปตามทิศทางลม ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ จะได้รับรังสีจากภายนอกร่างกาย (Direct External Radiation) จากกลุ่มควันของสารกัมมันตรังสีที่ปกคลุมหรือตกค้างบนดินและได้รับรังสีเข้าสู่ภายในร่างกาย (Internal Radiation) โดยการหาใจอากาศที่ปนเปื้อนไอโดดีนรังสี (I-131) เข้าไป หรือการดื่มน้ำและรับประทานพืช ผัก ผลไม้ที่ปนเปื้อนซีเซียมรังสี (Cs-137) เข้าไป ดังนั้นในระยะแรกของการเกิดอุบัติเหตุทางรัฐบาลจึงได้มีการสั่งห้ามดื่มน้ำและรับประทานอาหารบางประเภท โดยรัฐจะเป็นผู้จัดหาอาหารและน้ำดื่มเตรียมไว้ให้

ในระยะแรกได้มีการตรวจวัดการรับรังสีภายนอกร่างกายของประชาชน 135,000 คน** ปริมาณรังสีที่บุคคลได้รับอยู่ในช่วง 0.03-10 มิลลิซีเวิร์ท และบางพื้นที่ได้รับอยู่ในช่วง 300-400 มิลลิซีเวิร์ท และปริมาณรังสีที่ได้รับจากการหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* ผลกระทบของสารกัมมันตรังสีจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ สารกัมมันตรังสีที่มีความสำคัญในการเปรอะเปื้อนคือ ไอโอดีน-131 เนื่องจากเมื่อร่างกายรับเข้าไปจะสะสมที่ต่อมไทรอยด์ และซีเซียม-137 จะสามารถเข้าสู่วงจรอาหารซึ่งจะเข้าสู่ร่างกายต่อไปได้ ค่าครึ่งชีวิตของไอโอดีน-131 และซีเซียม-137 มีค่า 8 วัน และ 30 ปี ซึ่งจะมีการสลายตัวจนสิ้นสภาพความเป็นสารกัมมันตรังสีภายใน 80 วัน และ 300 ปี ตามลำดับ สำหรับสตรอนเทียม-90 และไอโซโทปของพลูโทเนียม ซึ่งมีค่าครึ่งชีวิต 28 ปี และ 2500 ปีนั้น สตรอนเซียม-90 จะไม่พบการตกค้างในพื้นดิน ส่วนไอโซโทปของพลูโทเนียมมีการตกค้างในปริมาณน้อยและไม่เข้าสู่ในวงจรอาหาร เนื่องจากเป็นธาตุที่มีความเสถียร

** จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่รอบโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลในระยะ 30 กิโลเมตร

อากาศที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี มีค่าต่ำกว่า 300 มิลลิซีเวิร์ท บางพื้นที่ได้รับ 2500 มิลลิซีเวิร์ท สำหรับการป้องกันในระยะแรกนี้คือ การอพยพประชาชนออกจากบริเวณที่มีการเปรอะเปื้อนสารกัมมันตรังสีสูง เพื่อลดปริมาณการได้รับรังสีของประชาชน และให้รับประทานไอโอดีนเสถียรเพื่อป้องกันมิให้มีการสะสมไอโอดีนรังสีภายในร่างกาย

2.2 ผลกระทบระยะยาว ระยะต่อมาเมื่อสารกัมมันตรังสีตกค้างในพื้นดิน ซีเซียม-137 เป็นสารกัมมันตรังสีที่สำคัญที่สามารถเข้าสู่วงจรอาหาร ซึ่งจะทำให้เกิดการเปรอะเปื้อนภายในอาหาร นม และน้ำดื่มได้ จากการตรวจวัดรังสีส่วนบุคคลพบปริมาณรังสีภายในร่างกายต่ำกว่า 50 มิลลิซีเวิร์ท ในปีแรก นอกจากนี้มีการตรวจวัดปริมาณไอโอดีนรังสีภายในต่อมไทรอยด์ของเด็กพบว่ามีปริมาณต่ำกว่า 300 มิลลิซีเวิร์ทในปีแรก ส่วนบริเวณทวีปยุโรป ประชาชนได้รับปริมาณรังสีภายนอกร่างกายอยู่ในช่วง 0.03-10 มิลลิซีเวิร์ท และปริมาณรังสีภายในร่างกายปริมาณ 30 มิลลิซีเวิร์ท (สำหรับรังสีสะสมของซีเซียม-137 ภายในระยะเวลา 50 ปี เป็นปริมาณ $3*10^5$ คน-ซีเวิร์ท และไอโอดีน-131 ภายในระยะเวลา 70 ปี เป็นปริมาณ $2*10^6$ คน-ซีเวิร์ท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลกระทบต่อสุขภาพ

ปริมาณรังสีที่ได้รับมีผลกระทบต่อสุขภาพได้ 2 ระยะ คือ ระยะแบบเฉียบพลัน (Acute Effect) คือปริมาณรังสีที่ได้รับอยู่ในช่วง 1000-1600 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งจะแสดงอาการภายหลังจากได้รับรังสีประมาณ 2-3 ชั่วโมง หรือ 2-3 วัน ตามปริมาณรังสีที่ได้รับ ระยะยาว(Late Effect) คือปริมาณรังสีที่ได้รับอยู่ในช่วงต่ำกว่า 250 มิลลิซีเวิร์ท ซึ่งจะต้องมีการติดตามผลที่จะเกิดขึ้นได้แก่ การเกิดโรคมะเร็ง

3.1 ผลแบบเฉียบพลัน อุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลทำให้เจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานต้องเข้ารับการรักษาพยาบาลจากอาการบาดเจ็บทางรังสีและการไหม้ของผิวหนังเป็นจำนวน 203 คน จากเจ้าหน้าที่ทั้งหมด 300 คน ซึ่งในจำนวนนี้มีผู้เสียชีวิตจำนวน 31 คน สำหรับประชาชนในบริเวณรอบๆโรงไฟฟ้ารัศมี 30 กิโลเมตร มีประชาชนทั้งสิ้น 135,000 คน ต้องอพยพออกจากบริเวณประสบภัย แต่ไม่พบการเข้ารักษาพยาบาลจากอาการบาดเจ็บทางรังสีแต่อย่างใด

3.2 ผลระยะยาว ทบวงพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศโดยการนำของกลุ่มแพทย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านรังสีมีโครงการติดตามผลกระทบทางรังสีหลังจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล ซึ่งในโครงการดังกล่าวได้มีการจัดระบบการเก็บข้อมูลปริมาณการได้รับรังสีของประชาชน และพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนโดยการติดตามผลจากหมู่บ้านที่ได้รับผลกระทบทางรังสีจากอุบัติเหตุครั้งนี้ 7 หมู่บ้าน และได้คัดเลือกหมู่บ้าน 6 หมู่บ้านที่ไม่ได้รับผลกระทบทางรังสีเป็นตัวเปรียบเทียบ การติดตามและเปรียบเทียบผลเริ่มตั้งแต่การเกิดอุบัติเหตุจนกระทั่งถึงปี พ.ศ.2530 รวมระยะเวลา 5 ปีสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ด้านการบริโภค มีการพิจารณาอัตราการเจริญเติบโตของเด็กทั้งสองกลุ่มพบว่า อัตราการเจริญเติบโตไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับการรับและการขับไอโอดีนของร่างกายมีปริมาณต่ำอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ส่วนปริมาณการรับสารโลหะหนัก เช่นตะกั่ว แคดเมียม หรือปรอทอยู่ปริมาณที่ต่ำ

2. ความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ ไม่พบความผิดปกติในต่อมไทรอยด์ของเด็กทั้งสองกลุ่ม แต่สามารถพบก้อนเนื้อในต่อมไทรอยด์ในผู้ใหญ่คิดเป็นร้อยละ 15 ของทั้งสองกลุ่ม

3. การตรวจสอบเม็ดเลือด พบเด็กบางคนมีปริมาณเม็ดเลือดแดงต่ำกว่าระดับปกติ แต่ค่าที่ได้มีจำนวนน้อยมากจนไม่สามารถเป็นค่าทางสถิติในกลุ่มประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ สำหรับในผู้ใหญ่มีการตรวจสอบปริมาณเม็ดเลือดขาวและระบบต้านทานโรคไม่ปรากฏความผิดปกติใดๆ

4. การตรวจสอบโรคมะเร็ง ทางรัฐบาลรัสเซียมีรายงานว่า ช่วง 10 ปี ก่อนการเกิดอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล จำนวนประชากรที่เป็นโรคมะเร็งสูงขึ้นและหลังจากอุบัติเหตุ จำนวนประชากรที่เป็นโรคมะเร็งก็ยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง กลุ่มแพทย์ที่ทำการวิจัยวิเคราะห์ว่า ไม่สามารถประเมินได้ว่าปริมาณของโรคมะเร็งที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องนั้นมีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล เนื่องจากข้อมูลด้านสุขภาพในอดีตเป็นข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ และนอกจากนี้หลังจากอุบัติเหตุไม่สามารถพบมะเร็งในเม็ดเลือดขาวและมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์ (มะเร็งทั้งสองมีสาเหตุมาจากการรับรังสี เนื่องจากบริเวณไขกระดูก(Bone Marrow) จะมีความไวต่อรังสี และสำหรับที่ต่อมไทรอยด์สามารถเก็บสะสมไอโอดีนรังสี)

5. การตรวจสอบต้อกระจก ไม่พบหลักฐานที่ก่อให้เกิดต้อกระจกเนื่องมาจากการได้รับรังสี

6. การตรวจสอบด้านพันธุกรรม มีการตรวจสอบโครโมโซมและเซลสืบพันธุ์ในผู้ใหญ่ของประชากรทั้งสองกลุ่ม ผลปรากฏว่าไม่พบความผิดปกติใดๆ

7. ผลทางด้านจิตวิทยา พบปัญหาทางด้านจิตวิทยาของทั้งสองกลุ่ม คือมีความวิตกกังวลและมีความเครียดสูงต่ออุบัติเหตุที่เกิดขึ้น และนอกจากนี้ ประชาชนทั้งสองกลุ่มมีความคิดว่าตนเองจะต้องป่วยด้วยโรคทางรังสี

<u>5. บทสรุปจากอุบัติเหตุโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิล</u>

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลใช้เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลังที่ได้รับการออกแบบโดยวิศวกรชาวรัสเซีย ซึ่งแบบดังกล่าวมิได้ใช้กันแพร่หลายและไม่ใช้เครื่องปฏิกรณ์กำลังในเชิงพาณิชย์ ดังนั้น ในการเกิดอุบัติเหตุของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์เชอร์โนบิลจึงไม่ได้ทำให้เกิดการตื่นตัวในด้านการพัฒนาเทคโนโลยีเพียงใด แต่ทำให้เกิดแนวคิดด้านการควบคุมการดำเนินการเดินเครื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ให้เกิดความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ เสนอให้มีการเพิ่มการประเมินความปลอดภัยในรายการวิเคราะห์ความปลอดภัยของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ ทั้งนี้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเมินความปลอดภัยจะทำให้สามาถทราบถึงจุดอ่อนของอุปกรณ์ต่างๆ ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง

2. ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ เสนอให้มีการจัดหัวข้อในการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุรุนแรงในโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ ในการจัดฝึกอบรมเจ้าหน้าที่เดินเครื่องและในการอบรมดังกล่าวให้มีการศึกษาและเสริมสร้างให้เจ้าหน้าที่มีวัฒนาธรรมด้านความปลอดภัย

3. จัดให้มีการประชุมระดับชาติในกิจกรรมประกันคุณภาพการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์

4. ให้เพิ่มเนื้อหาการฝึกอบรมในมาตรฐาน NUSS ในเรื่องการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ การป้องกันเพลิงไหม้และการดับเพลิง

5. ให้ปรับปรุงรายงานการเกิดเหตุขัดข้อง โดยให้มีการรายงานถึงสาเหตุที่เกิดเหตุขัดข้อง และมีการวิเคราะห์ส่งให้แก่ประเทศสมาชิก เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาได้

6. จัดให้มีการประชุมในเรื่องการปฏิบัติงานร่วมระหว่างผู้ออกแบบและผู้เดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์กำลัง โดยเน้นให้การออกแบบระบบความปลอดภัยที่เสริมการทำงานของเจ้าหน้าที่ และมีระบบความปลอดภัยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันไม่ให้เจ้าหน้าที่สามารถเดินเครื่องในสภาวะที่ไม่ปลอดภัย

7. เสนอให้ประเทศสมาชิกจัดกิจกรรมในการทบทวนกฎข้อบังคับด้านความปลอดภัยแก่เจ้าหน้าที่เดินเครื่อง โดยกิจกรรมดังกล่าวมีเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากที่ทำประจำและให้มีการบันทึกวิธีการดำเนินการในมาตรฐาน NUSS ด้วย

8. ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ จัดให้มีการพัฒนาอุปกรณ์และปรับปรุงวิธีการป้องกันการเกิดเพลิงไหม้และเทคนิคในการดับเพลิงของโรงไฟฟ้าพลังนิวเคลียร์ในสภาวะฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความคิดเห็นของประชาชน

4.1 ทฤษฎีการออกแบบสอบถาม

ลักษณะทั่วๆไปของแบบสอบถาม

การที่เราจะได้ข้อมูลมา เราจำเป็นต้องไปหามาจากแหล่งที่ข้อมูลนั้นๆอยู่ อาจเป็นสถานที่ บุคคลหรือเอกสาร การไปหาข้อมูลก็จะหาเฉพาะข้อมูลที่เราต้องการ และเกี่ยวข้องกับเรื่องที่เราต้องการเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมคำถามไว้ก่อนโดยเฉพาะโครงการวิจัยใหญ่ๆใช้ผู้คนร่วมในการหาข้อมูลมาก จึงจำเป็นที่จะต้องเตรียมคำถามให้เป็นรูปแบบเดียวกัน เพื่อให้ได้รูปแบบเดียวกัน เพื่อให้ได้มาตรฐานข้อความ ความมุ่งหมายอันเดียวกันและป้องกันความหลงลืมในสิ่งเล็กน้อย และป้องกันไม่ให้ถามผิดวัตถุประสงค์

ความหมายของแบบสอบถาม

แบบสอบถามคือ คำถามหรือชุดของคำถามที่เราคิดขึ้นเพื่อเตรียมไว้ไปถามผู้ที่ทราบข้อมูลที่เราต้องการทราบ อาจจะถามเอง ให้ผู้อื่นไปถามหรือออกแบบสอบถามไปให้กรอกตามแบบฟอร์มที่กำหนดให้ แล้วนำคำตอบที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

ความสำคัญที่ต้องมีแบบสอบถาม อาจแยกได้ดังนี้

1. แบบสอบถามเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งของนักวิจัยที่ใช้สำรวจความคิดเห็น ความรู้สึก ปรากฏการณ์ที่นักวิจัยต้องการทราบ

2. แบบสอบถามเป็นชุดของคำถามที่ผู้วิจัยได้พิจารณาไตร่ตรอง เลือกสรรแล้วเฉพาะที่นักวิจัยต้องการทราบในประเด็นเท่านั้น

3. การที่คิดคำถามไว้ล่วงหน้าแล้วจะทำให้คำถามพุ่งไปยังจุดที่ต้องการ ข้อความที่ได้จะไม่ค่อยผิดพลาด

ประโยชน์ของแบบสอบถาม

1. การรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถามทำให้ได้ข้อมูลลักษณะเดียวกัน หรือเป็นมาตรฐานแบบเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในกรณีประชากรอยู่ใกลกันมาก สามารถใช้แบบสอบถามส่งไปทางไปรษณีได้ และได้ผลเหมือนกัน

3. เป็นประโยชน์ในการจะเป็นแนวทางของผู้สัมภาษณ์ จะได้ถามไปตามหัวข้อที่ได้จัดเรียงไว้ตามความสำคัญของเรื่อง ความสำคัญของแต่ละข้อและรายละเอียดปลีกย่อยต่างๆเกี่ยวเนื่องกันไป

4. ช่วยทำให้ผู้สัมภาษณ์ไม่ลืมข้อความที่จะถามในรายละเอียด และถามในขอบข่ายของเรื่องที่จะถามเท่านั้น

5. เปิดโอกาสให้ผู้ตอบมีอิสระในการตอบจะทำให้หด้ข้อมูลที่ตรงกับความจริง

6. เป็นการประหยัดเวลา เพราะผู้ตอบอาจกรอกเองได้

7. ง่ายต่อการวิเคราะห์ การลงรหัส ตรวจสอบข้อมูล

8. เป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีหลักฐานและเก็บไว้ได้นาน สามารถตรวจสอบได้ทุกกรณี

ขณะนี้ในวงการวิจัย ได้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดในการวิจัย นักวิจัยที่ร่างแบบสอบถามไม่เป็น จึงต้องพยายามศึกษาหาความชำนาญ เพราะเป็นทางบุกเบิกที่จะไปสู่งานวิจัยภาคสนามและการเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับข้อเสียของแบบสอบถามนั้นก็มีบ้าง เช่น อาจจะได้คำตอบไม่ตรงกับที่เราต้องการ ถ้าการตั้งคำถามไม่ถูกต้องกำกวม ผู้ตอบคำถามไม่เข้าใจคำถาม หรือส่งคำถามไปแล้วได้กลับคืนมาไม่หมด ทำให้ตัวอย่างขาดจากจำนวนที่คาดหมายไว้ได้ แต่ทั้งนี้ก็หาวิธีแก้ไขได้

แบบสอบถามที่เป็นชุดคำถามที่ได้กลั่นกรองแล้ว

แบบสอบถามทุกแบบ จะต้องเป็นชุดของคำถามที่ได้คิดไตร่ตรองคัดเลือกจัดไว้เป็นหมวดหมู่ดีแล้ว (Structured Questionaires) ฉะนั้นถ้าพูดถึงแบบสอบถามก็หมายความว่า ได้มีการตั้งคิดคำถามเรียงไว้ตามความเห็นของผู้ถามว่าดีที่สุด และต้องการทราบเรื่องต่างๆ เท่าที่ปรากฏอยู่ในคำถามเท่านั้น และส่วนมากจะพิมพ์ออกเป็นแผ่นปลิวหรือรูปเล่มเรียบร้อย บอกถึงผู้ออกแบบสอบถามหรือผู้วิจัย สถาบันที่ทำการวิจัย วัตถุประสงค์ของการวิจัย ระยะเวลาที่จะทำการวิจัยและวิธีการส่งแบบสอบถามคืนด้วย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของคำถาม

คำถามในแบบสอบถามในลักษณะทั่วไปส่วนใหญ่อาจแบ่งออกได้ 2 อย่างคือ คำถามแบบปิดกับแบบเปิด (Open and closed end question) คำถามปิดคือคำถามที่ผู้ร่างได้ร่างคำถามไว้ก่อนแล้ว และให้ตอบตามที่กำหนดไว้เป็นส่วนใหญ่เท่านั้น โดยให้โอกาสผู้ตอบมีโอกาสมีอิสระเลือกตอบได้น้อย ส่วนคำถามแบบเปิดคือคำถามที่เปิดโอกาสให้ผู้ตอบๆ ได้อย่างอิสระเสรีเต็มที่ คำถามทั้งสองชนิดใช้ควบคู่กันไป สวนใหญ่ใช้คำถามปิดก่อน แล้วตามเก็บประเด็นความรู้สึกด้วยคำถามเปิดไว้ท้ายข้อของคำถามปิด หรือของท้ายเรื่อง ต่อไปจะได้กล่าวถึงคำถามเปิดก่อน

ก. คำถามเปิด (Open end Questions) คือผู้ถามเปิดดอกาสให้ผู้ตอบตอบได้เองโดยอิสระเสรี จะตอบอย่างไรก็ได้ตามที่ต้องการ โดยจัดที่ว่างหรือกำหนดหัวข้อเว้นที่ว่างไว้ให้ตอบ เช่นท่านเห็นว่ารัฐบาลขณะนี้บริหารประเทศเป็นอย่างไร ท่านเห็นว่าค่าครองชีพของคนไทยขณะนี้เป็นอย่างไร เป็นต้น

ข้อดีของแบบสอบถามเปิด

1. ผู้วิจัยต้องการทราบความคิดเห็นของผู้ตอบอย่างเต็มที่ โดยเฉพาะเรื่องที่ซับซ้อนไม่สามารถร่างคำถามให้ตอบเป็นข้อย่อยๆ ได้

2. ช่วยผู้วิจัยเมื่อความรู้ในเรื่องนั้นของผู้วิจัยมีจำกัด

3. ยังมีข้อความอะไรเหลือตกค้างยังไม่ได้ตอบ ผู้ตอบจะได้ตอบมาได้ไม่ตกค้างหรือไม่ได้รับการบรรจุอยู่ในแบบสอบถาม

4. ช่วยให้ได้คำตอบในรายละเอียด ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับความรู้สึกความจูงใจที่ซ่อนอยู่

5. ถ้าคำถามกำหนดไว้ตายตัวมาก ผู้ตอบไม่มีโอกาสได้แสดงความคิดเห็นเองเพิ่มเติม จะได้เพิ่มเติมตามที่ต้องการได้ทำให้ได้ข้อเท็จจริงเพิ่มขึ้น

ข้อเสียของคำถามเปิด

1. การเปิดโอกาสให้ผู้ตอบๆ ได้โดยเสรี อาจทำให้ได้คำตอบไม่ตรงกับความต้องการของเรื่องที่ต้องการวิจัยได้ หรือมีส่วนตรงจุดหมายน้อย เพราะผู้ตอบไม่เข้าใจเรื่อง หรือตอบนอกเรื่องที่ต้องการวิจัย

2. อาจจะทำให้ได้คำตอบออกนอกลู่นอกทาง ซึ่งอาจไม่เกี่ยวกับเนื้อหาเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ลำบากในการรวบรวมและวิเคราะห์ เพราะจะต้องนำมาลงรหัสแยกประเภท ซึ่งทำให้ลำบากมากและเสียเวลา เพราะแต่ละคนตอบตามความรู้สึกนึกคิดของตนเองไม่มีกรอบหรือขอบเขตที่กำหนดให้

4. ผู้ลงรหัสจะต้องมีความชำนาญ ต้องมีความอบรมมาก่อน มิฉะนั้นอาจจับกลุ่มของคำตอบไม่ถูก จะทำให้ความหมายเปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนคุณค่าหรืออาจทำให้เปลี่ยนความมุ่งหมายไป

ข. คำถามปิด (closed end questions)

คำถามปิดคือ คำถามที่ผู้วิจัยหรือผู้ถามกำหนดหรือตั้งคำถามเป็นข้อๆ เรียงไว้ให้ผู้ตอบกรอกที่ตรงกับความเป็นจริงหรือความรู้สึกนึกคิดของตน หรือตามทัศนคติของผู้ตอบว่าตรงกับข้อใด ก็ใส่เครื่องหมายตรงข้อความนั้นหรือใกล้เคียงกับข้อความเหล่านั้น โดยผู้ตั้งคำถามไว้พร้อมตามที่ผู้ถามเห็นว่าสมบูรณ์และเหมาะสมที่สุด ทั้งนี้โดยเกือบจะไม่เปิดโอกาสให้ผู้ตอบได้ใช้ความคิดเห็นของตนเองโดยอิสระเหมือนคำถามเปิด คือ คำถามปิดบังคับให้ผู้ตอบตอบไปตามที่ผู้ถามตั้งคำถามมาเท่านั้น เหมือนกับการกำหนดเส้นทางให้เดินผู้ตอบจะเดินออกนอกเส้นทางไม่ได้ นอกจากว่าจะมีระบุไว้เป็นอย่างอื่นในคำถามนั้น เทคนิคการร่างคำถามปิดและชนิดต่างๆ ของคำถามปิดจะได้กล่าวในบทต่อไป

ข้อดีของคำถามปิด

1. โดยที่ได้กำหนดคำถามไว้แบบเดียวกันเป็นมาตรฐาน จึงทำให้ได้คำตอบที่มีลักษณะเป็นมาตรฐานเดียวกัน

2. สะดวกหรือง่ายต่อการปฏิบัติในการรวบรวมเก็บข้อมูล

3. รวดเร็ว ประหยัด

4. สะดวกในการวิเคราะห์ ลงรหัส และใช้กับเครื่องจักรกลในการคำนวณ

5. ทำให้ได้รายละเอียดไม่หลงลืม

6. ได้คำตอบตรงกับวัตถุประสงค์

7. ใช้ได้ดีกับคำถามที่ไม่ซับซ้อน หรือที่เกี่ยวกับข้อเท็จจริง

ข้อเสียของคำถามปิด

1. ผู้ตอบไม่มีโอกาส ได้แสดงความคิดเห็นอย่างเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อาจจะทำให้การวิจัยไม่ได้ข้อเท็จจริงครบ เพราะผู้วิจัยตั้งคำถามไว้ครอบคลุมไม่หมด

3. ถ้าคำถามไม่ชัด ผู้ผอบอาจตีความหมายต่างกัน และคำตอบผิดพลาดได้

ความยาวของแบบสอบถาม

ความยาวสั้นของแบบสอบถามก็เป็นประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่ง ที่ผู้วิจัยควรจะคิดไว้ก่อนล่วงหน้า เพราะแบบสอบถามที่มีความยาว สั้นต่างกันนั้นต้องใช้ความคิดในการร่าง ต้องการเวลาในการตอบ ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นถ้าเป็นคำถามขนาดยาว หรืออาจทำให้ผู้ตอบเกิดความเบื่อหน่ายได้ง่าย เพราะเสียเวลาในการประกอบอาชีพ ดังนั้นก่อนที่จะร่างแบบสอบถามจะต้องคำนึงถุงข้อนี้ แบบสอบถามจะยาวหรือสั้น จะใช้เวลาในการตอบมากหรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับหัวข้อเรื่องที่จะทำการวิจัยเป็นส่วนใหญ่ รวมตลอดถึงขอบเขตของเรื่องที่กำหนดไว้ด้วย

ลักษณะความยาว ความสั้นของแบบสอบถามนั้นอาจวัดได้จากจำนวนหน้ากระดาษและเวลาที่ใช้ตอบดังนี้

1. ขนาดของความยาววัดเป็นจำนวนหน้ากระดาษแบ่งออกเป็น

1.1 ขนาดสั้น อยู่ในระหว่างจำนวน 1-7 หน้ากระดาษพิมพ์ประมาณ 20 บรรทัดต่อหน้า รวมประมาณ 140 บรรทัด

1.2 ขนาดกลาง อยู่ในระหว่างจำนวน 8-15 หน้ากระดาษพิมพ์ ประมาณ 20 บรรทัดต่อหน้า รวมประมาณ 300 บรรทัด

1.3 ขนาดยาว อยู่ในระหว่างตั้งแต่ 21 หน้ากระดาษพิมพ์ขึ้นไป ประมาณ 20 บรรทัด ต่อ 1 หน้า อย่างไรก็ดีความยาวของแบบสอบถามไม่ควรเกิน 65 หน้า

2. การคำนวณหรือวัดโดยระยะของการตอบ เป็นจำนวนนาที หรือชั่วโมง

2.1 ขนาดสั้น ใช้เวลาตอบไม่เกิน 7 นาที หรือความยาวไม่เกิน 7 หน้ากระดาษ

2.2 ขนาดกลาง ใช้เวลาตอบไม่เกิน 15 นาที หรือความยาวไม่เกิน 15 หน้ากระดาษ

2.3 ขนาดยาว ใช้เวลาตอบตั้งแต่ 16 นาทีขึ้นไป หรืออย่างมากประมาณ 1 ชั่วโมง

โดยทั่วไปการออกแบบสร้างคำถามย่อมขึ้นอยู่กับเรื่องที่จะทำการวิจัย การร่างคำถามยาวมีจำนวนหน้ามากย่อมทำให้ผู้ตอบเบื่อหน่ายได้ง่าย เพราะเสียเวลา เสียอาชีพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียงานอื่น ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการออกแบบคำถามที่ใช้เวลาในการตอบนานหรือมีจำนวนหน้ามาก และทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับชนิดของคำถามว่าง่ายหรือยาก ถ้าเป็นคำถามชนิดเข้าใจง่ายก็ตอบง่าย แม้คำถามจะมากหลายหน้าอาจจะใช้เวลาน้อยก็ได้ หรือบางทีขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ที่ต่อเนื่องของคำถามเป็นที่น่าสนใจ หรือผู้ตอบมีความรู้มาก่อนก็ทำให้การตอบใช้เวลาน้อยลงได้ หรือบางครั้งก็ขึ้นอยู่กับการพิมพ์ว่าพิมพ์ได้ถูกต้องไม่สับสนง่ายต่อการตอบหรือไม่ ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบก่อนที่จะลงมือร่างและพิมพ์จริงๆ

โดยทั่วไปคำถามที่จะให้กรอกนั้นไม่ควรมีความยาวเกิน 30 หน้า หรือใช้เวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมง เพราะจะทำให้ผู้ตอบหมดความสนใจ การตอบข้อต่อไปก็ไม่ได้ผลเท่าที่ควรจะเป็น

ค. การพิมพ์

1. อักษรควรใช้ตัวใหญ่พอควร ไม่ใหญ่เกินไปนัก และไม่เล็กเกินไป

2. การจัดวางเรียงรูปคำถาม ให้อ่านง่าย โปร่งตา อ่านแล้วไม่เหนื่อย

3. พิมพ์แล้วตัวเด่น เห็นชัด ไม่เลอะเลือนจนต้องใช้เดา จะทำให้ตอบคำถามตอบเร็วขึ้น ไม่ต้องหยุดพักระหว่างทาง

ลักษณะของคำถามที่ดีและลักษณะของคำถามที่ไม่ดีควรหลีกเลี่ยง

เป็นสิ่งที่ค่อนข้างจะลำบากในการตั้งคำถามให้ผู้ตอบเข้าใจตามที่ต้องการ หรือให้ผู้ตอบเข้าใจง่ายไม่ลังเลในการตอบ ไม่สองแง่สองมุม ไม่มีปัญหา ดังนั้น การตั้งคำถามจึงเป็นเทคนิคอย่างหนึ่ง **การตั้งคำถามที่ดีจึงยากกว่าการตอบคำถาม** มีคำกล่าวว่า ถามชอบ-ตอบชัด ถามไม่ชอบตอบไม่ชัดหรือตอบส่งเดช ดังนั้นการตั้งคำถามสำหรับแบบสอบถามสำคัญและมีความจำเป็นต้องฝึกหัด ฝึกความชำนาญกัน จึงจะตั้งคำถามได้ดี

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงลักษณะของคำถามและส่วนประกอบอื่นๆ เกี่ยวกับการตั้งคำถาม เช่น การใช้ภาษา คำพูด การผูกประโยคต่อไป

ลักษณะของคำถามที่ดี อาจแบ่งอธิบายได้ดังนี้

ก. เกี่ยวกับเนื้อเรื่อง

1. คำถามนั้นต้องตรงประเด็น (central problem) กับหัวข้อเรื่องที่จะทำการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำถามนั้นจะต้องมีลักษณะล้วงเอาความลับหรือหลอกล่อเอาความลับความในใจของผู้ตอบออกมาให้ได้โดยเต็มใจและไม่รู้สึกตัว

3. เป็นคำถามที่มุ่งถามเพื่อให้ได้ข้อเท็จจริง

4. เป็นคำถามที่พุ่งเข้าสู่ประเด็นสำคัญหรือหัวใจของเรื่อง

5. เป็นคำถามที่มีลักษณะผูกพันธ์กับเรื่องที่ถามมาแล้วแต่ต้องถามอีกเพื่อขยายความชัดเจน

6. เป็นคำถามที่เกี่ยวข้องกับสมมุติฐาน หรือสามารถพิสูจน์สมมุติฐาน (Hypothesis) ได้

7. เป็นคำถามที่จะทำให้ได้ความแน่นอน (reliability) ของเรื่องแต่ละรายการที่จะถาม

8. เป็นคำถามที่จะทดสอบหาความจริง (validity) ของเรื่องที่จะถามแต่ละหัวข้อ

9. เป็นคำถามที่จะหมค่าหรือความคงที่ของเรื่องที่ว่าเหตุการณ์หรือความรู้ที่ได้นั้นมีความคงที่แค่ไสนเพียงไร (stability)

10. เป็นคำถามที่สรุปรวบยอดของเรื่องที่ถามมาทั้งหมด

11. เป็นคำถามที่ทดสอบเรื่องราวต่างๆ ของผู้ตอบว่าได้ตอบแบบขอไปที

ข. การตั้งคำถาม

การตั้งคำถามมีข้อสังเกตควรคำนึงดังนี้ คือก่อนที่จะได้คำถามไม่ใช่นึกอะไรได้อยากจะถามก็เขียนออกมาเป็นคำถามเลย คำถามที่ปรากฏออกมาดังกล่าวนั้นจะเป็นคำถามประเภทที่ไม่ได้กลั่นกรอง ความคิดไม่ละเอียด เป็นคำถามหลวมๆ บางทีถามเรื่องที่ไม่ควรถาม เรื่องที่ควรจะถามก็ไม่ได้ถาม

ข้อควรระลึกก่อนที่จะตั้งคำถาม

ก่อนที่จะตั้งคำถามผูกประโยคสร้างประโยคใดๆ ต้องถามตัวเราเองก่อนว่า

1. เรื่องที่จะถามนั้น **เรารู้อยู่แล้วหรือไม่** ถ้าเป็นของปรกติธรรมดาที่คนอื่นก็รู้เท่ากับเรา หรือเราก็รู้เท่ากับคนอื่นก็ไม่ควรถาม เช่น พระอาทิตย์ขึ้นพระอาทิตย์ตกทางทิศไหน เด็กชอบเล่นอะไรบ้าง ฯลฯ ดังนี้เป็นต้น นอกจากว่ามีเหตุการณ์พิเศษที่ต้องการรู้เรื่องหรือทราบเฉพาะเจาะจงลงไป ก้อาจจะถามลงไปว่าพระอาทิตย์ตอนเดือนเมษายนของหมู่บ้านนี้ขึ้นเฉียงไปทางทิศเหนือหรือทิศใต้ เวลาตกเดินเฉียงไปทางทิศเหนือหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศใต้ หรือเป็นคำถามที่ทุกคนทุกฝ่ายเห็นด้วยอยู่แล้ว หรือเป็นข้อความที่เห็นตรงข้ามไม่มีใครเห็นด้วยเลย ดังนี้เป็นต้น

2. เรื่องที่จะถามนั้น **จะถามเขาไปทำไม** หรือทำไมจึงต้องถามเขาอันนี้ก็พอตอบได้ว่า ที่ต้องถามเขานั้นก็เพราะเราไม่รู้ ยังไม่ทราบหรือรู้แต่ยังไม่หมดไม่แจ่มแจ้ง จึงต้องถามเขาเพื่อให้แน่ใจเพราะเป็นผู้รู้มากกว่าเรา

3. **เรื่องที่จะถามนั้นจะเอามาใช้ประโยชน์อย่างไร** หรือจะได้ประโยชน์อย่างไรจากคำถามนั้น เรื่องที่ถามนั้นเมื่อเขาตอบมาแล้วต้องเป็นประโยชน์ต่อเรื่องของเรา ต้องเกี่ยวข้องกับเรื่องของเราในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ไม่ใช่ถามโดยยังมองไม่เห็นประโยชน์

การเรียงลำดับคำถาม

1. การเรียงลำดับคำถาม ควรเรียงจากง่ายไปหายาก คำถามแรกๆควรเป็นคำถามง่ายๆก่อน คำถามใดที่ต้องใช้ความนึกคิดในการตอบมาก ควรถามเมื่อได้เดินเรื่องไปพอสมควรที่ผู้ตอบมีความเข้าใจบ้างแล้ว

2. คำถามที่อยู่ในเรื่อง หรือช่วงประเด็นสำคัญอย่างเดียวกัน หนอเหมือนกันควรเอาไว้ด้วยกัน ไม่ควรตั้งคำถามย้อนไปย้อนมา หรือกระจัดกระจายเป็นหย่อมๆ เป็นการแยกความคิดของผู้ตอบให้แตกกระจายออกไป ควรจัดคำถามไว้ตามลำดับความสำคัญหรือเหตุผลของเรื่องที่เหมือนกัน โดยเฉพาะต้องเป็นไปตามโครงสร้างของแบบสอบถามที่จะอธิบายต่อไป

3. การจัดคำถามต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์ของกระแสความนึกคิด (flow of thought) ควรเรียงเรื่องให้ความนึกคิดของผู้ตอบผูกพันธ์กันไปเป็นลูกโซ่จะได้สนใจ ไม่เบื่อ

4. ข้อความหรือคำถามใดมีหลายความหมาย หรืออาจแปลได้หลายนัย จะต้องมีคำจำกัดความเอาไว้ด้วย หรือถ้าไม่แน่ใจว่าผู้ตอบจะเข้าใจถูกต้องควรมีคำอธิบายประกอบไว้ด้วย

5. คำถามแรกๆ ไม่ควรเริ่มต้นด้วยคำถามที่จะมี ข้อโต้แย้งได้ หรือคำถามที่ทำให้เกิดอารมณ์ในทางตรงข้ามกับเรื่องของแบบสอบถาม

6. ข้อความที่ใช้ควรเป็นที่เข้าใจได้ทันทีว่าหมายความว่าอย่างไร

7. เป็นคำถามที่สั้นแต่ได้ความดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.สะดวกแก่การตอบและใช้เวลาน้อย

ลักษณะของคำถามที่ไม่ดี ควรหลีกเลี่ยง

1. คำถามที่คนทั้งหลายรู้อยู่แล้วว่า ถามไปแล้วได้มาก็เท่ากันกับที่เรารู้อยู่แล้ว เป็นการเปลืองเวลาเปล่าและผู้ตอบจะรู้สึกว่าร่างแบบสอบถามไม่เป็น

2. คำถามนั้นไม่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่จะทำการวิจัย และไม่รู้จะนำมาใช้ประโยชน์อะไร

3. คำถามที่ทำให้ผู้ตอบตกอยู่ในภาวะอึดอัดใจหรือรู้สึกว่าอาจเป็นการผิดไม่แน่ใจ ดังนี้ควรมีที่ว่างไว้ให้ผู้ตอบอธิบายเพื่อให้คลายความไม่สบายใจไว้ด้วย

4. คำถามที่ก่อให้เกิดความอับอายเสื่อมเสียศักดิ์ศรี หรือทำให้ผู้ถูกถามได้รับเกียรติภูมิต่ำลง เช่นท่านเคยถูกลงโทษเมื่อไร เคยสอบไล่ตกกี่หน

5. คำถามที่มีลักษณะส่อเสียด ยุยง เสี้ยมสอนให้แตกแยกไปในทางหนึ่งทางใด หรือมีข้อความไปในทำนองที่ได้กล่าวมาแล้ว

6. คำถามที่สองแง่สองมุม กำกวม มีความหมายหลายอย่างทำให้ผู้ตอบเข้าใจผิดได้

7. คำถามที่ปฏิเสธ ซ้อนปฏิเสธ เข้าใจลำบาก เช่น ท่านถูกห้ามมิให้เข้าไปเพราะท่านมิได้เป็นสมาชิกและท่านมิได้สนใจมิใช่หรือ ใช่หรือไม่

8. คำถามที่ยาก อ่านแล้วไม่เข้าใจความหมายหรือช่วงของความนึกคิดยาวเกินไป เช่นคำถามที่ยาวตั้งแต่ 2-3 บรรทัดขึ้นไป

9. คำถามที่มีการคาดคะเนเหตุการณ์ในอนาคตที่ยังมาไม่ถึงอันยาวนานหรืออดีตที่ผ่านมาแล้วหลายๆ ปี นอกจากจะมีเหตุพิเศษเพราะต้องการศึกษาเรื่องนั้นโดยเฉพาะ

10. คำถามที่ลักษณะสุดทางหนึ่งทางใด เช่นเขาเป็นคนเลวที่สุด ฯลฯ

ค. การใช้ถ้อยคำ คำพูด ความหมายของคำพูด

คำพูด คำศัพท์ที่จะใช้กับคำถามต้องมีความหมายแน่ชัด เจาะจง เข้าใจได้ทันที ไม่เป็นคำพูดที่มีความหมายกำกวม สองแง่หรือตีความมองได้หลายความหมาย เมื่อคนอ่านแล้วไม่เข้าใจ หรือเข้าใจแต่เข้าใจเป็นอีกทางหนึ่งคล้ายๆ คนมองรูปก้อนเมฆเดียวกัน บางคนอาจมองเป็นรูปสัตว์ รูปคน บางคนอาจมองเห็นเป็นรูปดอกไม้ รูปบ้าน ดังนี้เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ถ้อยคำเพื่อตั้งคำถาม จึงมีความสำคัญมากทั้งการตั้งประโยค การใช้ถ้อยคำความหมายของคำแต่ละคำ การผูกประโยค การใช้ถ้อยคำที่มีน้ำหนักเบา กว้าง แคบ หรือการใช้ถ้อยคำที่มีลักษณะบอกถึงระดับหรือดีกรีของการวัดชนิดต่างๆ เช่น ความยาว ความกว้าง ความลึก ความสูง น้ำหนัก หรือบอกลักษณะของสีต่างๆ เช่น สีดำ สีขาว สีนวล หรือความหนักเบาของแต่ละสี เช่น สีดำอ่อนเราไม่ใช้ อาจจะใช้ว่าสีเทา สีน้ำตาลค่อนข้างดำหรือน้ำตาลแก่ เป็นต้น การเลือกใช้คำพูดเพื่อใช้เป็นคำถามจึงต้องมีการเลือกให้เหมาะสม ดูความหมายแต่ละคำว่ามีความหมายต่างกันอย่างไร ความหนักเบาของความหมายของแต่ละคำย่อมมีความหมายแตกต่างกัน

ถ้อยคำหรือคำพูดที่จะถามหรือจัดกลุ่มคำถามนั้นมีความสำคัญในการสื่อความหมายเพื่อล้วงเอาความลับออกมาได้ แต่การจะให้ผู้ตอบบอกความในใจออกมาอย่างเต็มใจ นอกจากจะปฏิบัติตามข้อสังเกตดังกล่าวมาแล้ว การใช้คำพูด ความหมายของคำพูดก็มีความสำคัญที่จะให้ได้คำตอบตามความหมายที่แท้จริง

ข้อควรสังเกตในการใช้คำพูด คำศัพท์ วลีในการตั้งคำถาม

1. ควรใช้ถ้อยคำง่ายๆ (Simple words) หรือคำศัพท์ที่คนทั่วไปรู้และใช้กันทั่วๆ ไปอยู่แล้ว เช่น ถามว่าที่บ้านนี้เลี้ยงหมูกี่ตัว เลี้ยงหมากี่ตัว ไม่ควรใช้คำว่าสุกร หรือสุนัข

2. คำศัพท์นั้นควรให้มีลักษณะสื่อความหมายได้ทันที โดยไม่ต้องคิดมากหรือให้เห็นภาพของเรื่องที่เราจะถาม เช่นถามว่า ทำสวนครัวเลี้ยงสัตว์หรือไม่ ใช้ผงซักฟอกหรือสบู่กรดซักผ้า

3. เป็นคำพูดที่กะทัดรัดเป็นคำคำนั้นไม่ใช่คำอื่น เป็นคำที่ให้ความหมายแน่นอนไม่หลวม เช่น เขามาที่นี่ทุกวันหรือไม่ ไม่ใช่มาบ่อยๆ มาเนืองๆ มาเสมอๆ มาเป็นประจำ ซึ่งมีความหมายต่างกัน

ถ้าคำใดยังหาที่เหมาะไม่ได้ ก็ควรใช้วลีหรือกลุ่มของคำที่ง่ายๆรวมกลุ่มของคำให้ชัดเจน แล้วผูกเป็นคำรวมขึ้นมาใหม่ เช่นการจัดระบบ สี แสง เสียง อุณหภูมิ

5. ความหมายของคำแต่ละคำหรือคำศัพท์ จะต้องเลือกนำมาใช้ให้เหมาะกับเรื่องถ้าต้องการให้ภาพชัดเจน ในเรื่องที่จะถามก็ควรที่จะใช้คำนั้น หรือคำที่จะใช้มาตรวัดเป็นต้น

ข้อควรหลีกเลี่ยงในการใช้คำพูด

1. การใช้คำพูด คำศัพท์ และภาษาทางวิชาการมากเกินไป ซึ่งคนทั่วไปยังไม่ทราบกัน ถ้าจำเป็นจะต้องใช้ก็ควรใช้ทับศัพท์ หรือมีคำศัพท์เดิมวงเล็บไว้ให้ทราบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้ง

2. ภาษาแสลง ที่มีความหมายชั่วคราวนิยมใช้กันชั่วระยะเวลาหนึ่งก็ควรหลีกเลี่ยง เช่น จะถามว่าคนๆนั้นเป็นคน**ดัง**หรือไม่ ควรจะใช้คำว่าคนๆนั้น**มีชื่อเสียง**หรือไม่

3. ภาษาที่ใช้กันอยู่ในวงจำกัดของคนบางหมู่บางพวกที่ยังไม่มีการรับรอง แต่ทั้งนี้ไม่รวมถึงภาษาประจำท้องถิ่นที่ใช้พูดกันอยู่ทั่วไป

4. คำพูดหรือคำศัพท์ตัวย่อที่ใช้พูดระหว่างกันเองในหมู่พวกที่คุ้นเคย เช่น ร.ร.(โรงแรม,โรงเรียน) สบม.(สบายมาก) ย.ม.(แย่มาก) ฯลฯ

ง. การสร้างประโยคคำถาม

ประโยคที่จะใช้ตั้งเป็นค

คำศัพท์ การที่จะได้คำตอบที่ดีถูกต้องตรงกับใจของผู้ถาม ประโยคคำถามต้องให้ชัดเจนแน่นอน มีข้อสังเกตดังนี้

1. เป็นคำถามที่สั้นชัดเจนเข้าใจง่าย อ่านแล้วเข้าใจทันที เช่นท่านไปทำบุญที่วัดบ่อยไหม เดือนละกี่ครั้ง

2. ประโยคนั้นต้องมีใจความกำกวม สองแง่สองมุม หรือเป็นประโยคยาวเกินไปจนผู้อื่นจับความไม่รู้เรื่องว่าถามอะไร เช่นการวางแผนครอบครัว มีคนพูดกันมาก บางคนก็เชื่อบางคนก็ไม่เชื่อว่าจะเป็นผลดี ท่านจะเห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วยกับเขาหรือยังไม่ได้ตัดสินใจ

3. การร่างประโยคที่ดี ต้องสะดวกในการรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ว่า จะมีข้อความแยกย่อยลงไปอย่างไร เป็นกี่คอลั่มน์

4. ถ้าคำถามยาวมีหลายความหมาย ควรถามแยกเป็นคำถามสั้นๆหลายข้อจะดีกว่า โดยรวมเอาไว้ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้ผู้ตอบเข้าใจง่ายตอบง่าย **ประโยคหนึ่งควรมีคำถามและความหมายเดียว**

5. คำถามนั้นควรจะจัดให้ง่ายต่อการลงรหัส (Code) และการคำนวณโดยเครื่องจักร

6. คำถามบางคำถามจะถามตรงๆไม่ได้ แม้ข้อความที่ต้องการทราบนั้นเป็นความจริง จะต้องพยายามเลี้ยวไปทางอื่นหรือใช้คำถามที่ถามแล้วตอบได้ความอย่างเดียวกัน (คำถามแคนนอนแทงบิลเลียด) เช่นคำถามว่า ท่านเล่นการพนัน บ่อยหรือไม่ ควรถามว่ามีผู้อื่นเคยมาชวนท่านไปเล่นบ่อยหรือไม่ หรือถ้าจะให้ถามลึกลงไปก็ว่า “ท่านเคยเล่นการพนันชนะบ้างหรือไม่”

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อควรหลีกเลี่ยง

1. ประโยคคำถามที่ยาวเยิ่นเย้อ ข้อความหลวม

2. ประโยคที่อ่านแล้วไม่ได้ความว่าหมายความว่าอย่างไร

3. ประโยคคำถามที่เคยถามแล้ว แล้วนำมาถามอีกในความหมายเดียวกัน แต่ใช้คำศัพท์คนละอย่าง เป็นการถามซ้ำ (นอกจากจะมีจุดประสงค์อย่างอื่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 แบบสอบถาม

แบบสอบถาม

เรื่อง โรงไฟฟ้านิวเคลียร์กับความคิดเห็นของประชาชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

บทนำ

แบบสอบถามฉบับนี้เป็นข้อมูลในการศึกษาเรื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์กับความคิดเห็นของประชาชน ซึ่งเป็นปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ของการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย ศึกษาโดยนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ชั้นปีที่4 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังรายนามต่อไปนี้

นายกานต์	ประสงค์เกียรติ	รหัส 36014025
นายชวาล	คงทรัพย์	รหัส 36014102
นายชิษณุ	อัมพรายน์	รหัส 36014119
นายโยธิน	มัชฌิมาดิลก	รหัส 36014339
นายวัชรพงศ์	ดีวงษ์	รหัส 36014394
นายวรเดช	พัทยาวรรณ	รหัส 36014587

เนื่องจากความต้องการด้านพลังงานไฟฟ้าที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแสวงหาวิธีการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนวิธีการผลิตแบบเดิม เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำจากเขื่อน โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเหล่านี้ได้มีจำนวนลดน้อยลงเรื่อยๆ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทัศนคติของประชาชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ที่มีต่อโรงไฟฟ้านิวเคลียร์
2. เพื่อประเมินความสนใจของประชาชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ต่อโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ข้อมูลที่ท่านให้มานี้จะเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างมาก ทั้งนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านด้วยดี และขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สัมภาษณ์ที่บ้านเลขที่..... หมู่..... ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด.....วันที่สัมภาษณ์.....

ระยะเวลาสัมภาษณ์ ตั้งแต่เวลา.....น. ถึงเวลา.....น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุณาทำเครื่องหมาย √ หน้าช่อง ☐ และเขียนหมายเลขลำดับหน้าช่อง ( ) ตามที่ท่านได้เลือกไว้

1) เพศ

☐ ชาย ☐ หญิง

2) อายุ

☐ ต่ำกว่า 20 ปี ☐ 40 - 50

☐ 20 - 30 ☐ 50 - 60

☐ 30 - 40 ☐ มากกว่า 60 ปี

3) ศาสนา

☐ พุทธ ☐ อิสลาม

☐ คริสต์ ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

4) ระดับการศึกษา

☐ ต่ำกว่าประถมศึกษา ☐ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นต้น

☐ ประถมศึกษาปีที่ 6 ☐ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง หรือ อนุปริญญา

☐ มัธยมศึกษาปีที่ 3 ☐ ปริญญาตรี

☐ มัธยมศึกษาปีที่ 6 ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

5) สถานภาพ

☐ โสด (ข้ามไปถามข้อที่ 7) ☐ หย่า

☐ แต่งงานอยู่ด้วยกัน ☐ หม้าย

☐ แต่งงานแยกกันอยู่ ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

6) ถ้าแต่งงานแล้ว

☐ มีบุตร

☐ ไม่มีบุตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) อาชีพ

☐ นักเรียน, นักศึกษา ☐ พนักงาน ☐ รัฐวิสาหกิจ
☐ ค้าขาย ☐ เกษตรกร ☐ รับราชการ
☐ รับจ้าง ☐ แม่บ้าน ☐ วิศวกร
☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

8) ถิ่นที่อยู่อาศัย

☐ ในเขตเทศบาลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์
☐ นอกเขตเทศบาลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

9) อัตราราคาค่าไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย ปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วย(กิโลวัตต์ชั่วโมง)ต่อเดือน

5 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1 - 5)	เป็นเงิน	4.96	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6 - 15)	หน่วยละ	0.7124	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 - 25)	หน่วยละ	0.8993	บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 - 35)	หน่วยละ	1.1516	บาท
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 - 100)	หน่วยละ	1.5348	บาท
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 - 150)	หน่วยละ	1.6282	บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	หน่วยละ	2.1329	บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	2.4226	บาท

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : เดือนละ 4.67 บาท

จากข้อมูลข้างต้นแสดงถึงราคาไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในปัจจุบัน ซึ่งเป็นอัตราแบบก้าวหน้าคือยิ่งใช้ไฟฟ้ามากก็ยิ่งต้องจ่ายมาก ท่านมีความพึงพอใจกับอัตราราคานี้มากน้อยเพียงใด

☐ พอใจมาก
☐ พอใจ
☐ เฉยๆ
☐ ไม่พอใจ
☐ ไม่พอใจมาก

10) ถ้ามีการเพิ่มราคาค่าไฟฟ้าท่านคิดเห็นอย่างไร

โปรดระบุ.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) ท่านเห็นว่ารูปแบบการบริหารใดเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากนิวเคลียร์

☐ รัฐบาล

☐ รัฐวิสาหกิจ

☐ เอกชนสัมปทาน

☐ รัฐบาลลงทุนร่วมกับเอกชน

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

12) ท่านเห็นว่าการให้บริการของการไฟฟ้าในปัจจุบันเป็นอย่างไร

☐ เป็นที่พอใจมาก

☐ เป็นที่พอใจ

☐ เฉยๆ

☐ ไม่เป็นที่พอใจ

☐ ไม่เป็นที่พอใจมาก

13) ข้อมูลจากฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตพบว่า "ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงปี พ.ศ.2525 - 2539 มีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.53%ต่อปี" ท่านเห็นว่าควรมีการดำเนินการอย่างไร

☐ ดำเนินนโยบายประหยัดพลังงาน เช่น รณรงค์ให้ประชาชนเปลี่ยนมาใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ติดฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5

☐ กำหนดช่วงเวลาในการใช้ไฟฟ้า

☐ ซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ

☐ หาวิธีการผลิตไฟฟ้าแบบใหม่มาทดแทนวิธีการผลิตไฟฟ้าแบบเดิมที่ใช้ในปัจจุบัน

☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

14) ท่านเกรงกลัวต่ออันตรายจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในข้อใดมากที่สุด

กรุณาเขียนหมายเลข 1-4 จากมากสุดไปน้อยสุด

( ) อุบัติเหตุระหว่างการขนส่งเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

( ) การจัดการกับกากกัมมันตรังสี

( ) เกิดอุบัติเหตุทำให้เกิดการรั่วไหลของรังสี

( ) การตกเป็นเป้าหมายของการก่อวินาศกรรม

( ) อื่นๆ(โปรดระบุ).....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15) ท่านคิดเห็นอย่างไร ถ้ามีการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาผลิตไฟฟ้าทดแทนโรงไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

☐ เห็นด้วยอย่างยิ่ง

☐ เห็นด้วย

☐ เฉยๆ

☐ ไม่เห็นด้วย

☐ ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

(ถ้าไม่เห็นด้วยเลือกตอบข้อ 16, ถ้าเห็นด้วยเลือกตอบข้อ 17 และถ้าเฉยๆตอบทั้ง 2 ข้อ)

16) เหตุผลใดที่ทำให้ท่านคิดว่าไม่ควรมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย

กรุณาเขียนหมายเลขตามลำดับที่ท่านเห็นด้วย 1-5 จากมากสุดไปน้อยสุด

( ) ต้นทุนการก่อสร้างสูง

( ) ไม่มั่นใจในระบบความปลอดภัย

( ) อาจตกเป็นเป้าหมายในการก่อวินาศกรรม

( ) ต้องใช้เวลาและงบประมาณสูงในการพัฒนาบุคลากร

( ) ระยะเวลาในการก่อสร้างยาวนานและต้องใช้เทคนิคที่ซับซ้อน

( ) อื่นๆ(โปรดระบุ).....

17) เหตุผลใดที่ทำให้ท่านคิดว่าควรมีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย

กรุณาเขียนหมายเลขตามลำดับ ที่ท่านเห็นด้วย 1-5 จากมากสุดไปน้อยสุด

( ) ไม่มีมีเขม่า ควัน หรือก๊าซต่างๆที่จะทำให้อากาศเสีย

( ) เพื่อทดแทนวิธีการผลิตไฟฟ้าแบบเดิมซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีแนวโน้มจะหมดไปในอนาคต

( ) ไม่มีเสียงดัง

( ) ไม่มีส่วนทำให้เกิดฝนกรดและภาวะเรือนกระจก

( ) มีส่วนในการส่งเสริมอุตสาหกรรมและช่วยสร้างงานในประเทศ

( ) อื่นๆ(โปรดระบุ).....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18) ถ้ามีการวิเคราะห์ความเหมาะสมแล้วพบว่า โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ควรตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ ท่านคิดเห็นอย่างไร

☐ เห็นด้วยอย่างยิ่ง
☐ เห็นด้วย
☐ เฉยๆ
☐ ไม่เห็นด้วย
☐ ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง

เพราะเหตุใด.....

19) ถ้ามีการคัดค้านการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จากองค์กรใดองค์กรหนึ่งท่านคิดเห็นอย่างไร

☐ ร่วมคัดค้านแน่นอน
☐ ดูเหตุผลของการคัดค้าน
☐ ไม่คัดค้าน
☐ ไม่ออกความเห็น
☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

20) ท่านสนใจติดตามข่าวเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มากน้อยเพียงใด

☐ สนใจมาก
☐ สนใจ
☐ เฉยๆ
☐ ไม่สนใจ
☐ ไม่สนใจเลย

21) ท่านคิดว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มากน้อยเพียงใด

☐ มากที่สุด
☐ มาก
☐ ปานกลาง
☐ น้อย
☐ น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

22) ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ที่ท่านเคยทราบ ได้มาจากแหล่งไหนบ้าง(ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

- ☐ วิทยุ
- ☐ โทรทัศน์
- ☐ หนังสือพิมพ์
- ☐ วารสาร, นิตยสาร
- ☐ หนังสือ
- ☐ แผ่นพับ, ใบปลิว
- ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

23) ท่านคิดว่าปัจจุบันมีการให้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มากน้อยเพียงใด

- ☐ มากที่สุด
- ☐ มาก
- ☐ ปานกลาง
- ☐ น้อย
- ☐ น้อยมาก

24) ท่านเห็นว่าวิธีการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์วิธีใดเหมาะสมที่สุด

กรุณาเขียนหมายเลขตามลำดับที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม 1-4 จากมากสุดไปน้อยสุด

- ( ) ทางสื่อวิทยุ โทรทัศน์
- ( ) ทางสื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ เช่น หนังสือพิมพ์
- ( ) ผ่านทางสถาบันการศึกษา
- ( ) จัดตั้งองค์กรเพื่อทำการเผยแพร่ข้อมูล
- ( ) อื่นๆ(โปรดระบุ).....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การวิเคราะห์แบบสอบถาม

จากการสุ่มตัวอย่างประชาชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ข้อมูลส่วนบุคคล

1) ผู้ตอบแบบสอบถามตามเพศ

เพศชาย 66%

เพศหญิง 34%

2) ผู้ตอบแบบสอบถามตามอายุ

ต่ำกว่า 20 ปี 16%

20 - 30 ปี 38%

30 - 40 ปี 32%

40 - 50 ปี 14%

3) ผู้ตอบแบบสอบถามตามศาสนา

พุทธ 96%

คริสต์ 4%

4) ผู้ตอบแบบสอบถามตามการศึกษา

ป.6 2%

ม.3 10%

ม.6 16%

ปวช. 18%

ปวส. 24%

ปริญญาตรี 28%

ปริญญาโท 2%

5) ผู้ตอบแบบสอบถามตามอาชีพ

นักเรียน,นักศึกษา 30%

ค้าขาย 6%

รับจ้าง 10%

พนักงาน 18%

รัฐวิสาหกิจ 18%

ข้าราชการ 18%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ผู้ตอบแบบสอบถามตามสถานภาพสมรส

โสด 52%

แต่งงานแล้วอยู่ด้วยกัน 44%

แต่งงานแล้วแยกกันอยู่ 2%

7) ผู้ตอบแบบสอบถามตามภาระการมีบุตร

มีบุตร 44%

ไม่มีบุตร 56%

8) ผู้ตอบแบบสอบถามตามเขตที่อยู่อาศัย

ในเขตเทศบาลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 52%

นอกเขตเทศบาลจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 48%

<u>ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์และการตลาด</u>

9) ผู้ตอบแบบสอบถามและความพอใจในอัตราราคาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน

พอใจมาก 14%

พอใจ 32%

เฉยๆ 38%

ไม่พอใจ 14%

ไม่พอใจมาก 2%

ประชาชนส่วนใหญ่ค่อนข้างพอใจในราคาค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน

10) ผู้ตอบแบบสอบถามและการเพิ่มราคาค่าไฟฟ้า

ประชาชนไม่เห็นด้วยกับการเพิ่มราคาค่าไฟฟ้า แต่ถ้าจำเป็นต้องปรับปรุงการบริการให้ดีขึ้นด้วย

<u>ข้อมูลด้านการบริหารงาน</u>

11) ผู้ตอบแบบสอบถามและรูปการบริหารที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

รัฐบาล 8%

รัฐวิสาหกิจ 30%

เอกชนสัมปทาน 20%

เอกชนลงทุนร่วมกับรัฐบาล 42%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชาชนส่วนใหญ่เห็นว่าเอกชนลงทุนร่วมกับรัฐบาลเป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

12) ผู้ตามแบบสอบถามและการให้บริการของการไฟฟ้าในปัจจุบัน

พอใจมาก 10%

พอใจ 46%

เฉยๆ 30%

ไม่พอใจ 12%

ไม่พอใจมาก 2%

ประชาชนส่วนใหญ่พอใจในการให้บริการของการไฟฟ้าในปัจจุบัน

13) ผู้ตอบแบบสอบถามและวิธีแก้ไขปัญหาการขาดแคลนไฟฟ้าในอนาคต

ดำเนินนโยบายประหยัดพลังงานไฟฟ้า 42%

กำหนดช่วงเวลาในการใช้ไฟฟ้า 16%

ซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ 12%

หาวิธีผลิตไฟฟ้าแบบใหม่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 20%

ประชาชนเห็นด้วยกับการดำเนินนโยบายประหยัดไฟฟ้าเป็นอันดับหนึ่ง และหาวิธีผลิตไฟฟ้าแบบใหม่เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

<u>ข้อมูลด้านทัศนคติและความเข้าใจเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์</u>

14) ผู้ตอบแบบสอบถามและความเกรงกลัวต่ออันตรายจากโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

อุบัติเหตุระหว่างการขนส่งเชื้อเพลิง 110 คะแนน

การกำจัดกากกัมมันตรังสี 149 คะแนน

เกิดอุบัติเหตุทำให้รังสีรั่วไหล 164 คะแนน

การตกเป็นเป้าหมายในการก่อวินาศกรรม 77 คะแนน

ประชาชนเกรงกลัวต่ออุบัติเหตุทำให้เกิดการรั่วไหลของรังสีเป็นอันดับหนึ่ง

15) ผู้ตอบแบบสอบถามและการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศไทย

เห็นด้วย 32%

เฉยๆ 24%

ไม่เห็นด้วย 42%

ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง 2%

ประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่เห็นด้วยกับการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16) ผู้ตอบแบบสอบถามและเหตุผลทำให้ไม่เห็นด้วยกับการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศไทย

ต้นทุนการก่อสร้างสูง 43 คะแนน

ไม่มั่นใจในระบบความปลอดภัย 84 คะแนน

อาจตกเป็นเป้าหมายในการก่อวินาศกรรม 40 คะแนน

ต้องใช้เวลาและงบประมาณสูงในการพัฒนาบุคลากร 31 คะแนน

ระยะเวลาในการก่อสร้างยาวนานและใช้เทคนิคซับซ้อน 22 คะแนน

สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ประชาชนไม่เห็นด้วยในการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศไทยคือ ความไม่มั่นใจในระบบความปลอดภัย

17) ผู้ตอบแบบสอบถามและเหตุผลที่ทำให้เห็นด้วยกับการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศไทย

ไม่มีเขม่าควัน หรือก๊าซพิษต่างๆที่จะทำให้อากาศเสีย 38 คะแนน

ทดแทนวิธีการผลิตไฟฟ้าแบบเดิมซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีแนวโน้มจะหมดไปในอนาคต 64 คะแนน

ไม่มีเสียงดัง 23 คะแนน

ไม่มีส่วนทำให้เกิดฝนกรดและภาวะเรือนกระจก 22 คะแนน

มีส่วนในการส่งเสริมอุตสาหกรรมและช่วยสร้างงานในประเทศ 41 คะแนน

สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ประชาชนเห็นด้วยกับการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศไทยคือ ทดแทนวิธีการผลิตไฟฟ้าแบบเดิมซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีแนวโน้มจะหมดไปในอนาคต

18) ผู้ตอบแบบสอบถามและการตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในพื้นที่จังหวัดภาคใต้

เห็นด้วยอย่างยิ่ง 6%

เห็นด้วย 28%

เฉยๆ 26%

ไม่เห็นด้วย 32%

ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง 8%

ประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่เห็นด้วยกับการตั้งโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในพื้นที่จังหวัดภาคใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19) ผู้ตอบแบบสอบถามและการเข้าร่วมคัดค้านการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ร่วมคัดค้านแน่นอน 4%

ดูเหตุผลการคัดค้าน 64%

ไม่คัดค้าน 8%

ไม่ออกความเห็น 24%

ประชาชนส่วนใหญ่จะพิจารณาเหตุผลต่างๆก่อนการร่วมคัดค้าน

20) ผู้ตอบแบบสอบถามและความสนใจติดตามข่าวเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

สนใจมาก 18%

สนใจ 30%

เฉยๆ 40%

ไม่สนใจ 12%

ประชาชนมีความสนใจติดตามข่าวเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ค่อนข้างสูง

<u>ข้อมูลด้านการประชาสัมพันธ์</u>

21) ผู้ตอบแบบสอบถามและความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

มาก 8%

ปานกลาง 24%

น้อย 46%

น้อยมาก 22%

ประชาชนส่วนใหญ่ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

22) ผู้ตอบแบบสอบถามและแหล่งข้อมูลที่ทำให้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

วิทยุ 50 คะแนน

โทรทัศน์ 50 คะแนน

หนังสือพิมพ์ 50 คะแนน

วารสาร,นิตยสาร 35 คะแนน

หนังสือ 25 คะแนน

แผ่นพับ,ใบปลิว 38 คะแนน

แหล่งข้อมูลที่สำคัญที่ทำให้ประชาชนได้รับรู้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ได้แก่ วิทยุ, โทรทัศน์ และ หนังสือพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

23) ผู้ตอบแบบสอบถามและการให้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบัน

มากที่สุด 2%

มาก 10%

ปานกลาง 26%

น้อย 50%

น้อยที่สุด 12%

การให้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในปัจจุบันมีน้อยมาก

24) ผู้ตอบแบบสอบถามและวิธีการให้ข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ทางสื่อวิทยุโทรทัศน์ 126 คะแนน

ทางสื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ เช่น หนังสือพิมพ์ 117 คะแนน

ผ่านทางสถานการศึกษา 148 คะแนน

จัดตั้งองค์กรเพื่อทำการเผยแพร่ข้อมูล 109 คะแนน

การเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จะต้องเน้นวิธีการเผยแพร่โดยสถาบันการศึกษา สื่อวิทยุโทรทัศน์ สื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ และนอกนี้จะต้องมีการจัดองค์กรเพื่อทำการเผยแพร่ข้อมูลอีกด้วย

สรุปผลการวิเคราะห์

จากการสำรวจความคิดเห็นของประชาชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์พบว่าประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่เห็นด้วยกับการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย ทั้งนี้เนื่องจากยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการเผยแพร่ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพื่อให้ประชาชนได้มีส่วนรับรู้และตัดสินใจเกี่ยวกับการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การศึกษาด้านการเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

การศึกษาด้านการเงิน

1.ทฤษฎีการวิเคราะห์การเงิน

จุดมุ่งหมายในการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์และการตัดสินใจเพื่อการลงทุนก็เพื่อให้นักบริหาร นักวิเคราะห์ และวิศวกรได้แนวความคิดในการประยุกต์ ทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ สถิติ การบริหารและการบัญชี เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งจะนำไปสู่การตัดสินใจในการลงทุน โดยพิจารณาถึงทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดในรูปของเงิน กำลังคน เครื่องจักร และวัตถุดิบ ดังนั้นผู้ที่ทำการตัดสินใจควรมีความรู้อย่างกว้างขวางในเรื่องต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงจะทำให้การตัดสินใจเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์และน่าเชื่อถือ

วิศวกรรมและการจัดการ

การดำเนินกิจการต่อไปในอนาคตของธุรกิจ จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคต่างๆ มากมาย ดังนั้นวิศวกรจึงมีบทบาทสำคัญมากขึ้นในการบริหารงาน และมีจำนวนไม่น้อยที่ผู้จัดการเป็นวิศวกร การตัดสินใจบางครั้งจะต้องอาศัยแฟกเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก และมีปรากฏอยู่บ่อยๆ ที่มีการพิจารณาถึงระดับความสำคัญของแฟกเตอร์ต่างๆ บางครั้งอาจต้องใช้หลักวิชาเศรษฐศาสตร์เข้าช่วย เพื่อให้ได้มาซึ่งผลสรุปขั้นสุดท้ายและการรับรอง จากการพัฒนาทางด้านคณิตศาสตร์ สถิติ และเทคนิคทางคอมพิวเตอร์สามารถนำมาใช้กับปัญหาทางเศรษฐกิจที่ซับซ้อนได้มากกว่าแต่ก่อน นอกจากความรู้พื้นฐานดังที่กล่าวมาแล้ววิศวกรยังต้องรู้ถึงข้อจำกัดในทางปฏิบัติของเทคนิคต่างๆ ว่าเมื่อไหร่ควรมีการแก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงเมื่อข้อมูลที่มีอยู่ไม่ถูกต้อง หรือเหตุการณ์นั้นได้เปลี่ยนแปลงไปแล้ว เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งผลสรุปและมีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

1.1 การวัดประสิทธิภาพทางการเงิน

วิศวกรหรือนักศึกษาทางด้านวิศวกรรม มักจะศึกษาเกี่ยวกับการใช้วัสดุหรือพลังงานให้ได้ประโยชน์สูงสุด ซึ่งจะวัดกันในเทอมของประสิทธิภาพ (efficiency) ที่ได้

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ผลลัพธ์ที่ได้ (output)}}{\text{จำนวนที่ใส่เข้าไป (input)}} \qquad \text{---------- (1.1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานและวัสดุ วิศวกรควรรู้ว่าประสิทธิภาพที่ได้จะต้องไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามถ้าแทนวัสดุด้วยเงินลงทุนจะได้ค่าที่แตกต่างออกไปคือ

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{ค่าตอบแทนที่ได้รับ (income)}}{\text{ค่าใช้จ่าย (spent)}} \quad \text{---------- (1.2)}$$

ซึ่งจะเห็นว่าประสิทธิภาพทางการเงินนั้นอาจมีค่าเกิน 100 เปอร์เซนต์ได้ จากสมการ (1.1) วิศวกรอาจตีความหมายได้ 2 ประการคือ

ประการแรก จะเกี่ยวกับจำนวนของผลตอบแทนที่ได้ทั้งหมด (Total Output) ต่อจำนวนที่ใส่เข้าไปทั้งหมด (Total input) ตลอดอายุของโครงงาน

ประการที่สอง จะเกี่ยวกับค่าที่ได้อย่างทันที (instantaneous value) ของผลที่ได้ออกมา (output) ต่อค่าที่ใส่เข้าไป เช่น การใช้มิเตอร์ไฟฟ้าวัดประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งไม่จำเป็นต้องคอยจนกระทั่งมอเตอร์นั้นหมดอายุการใช้งานหรือชำรุดเสียไป ในทำนองเดียวกัน การวัดประสิทธิภาพทางการเงิน ก็จะใช้ช่วงเวลาสั้น ๆ หาผลตอบแทน (rate of return) จากเงินลงทุนโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังสมการ

$$\text{อัตราผลตอบแทน} = \frac{\text{กำไรสุทธิต่อปี (annual net profit)}}{\text{เงินลงทุน (invested capital)}} \quad \text{---------- (1.3)}$$

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะนิยมใช้สมการ (1.3) วัดประสิทธิภาพทางการเงิน ซึ่งทั้งนี้ก็แล้วแต่ว่าเราจะคิดผลตอบแทนที่ได้ออกมาจากกำไรสุทธิก่อน หรือหลังการเสียภาษี

ถึงแม้ว่าอัตราผลตอบแทนต่อปี (annual rate of return) จะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในทางการเงิน แต่ก็ยังมีวิธีอื่น ๆ อีกที่ใช้กันในแต่ละกรณี เช่น การหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดจากเงินลงทุน หรือค่าใช้จ่ายต่อปี (annual cost) วิธีเหล่านี้ก็ใช้วัดประสิทธิภาพทางการเงิน แต่อย่างไรก็ดี ถ้านำค่าใช้จ่ายต่อปีมาใช้ จำเป็นต้องนำเอาผลตอบแทนของเงินลงทุน (capital) เข้ามารวมด้วย เพื่อที่จะให้ได้ความหมายที่ถูกต้องยิ่งขึ้น วิธีที่ใช้หาประสิทธิภาพทางการเงินอีกแบบหนึ่งคือ อัตราของผลกำไร (rate of profit) ซึ่งเกี่ยวกับรายรับ (revenue) เช่น การหาผลกำไรต่อราคาขายหนึ่งหน่วย วิธีนี้ต้องใช้อย่างระมัดระวัง มิฉะนั้นอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ วิธีระยะเวลาคืนทุน (payout period) ก็เป็นวิธีการอีกแบบหนึ่งที่ใช้หาจำนวนปีของการคืนทุนของเงินที่ลงทุน ซึ่งสามารถแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน(invested capital)}}{\text{การไหลของเงินสุทธิต่อปี (net annual cash flow)}} \quad \text{--------- (1.4)}$$

การวัดค่าของเงินโดยวิธีนี้ มีจุดประสงค์ที่จะหาจำนวนปีที่สามารถคืนทุนจากผลตอบแทนที่ได้ในแต่ละปี และมักจะใช้วัดในช่วงเวลาสั้น ๆ

1.2 ต้นทุน

ข้อเสนอโครงการทางวิศวกรรมต่าง ๆ (alternative proposal) มักจะใช้เงินลงทุนที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกข้อเสนอใด ๆ จะขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และความพอใจ ถ้าข้อเสนอใดมีราคาต่ำสุดมักจะได้รับการพิจารณาว่าดีที่สุด ดังนั้นการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจึงมีส่วนเกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

<u>คำนิยามของต้นทุน</u>

ต้นทุนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ในแต่ละชนิดก็มีความหมายและความสำคัญแตกต่างกันดังนี้

ต้นทุนเริ่มแรก (first cost) หมายถึงค่าใช้จ่ายเมื่อเริ่มแรกของการลงทุน (initial investment) ซึ่งอุปกรณ์ หรือเครื่องจักรที่ซื้อมานั้นพร้อมที่จะใช้งานได้โดยปกติแล้วจะไม่ค่อยลงทุนซื้ออุปกรณ์นั้นอีกในช่วงอายุของการใช้งาน เช่น ซื้อเครื่อง N.C. (numerical controlled machine tool) มาใช้งาน ค่าใช้จ่ายเริ่มแรกของเครื่องจักรจะประกอบด้วย

1. ราคาเครื่องจักร
2. ค่าใช้จ่ายในการฝึกบุคลากร
3. ค่าขนส่งและติดตั้ง
4. ค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งเครื่องจักร
5. ค่าใช้จ่ายสำหรับอุปกรณ์ช่วย

จะเห็นว่าต้นทุนเริ่มแรกนั้น โดยปกติแล้วจะไม่ใช่เพียงแต่ราคาซื้อของเครื่องจักร (purchase price) เพียงอย่างเดียว แต่ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆดังที่กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนดำเนินการและซ่อมบำรุงรักษา (operating and maintenance cost) ต้นทุนเหล่านี้เกิดขึ้นตลอดอายุของการใช้งานของเครื่องจักร โดยปกติแล้วค่าดำเนินการจะประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าไฟฟ้า ค่าประกัน ค่าธรรมเนียม ค่าเก็บสินค้าคงคลัง และอื่น ๆ

ต้นทุนจม (sunk cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในอดีต และยังคืนทุนไม่หมด (unrecover)

ต้นทุนเสียโอกาส (opportunity cost) หมายถึงมูลค่าที่สูญเสียไปเนื่องจากการนำเอาปัจจัย (ทุน) ไปใช้ทางอื่น จึงทำให้หมดโอกาสที่จะได้ดอกเบี้ยหรือผลตอบแทนจากปัจจัยนั้นอีก เราสามารถจะอธิบายกับต้นทุนเสียโอกาส สำหรับการลงทุนทางธุรกิจหรือโครงงานใด ๆ ทางวิศวกรรมได้ เช่น การลงทุนซื้อเครื่องจักรในราคา 20,000 บาท จะทำให้เขาหมดโอกาสที่จะนำเงินจำนวนนี้ไปลงทุนในธุรกิจอื่น

ต้นทุนเพิ่มขึ้น (increment cost) และต้นทุนหน่วยสุดท้าย (marginal cost) ต้นทุนเพิ่มขึ้นและต้นทุนหน่วยสุดท้ายนั้นมาจากแหล่งแนวคิดเดียวกัน กล่าวคือ ธุรกิจใดที่ต้องการจะขยายการผลิตจากเดิมที่มีอยู่เดิม จะต้องเสียค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนเพิ่มขึ้น แต่ผลตอบแทนที่ได้จะต้องคุ้มกับค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไป ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายเพิ่มต่อแฟกเตอร์ที่เกี่ยวข้อง จะแสดงในเทอมของค่าใช้จ่ายเพิ่มต่อหน่วย เช่น ค่าใช้จ่ายเพิ่มต่อตัน ค่าใช้จ่ายเพิ่มต่อแกลลอน หรือค่าใช้จ่ายเพิ่มต่อหนึ่งหน่วยของผลผลิต เป็นต้น

ต้นทุนตามบัญชี (book cost) เป็นต้นทุนที่ไม่เกี่ยวกับการไหลของเงินจ่ายออกหรือหนี้สิน แต่เป็นต้นทุนที่บันทึกไว้ในบัญชีเครื่องจักร ซึ่งมีค่าเท่ากับต้นทุนเริ่มแรก ลบด้วยผลรวมของค่าเสื่อมราคาที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลานั้น

ต้นทุนเงินสด (cash cost) ธุรกิจจะเจริญแค่ไหนนั้น จะสังเกตได้จากการไหลของเงิน ต้นทุนที่เกี่ยวกับการจ่ายเป็นเงินสดหรือจากหนี้สินที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า ต้นทุนเงินสด

ต้นทุนทดแทน (replacement cost) สำหรับเครื่องจักรที่ใช้งานมาเป็นเวลานานย่อมเกิดการชำรุด หรือมีประสิทธิภาพในการผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องการเครื่องจักรที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพสูงมาทดแทน ซึ่งจะมีผลทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง ต้นทุนทดแทนสำหรับเครื่องจักรใหม่หมายถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการได้เครื่องจักรใหม่มาแทนเครื่องจักรเดิม โดยคิดจากราคาจริงที่เหลืออยู่ของเครื่องจักรเดิม มากกว่าราคาของเครื่องจักรในทางบัญชี

ต้นทุนที่ควบคุมได้ ควบคุมไม่ได้ (controllable and uncontrollable) สำหรับการแยกประเภทของต้นทุนออกเป็นต้นทุนควบคุมได้และต้นทุนควบคุมไม่ได้นั้น ขึ้นอยู่กับว่าเราเจาะจงไปที่จุดใดหรือระดับใด ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในระยะยาวแล้วต้นทุนต่างๆ ถูกจัดอยู่ในต้น

เอกสารนี้ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุนควบคุมได้ในระดับหนึ่ง ต้นทุนที่ควบคุมไม่ได้ระดับต่ำสามารถจะควบคุมได้ในระดับที่สูงขึ้น เช่น ค่าโฆษณา ฝ่ายบริหารในแผนกผลิตไม่มีอำนาจที่จะเพิ่มหรือลดค่าใช้จ่ายประเภทนี้ได้ นอกจากฝ่ายบริหารในระดับที่สูงกว่า

ต้นทุนทางตรง (direct cost) ต้นทุนนี้สามารถจะวัดและเฉลี่ยไปยังผลผลิตหรือโครงการได้โดยง่าย ต้นทุนเหล่านี้ได้แก่ ราคาวัสดุทางตรง ค่าแรงทางตรง

ต้นทุนทางอ้อม (indirect cost) ต้นทุนนี้จะไม่เกี่ยวข้องโดยตรงต่อผลผลิต แต่จะเป็นต้นทุนทางอ้อมที่จะต้องนำไปรวมกับต้นทุนทางตรง

ต้นทุนคงที่ (fixed cost) เป็นต้นทุนที่ไม่แปรผันกับจำนวนผลผลิต เช่นเงินเดือนพนักงานฝ่ายธุรการ ภาษี ค่าประกัน ค่าเช่า ค่าเสื่อมราคา

ต้นทุนแปรผัน (variable cost) ต้นทุนนี้จะแปรผันเป็นสัดส่วนกับจำนวนผลผลิต โดยปกติจะเป็นค่าวัสดุทางตรงและค่าแรงทางตรง

ต้นทุนรวม (total cost) ต้นทุนนี้สามารถแสดงในเทอมของผลบวกของต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

<u>พฤติกรรมของต้นทุนและค่าใช้จ่าย</u>

ต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานของธุรกิจ สามารถจำแนกตามลักษณะพฤติกรรมของต้นทุนได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1. ต้นทุนคงที่ (fixed cost)
2. ต้นทุนแปรผัน (variable cost)
3. ต้นทุนกึ่งแปรผัน (semivariable cost)

ต้นทุนคงที่ เป็นต้นทุนที่ไม่แปรผันตามจำนวนผลผลิตหรือกิจกรรม และจะมีจำนวนคงที่ในช่วงที่พิจารณา การกำหนดลักษณะของต้นทุนคงที่จะขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. การควบคุม ต้นทุนคงที่ทั้งหมดสามารถควบคุมได้ ตลอดช่วงอายุของกิจการต้นทุนบางอย่างสามารถควบคุมได้ในระยะสั้นที่กำหนดโดยฝ่ายบริหาร

2. ความสัมพันธ์กับกิจกรรม ต้นทุนคงที่เป็นผลเนื่องมาจากการลงทุน เช่น ซื้อเครื่องจักรเพื่อใช้ในการผลิตหรือดำเนินกิจการบางอย่าง

3. ช่วงที่มีความหมาย ต้นทุนคงที่จะเกี่ยวกับช่วงที่มีความหมาย (relevant range) ของกิจกรรม กล่าวคือ ต้นทุนคงที่ในช่วงหนึ่งๆ ของกิจกรรม โดยปกติจะแตกต่างจากช่วงอื่น ๆ ดังนั้นการเพิ่มหรือลดการผลิต หรือกิจกรรมอาจทำให้ต้นทุนคงที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อกำหนดของฝ่ายบริหาร ในการประเมินต้นทุนคงที่ต่างๆ จะเป็นไปตามนโยบายการตัดสินใจของฝ่ายบริหาร

5. ต้นทุนตามเวลา เนื่องจากต้นทุนคงที่จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาและโดยปกติแล้วจะสัม
พันธ์กับระยะเวลาตามงวดบัญชี

6. คงที่ในจำนวนรวมแต่แปรผันต่อหน่วย ต้นทุนคงที่จะมีค่าคงที่ในจำนวนรวมขณะที่ต้นทุนต่อหน่วยจะแปรผันเป็นสัดส่วนกลับกับกิจกรรม

7. การนำไปใช้ในทางปฏิบัติ การพิจารณาในทางปฏิบัติ ต้นทุนที่เกิดขึ้นไม่จำเป็นต้องคงที่อย่างสมบูรณ์ แต่จุดประสงค์ในทางปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะกำหนดให้ต้นทุนนี้มีค่าคงที่

ต้นทุนแปรผัน เป็นต้นทุนที่แปรผันอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนการผลิต การกำหนดลักษณะของต้นทุนแปรผันจะขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

1. การควบคุม ต้นทุนแปรผันจะเป็นต้นทุนที่ผู้บริหารสามารถควบคุมได้ในระยะสั้น

2. ความสัมพันธ์อย่างเป็นสัดส่วนกับกิจกรรม ต้นทุนแปรผันจะเป็นแปรผันเป็นสัดส่วนกับกิจกรรมมากกว่าระยะเวลา

3. ช่วงที่มีความหมาย ต้นทุนแปรผันจะสัมพันธ์กับกิจกรรมในช่วงปกติหรือช่วงที่มีความหมาย และลักษณะของพฤติกรรมของต้นทุนจะเปลี่ยนไป ถ้าการดำเนินงานอยู่นอกเหนือช่วงปกติ

4. ข้อกำหนดของฝ่ายบริหาร ต้นทุนแปรผันจะมีผลต่อการตัดสินใจของฝ่ายบริหาร ซึ่งผู้บริหารจะเป็นผู้กำหนดนโยบายขึ้น

5. ต้นทุนของกิจกรรม เนื่องจากต้นทุนแปรผันเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกับกิจกรรมในแผนก หรือหน่วยงานย่อย ดังนั้นการเลือกกิจกรรมของแต่ละแผนกที่ใช้เป็นฐานในการคิดต้นทุนจึงเป็นสิ่งสำคัญ

6. แปรผันในจำนวนรวมแต่คงที่ต่อหน่วย ต้นทุนแปรผันจะถูกกำหนดจากผลของกิจกรรมของต้นทุนรวม เมื่อต้นทุนแปรผันสัมพันธ์กับจำนวนหน่วยของกิจกรรม และจะมีค่าคงที่ต่อหน่วย

7. การพิจารณาในทางปฏิบัติ การพิจารณาในทางปฏิบัติต้นทุนแปรผันที่เกิดขึ้น ไม่จำเป็นต้องแปรผันอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการแปรผันของต้นทุนนี้จึงเป็นเส้นโค้ง แต่สำหรับการพิจารณาในช่วงที่มีความหมายนั้น จะเป็นช่วงแคบ ๆ จึงกะประมาณให้เส้นโค้งนี้เป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นทุนกึ่งแปรผัน หรือต้นทุนกึ่งคงที่ ต้นทุนประเภทนี้จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามจำนวนผลผลิต หรือกิจกรรมที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่ไม่เป็นสัดส่วนเดียวกัน โดยทั่ว ๆ ไปต้นทุนกึ่งแปรผันจะขึ้นอยู่กับ

1. ระยะเวลา
2. ระดับกิจกรรม (จำนวนผลผลิต)
3. การตัดสินใจกำหนดนโยบายวงเงิน

แนวคิดของต้นทุนกึ่งแปรผัน จะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1 สำหรับรูปที่ 2.1 (ก) จะแสดงถึงต้นทุนกึ่งแปรผันที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งประกอบด้วยส่วนของต้นทุนคงที่และส่วนของต้นทุนแปรผัน รูปที่ 2.1 (ข) จะแสดงถึงต้นทุนที่เป็นขั้น ซึ่งแสดงลักษณะของต้นทุนจริงที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงที่มีความหมายของกิจกรรม สำหรับรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข) จะแสดงถึงต้นทุนกึ่งแปรผันและต้นทุนตามงบประมาณที่กำหนดเป็นเส้นตรงภายในช่วงที่มีความหมาย

<u>วิธีการคำนวณหาความแปรผันของต้นทุน</u>

ในการดำเนินงานผลิตย่อมมีต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เกิดขึ้นซึ่งจะแยกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังที่กล่าวมาแล้ว การหาความแปรผันของต้นทุนในแต่ละแผนกเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในการจัดเตรียมงบประมาณยืดหยุ่นได้

ปัญหาของความแปรผันของต้นทุนจะกำหนดให้แคบเข้าโดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนกึ่งแปรผันเท่านั้น ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์อยู่ด้วยกัน 3 วิธีดังนี้

1. วิธีการกะประมาณโดยตรง (direct estimate method)
2. วิธีการกำหนดจุดสูงและจุดต่ำ (high and low point method)
3. วิธีสหสัมพันธ์ (correlation method)

วิธีการกะประมาณโดยตรง เป็นการวิเคราะห์หาความแปรผันโดยตรงของต้นทุนโดยอาศัยข้อมูลจาก

1. ประวัติรายการของกิจกรรมในอดีต
2. นโยบายของฝ่ายบริหาร
3. การศึกษาจากวิศวกรอุตสาหการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นวิธีการจัดการและเสนอผลวิเคราะห์ในสภาวะที่อยู่กับที่ (static) ของความสัมพันธ์ทางเศรษฐศาสตร์ในช่วงเวลาสั้น ๆ ของธุรกิจ การสร้างแผนภูมิจุดคุ้มทุนจะแสดงถึงการแปรของต้นทุน(ค่าใช้จ่าย) รายรับและผลกำไรต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต ความสัมพันธ์ที่จุดคุ้มทุนของฟังก์ชั่นต้นทุน และรายรับจะถูกต้องภายใต้สภาวะและเวลาหนึ่งเท่านั้น

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนแบบเส้นตรง

การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนแบบเส้นตรง สามารถสรุปเป็นข้อมูล ๆ ได้ดังนี้

1. เป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมของต้นทุนในช่วงเวลาสั้น ๆ ของธุรกิจ เพื่อต้องการหาความแปรผันของต้นทุนต่อปริมาณการผลิต

2. การแสดงรายรับในช่วงเวลาสั้น ๆ ของธุรกิจต้องกำหนดให้เป็นฟังก์ชั่นของเส้นตรงกับปริมาณการผลิต ซึ่งแทนด้วยเส้นการขาย

3. การพยากรณ์ปริมาณการผลิตล่วงหน้า จากแผนภูมิจุดคุ้มทุนจะได้มาซึ่งผลกำไรจากการพยากรณ์เช่นกัน

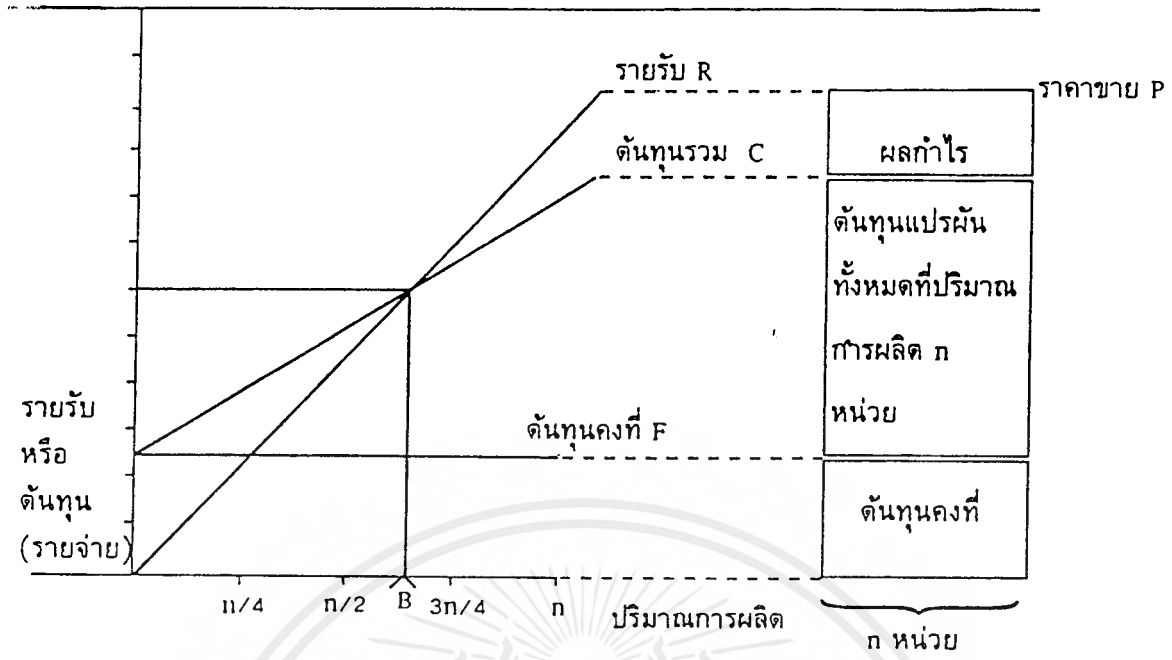
4. เพื่อการควบคุมต้นทุน โดยเส้นต้นทุนในแผนภูมิจะแสดงถึงการพยากรณ์ของต้นทุนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต

5. การสร้างแผนภูมิจุดคุ้มทุนที่ได้ปรับปรุงแล้ว จะชี้ให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นกับข้อเสนอและทางเลือกการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของกำไรในสภาวะที่อยู่กับที่

แผนภูมิจุดคุ้มทุน

แผนภูมิจุดคุ้มทุน (break-even chart) มีประโยชน์ในการอธิบายให้เข้าใจถึงกรณีที่มีการเปรียบเทียบต้นทุนและต้นทุนแปรผันที่มีผลต่อกำไรของธุรกิจ นอกจากนั้นยังใช้อธิบายถึงผลการเปลี่ยนแปลงในนโยบายการผลิตของธุรกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.1 รูปแบบทั่ว ๆ ไปของแผนภูมิจุดคุ้มทุน

เส้นแนวนอนในแผนภูมิจะแสดงถึงต้นทุนคงที่ (F) ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดช่วงของการผลิต สำหรับเส้นลาดชัน (slope) ที่เริ่มต้นจากจุดตัดระหว่างเส้นต้นทุนคงที่กับแกนในแนวตั้งจะแสดงถึงต้นทุนแปรผัน (V) ซึ่งต้นทุนนี้จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการผลิต ดังนั้นการเพิ่มผลผลิตในแต่ละหน่วยจะก่อให้เกิดต้นทุนแปรผันเพิ่มขึ้นในขนาดเดียวกัน และต้นทุนรวม (C) จะเท่ากับผลบวกของต้นทุนคงที่กับต้นทุนแปรผันรวมกัน ส่วนเส้นลาดชันที่เริ่มจากจุดตัดระหว่างแกนในแนวตั้งและแกนในแนวนอนคือ เส้นรายรับ ซึ่งเส้นรายรับ R นี้ จะถูกสมมติให้แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณการผลิตหรือปริมาณการขาย

จุดคุ้มทุน (B) ที่เกิดขึ้น ณ จุดตัดของเส้นต้นทุนรวมกับเส้นรายรับ (อาจแสดงด้วยจำนวนเงินที่ได้รับจากการขายหรือจำนวนการผลิต) โดยที่ไม่ทำให้ธุรกิจเกิดการขาดทุน หรือมีผลกำไร สำหรับระยะทางในแนวดิ่งระหว่างเส้นรายรับและเส้นต้นทุนรวมที่อยู่ทางขวาของจุด B จะแสดงถึงผลกำไร และที่อยู่ทางซ้ายของจุด B จะแสดงถึงการขาดทุน แผนผังรูปแท่งของต้นทุนที่ใช้อธิบายการหาผลกำไร ซึ่งแสดงไว้ทางด้านขวาของแผนภูมิจุดคุ้มทุนในรูปที่ 3.1 โดยบ่งถึงจำนวนผลผลิต (n) ต้นทุน รายรับ และผลกำไรจะถูกจัดอยู่ในรูปแบบเดียวกับแผนภูมิจุดคุ้มทุน สำหรับจำนวนผลผลิตใด ๆ ที่นอกเหนือจากระดับนี้จะให้ผลกำไร (ขาดทุน) ที่แตกต่างกันออกไป

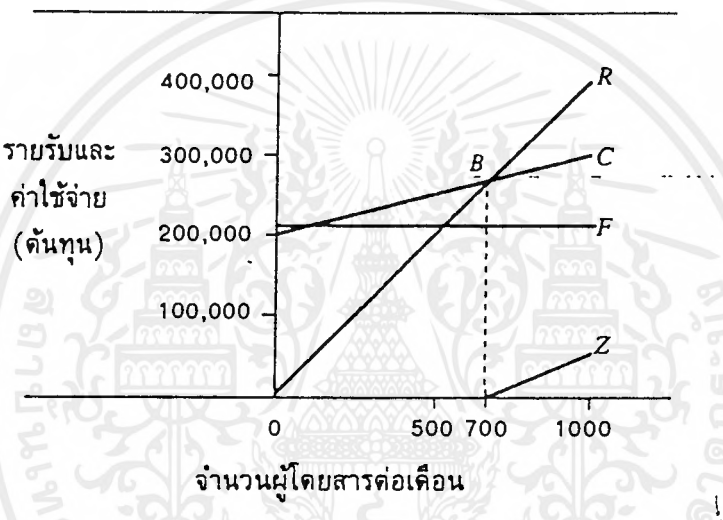
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3.1

สายการบินสายหนึ่งสามารถบรรทุกผู้โดยสารได้ 1,000 ที่นั่งต่อเดือนในเส้นทางสายหนึ่ง ส่วนผลได้จากการขายตั๋วแต่ละใบเท่ากับ 75 % ของราคาตั๋วซึ่งมีราคาใบละ 400 บาท ต้นทุนคงที่ต่อเดือนเท่ากับ 210,000 บาท จงหาว่าจะต้องขายตั๋วได้กี่ที่นั่งในแต่ละเที่ยวบิน (โดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์) จึงจะคุ้มทุนในเส้นทางสายนี้

วิธีแก้ปัญหา

จากข้อมูลที่กำหนดให้สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิจุดคุ้มทุน ดังแสดงไว้ในรูป



แผนภูมิจุดคุ้มทุน สำหรับตัวอย่างที่ 3.1

รายรับทั้งหมดต่อเดือน = n * p

= 1,000 * 400

= 400,000

ส่วนผลได้ทั้งหมด = 0.75 * 400,000

= 300,000

B (% ของที่นั่งทั้งหมด) = F * 100%

ส่วนผลได้

= 210,000 * 100

300,000

= 70 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ B (จำนวนผู้โดยสาร) $= \frac{F}{p - v}$

$= \frac{210,000}{0.75 * 400}$

= 700 คนต่อเดือน

ถ้ากำหนดให้อัตราภาษีเท่ากับ 40 % เราสามารถคำนวณกำไรสุทธิที่ความสามารถ 100 % จะได้

กำไรสุทธิ = Z(1 - t) ซึ่ง t = อัตราภาษี (%)

= (R - C)(1 - t)

= [n(p - v)- F] (1 - t)

= [1,000 * (0.75*400) - 210,000] (0.60)

= 90,000 * 0.60

= 54,000

เส้นกำไรทั้งหมด (gross profit) จะแสดงไว้ทางด้านขวาของแผนภูมิโดยเริ่มจากจุด B

ข้อควรระวังในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

สำหรับการนำเทคนิคการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนไปใช้ประโยชน์นั้น สามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์โดยวิธีจุดคุ้มทุนนั้น ในบางครั้งก็ไม่อาจจะใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนัก ซึ่งก็ไม่ได้หมายความว่าความบกพร่องนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากการวิเคราะห์ อย่างไรก็ดี ผู้ที่ทำการตัดสินใจจำเป็นต้องระมัดระวังถึงขีดจำกัด และการนำวิธีนี้ไปใช้อย่างสมเหตุสมผล

2. การนำแผนภูมิจุดคุ้มทุนไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องมีความมั่นใจว่าข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์จะต้องถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนั้นบริษัทยังต้องมีระบบบัญชีต้นทุนที่ดีซึ่งจะทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถแยกค่าใช้จ่ายได้อย่างถูกต้องในสถานการณ์ที่กำลังตัดสินใจ ในกรณีที่มีผลิตภัณฑ์หลายชนิดและต้องแสดงบนเส้นตรงเดียวกันในแผนภูมิ อาจจะทำให้ไม่สามารถแยกแยะผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพต่ำออกมาได้อย่างชัดเจน

3. ข้อมูลจากการดำเนินงานในอดีต อาจจะไม่ชี้ให้เห็นถึงการดำเนินงานในอนาคต อย่างไรก็ตาม ความเชื่อถือในการตัดสินใจย่อมจะสูง ถ้าสถานการณ์ค่อนข้างคงที่หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตัดสินใจที่จะลดจุดคุ้มทุนให้ต่ำลง หลังจากที่ได้ศึกษารายรับและรายจ่ายแล้ว ซึ่งก็ยังไม่เป็นการเพียงพอ ทั้งนี้เพราะยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกหลายอย่างที่จะต้องศึกษาในรายละเอียดเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจ

1.4. ธีการเบื้องต้นสำหรับการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์

การศึกษาเศรษฐศาสตร์ส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับการลงทุนในโครงการต่าง ๆ ซึ่งมีรูปแบบของการลงทุนที่แตกต่างกัน ตลอดจนการไหลของรายรับและรายจ่าย ในทางปฏิบัติเราสามารถทำการตัดสินในโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง หรืออื่น ๆ ที่เห็นว่าเหมาะสมจากวิธีเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1. มูลค่ารายปี (Annual Worth : AW)
2. มูลค่าปัจจุบัน (Present Worht : PW)
3. มูลค่าในอนาคต (Future Worth : FW)
4. อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return : IRR)

1 วิธีมูลค่ารายปี

เทอมของมูลค่ารายปี หมายถึง การไหลของเงินสุทธิที่เกิดขึ้นในแต่ละปีอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งมีค่าเทียบเท่า เท่ากับเงินรับเข้าและเงินจ่ายออกที่จุดต่าง ๆ ของเวลา หลักเกณฑ์นี้จะใช้ได้เมื่อมูลค่ารายปีสุทธิ (net annual worth) ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างรายรับและรายจ่ายเทียบเท่ามีค่า ≥ 0 เท่านั้น

ถ้าพิจารณาเฉพาะรายจ่ายอย่างเดียวกฎเกณฑ์นี้จะหมายถึงเฉพาะค่าใช้จ่ายรายปี (Annual Cost : AC)

การคำนวณหาค่าเงินคืนทุน(calculation of capital recovery cost) ค่าเงินคืนทุนของโครงการใดจะหมายถึง ค่าเทียบเท่าของรายจ่ายอย่างสม่ำเสมอจากการลงทุน จำนวนรายจ่ายในแต่ละปีที่เกิดขึ้นจะต้องชดเชย ค่าเสื่อมราคา และดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นจากเงินลงทุน (Minimum required profit) ดังเช่น เครื่องจักรเครื่องหนึ่งมีราคา 10,000 บาท สามารถใช้งานได้ 5 ปี และมีมูลค่าซากเหลืออยู่ 2,000 บาท ในปลายปีที่ 5 กำหนดให้อัตราดอกเบี้ยเท่ากับ 10%

เราสามารถแสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าจะใช้วิธีใดในการหาค่าเสื่อมราคาก็ตาม จะต้องได้ค่าเงินคืนทุนเทียบเท่าต่อปีเท่ากัน สำหรับตัวอย่างนี้ ถ้าใช้ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงจะได้ดอกเบี้ยเทียบเท่าต่อปีเท่ากับ 710บาทดังแสดงในตารางที่ 4.1 ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงจะมีค่าเท่ากับ (10,000 - 2,000)/5 = 1,600 บาท ดังนั้นมูลค่ารายปีเท่ากับ 1,600 + 710 = 2,310 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การคำนวณหาค่าเทียบเท่าของดอกเบี้ยที่เวลาปัจจุบันโดยใช้ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง

ปี	ค่าเงินลงทุนที่ต้นปี	ดอกเบี้ยจากการลงทุนที่ต้นปี ที่ 10%	ค่าปัจจุบันของดอกเบี้ยที่ 10%
1	10,000	1,000	1,000(P/F 10,1) = 909
2	8,400	840	840(P/F 10,2) = 694
3	6,800	680	680(P/F 10,3) = 511
4	5,200	520	520(P/F 10,4) = 355
5	3,600	360	360(P/F 10,5) = 224
			รวม 2,693

สูตรที่ใช้หาค่าเงินคืนทุนมีด้วยกันหลายสูตรซึ่งแต่ละสูตรจะให้คำตอบเหมือนกัน แต่สูตรที่เข้าใจง่ายดังแสดงไว้ในสมการ 4.1 จะได้ค่าเงินทุนเท่ากับค่าเทียบเท่ารายปีจากการลงทุนลบค่าเทียบเท่ารายปีจากมูลค่าซาก ดังสมการ

$$CR = P(A/P\ i,n) - F(A/F\ i,n)$$

เมื่อ P คือการลงทุนเริ่มแรก

F คือมูลค่าซากในปีสุดท้าย

n คืออายุของโครงการ

จากสมการ 4.1 สามารถหาค่า CR ได้ดังนี้

$$CR = 10,000(A/P\ 10,5)-2,000(A/F\ 10,5)$$

$$= 10,000(0.2638) - 2,000(0.1638)$$

$$= 2,310$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 วิธีมูลค่าปัจจุบัน

วิธีมูลค่าปัจจุบันที่ใช้สำหรับการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์จะใช้แนวคิดเดียวกับค่าเทียบเท่าจากการไหลของเงินทั้งหมดที่สัมพันธ์กับจุดของเวลาที่เรียกว่า ปัจจุบัน กล่าวคือ การไหลของเงินรับเข้า และจ่ายออกจะถูกลดในอัตราดอกเบี้ยเท่ากับ MARR

การนำกฎเกณฑ์ของวิธีนี้มาใช้และตัดสินใจยอมรับโครงการก็ต่อเมื่อค่าปัจจุบันสุทธิ (net present worth) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

ถ้าพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายแต่เพียงอย่างเดียว การไหลของเงินจ่ายออกจะให้ค่าปัจจุบันเป็นลบ

ตัวอย่างที่ 4.2

จากตัวอย่างที่ 4.1 จงแสดงว่าโครงการนี้จะเป็นที่ยอมรับหรือไม่ โดยใช้วิธีของมูลค่าปัจจุบัน

วิธีแก้ปัญหา

		มูลค่าปัจจุบัน
รายรับต่อปี	: 5,310(P/A 10,5)	20,125
มูลค่าซาก	: 2,000(P/A 10,5)	1,245
เงินลงทุน	: -10,000	
ค่าใช้จ่ายต่อปี	: 3,000(P/A 10,5) -11,370	
	รวม	-21,370
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ		0

เนื่องจากโครงการนี้มีมูลค่าปัจจุบัน = 0 แสดงว่าอัตราผลตอบแทนที่ได้ของโครงการเท่ากับ 10% จึงเป็นที่ยอมรับ

3 วิธีมูลค่าในอนาคต

วิธีมูลค่าในอนาคตที่ใช้ในการศึกษาทางด้านเศรษศาสตร์ ก็เพื่อที่จะใช้เปรียบเทียบกับวิธีมูลค่าปัจจุบัน ซึ่งมีข้อแตกต่างกันตรงที่การไหลของเงินรับเข้า และจ่ายออกทั้งหมดของมูลค่าในอนาคตจะถูกสะสมไปยังจุดที่อ้างอิงในอนาคต

ตัวอย่างที่ 4.3

จากตัวอย่างที่ 4.1 จงแสดงว่าโครงการนี้จะเป็นที่ยอมรับหรือไม่ โดยใช้วิธีของมูลค่าปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีแก้ปัญหา

			มูลค่าปัจจุบัน
รายรับต่อปี	: 5,310(P/A 10,5)		32,420
มูลค่าซาก	: 2,000		2,000
เงินลงทุน	:	-16,105	
ค่าใช้จ่ายต่อปี	: 3,000(P/A 10,5)	-18,315	
	รวม		-34,420
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ			0

เนื่องจากโครงการนี้มีมูลค่าปัจจุบัน = 0 แสดงว่าอัตราผลตอบแทนที่ได้ของโครงการเท่ากับ 10% จึงเป็นที่ยอมรับ

4 วิธีอัตราผลตอบแทนภายใน

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป ในจำนวณวิธีการหาอัตราผลตอบแทนสำหรับการศึกษาทางด้านเศรษศาสตร์ อัตราผลตอบแทนภายในเป็นอัตราการวัดอย่างหนึ่งที่เป็นส่วนเพิ่มเติมจากวิธีมูลค่าปัจจุบัน และมูลค่าในอนาคต การนำวิธีนี้มาใช้จะต้องมีการไหลของเงินในทิศทางตรงกันข้ามคือจะต้องมีเงินไหลเข้าและไหลออก

การคำนวณหา IRR สำหรับโครงการเดี่ยวจะเกี่ยวกับการหาอัตราผลตอบแทนจากค่าปัจจุบันของการไหลของเงินรับเข้า ที่เท่ากับค่าปัจจุบันของเงินไหลออกโดยปกติแล้วจะนิยมใช้มูลค่าปัจจุบันในการหา IRR มากกว่าการใช้มูลค่ารายปี หรือมูลค่าในอนาคตดังสมการ 4.4

$$Rk\ (P/F\ i,k) = Dk\ (P/F\ i,k)$$

เมื่อ Rk คือรายรับสุทธิสำหรับปีที่ k

Dk คือรายจ่ายสุทธิสำหรับปีที่ k

n คืออายุของโครงการ

ตัวอย่างที่ 4.4

จากตัวอย่างที่ 4.1 จงแสดงว่าโครงการนี้จะเป็นที่ยอมรับหรือไม่โดยวิธีอัตราผลตอบแทนภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>วิธีแก้ปัญหา</u>

เมื่อค่าปัจจุบันของการไหลของเงินสุทธิ (net cash flow) = 0

-10,000 + (5,310-3,000)(P/A I,5) + 2,000(P/F I,5) = 0

ในกรณีที่ยังไม่รู้คำตอบ เราจะต้องทดลองใช้ค่า I ต่ำ ๆ ก่อน เช่น 5% และค่า I ที่สูงขึ้น เช่น25%

ที่ I = 5% : -10,000 + 2,310(4.3295) + 2,000(0.7835) = +1,568

I = 25% : -10,000 + 2,300(2.6893) + 2,000(0.3271) = -3,132

เนื่องจากค่า PWที่ได้จะมีทั้งค่า + และ - ดังนั้นโดยวิธีการประมาณค่าในช่วงที่แสดงในรูปที่ 4.1 จะได้ค่า I ซึ่งค่า I ที่ได้จากกราฟจะเป็นค่าโดยประมาณซึ่งเท่ากับ 11.7%และมีค่าปัจจุบันสุทธิ = 0

$$\frac{25\% - 5\%}{1,568 - (-3,132)} = \frac{I\% - 5\%}{1,568 - 0}$$

หรือ

$$I\% = 5\% + \frac{(1,568)\ (25\% - 5\%)}{1,568 - (-3,132)}$$

การเลือกอัตราผลตอบแทนโดยการทดลองสำหรับวิธี IRR สำหรับผู้ที่ใช้วิธี IRR หาอัตราผลตอบแทน (I) มักจะมีปัญหาในการเลือกค่า I ครั้งแรก และค่า I อื่น ๆ เพื่อเป็นการลดจำนวนครั้งของการเลือกค่า I ลง จึงกำหนดวิธีการหาค่าโดยประมาณ กล่าวคือ การทดลองหาค่า I ครั้งแรกจะได้ค่าของผลกำไรเฉลี่ยต่อปี (average annual profit) โดยไม่คำนึงถึงเวลา ค่าที่ได้จะแบ่งเป็น % ของการลงทุนเฉลี่ย

จากตัวอย่างที่ 4.4 จะได้ค่า IRR โดยประมาณดังนี้

การไหลของเงินรับเข้า (cash inflow)

รายรับต่อปี	: 5,310 * 5	26,550
มูลค่าซาก		2,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวม		28,550
	การไหลของเงินจ่ายออก (cash outflow)	
รายจ่ายต่อปี	: 3,000 * 5	- 15,000
เงินลงทุน		- 10,000
	การไหลของเงินรับเข้าสุทธิ	3,550

กำไรเฉลี่ยต่อปี = 3,550 = 710

5

เงินลงทุนเฉลี่ย = 10,000 + 2,000 = 6,000

2

กำไรเฉลี่ยต่อปี = 710 = 11.8%

เงินลงทุนเฉลี่ย 6,000

ดังนั้นการทดลองหา IRR ครั้งแรกอาจจะกำหนดค่าให้เท่ากับ 12% และแทนค่านี้ลงในสมการของค่าปัจจุบันสุทธิจะได้ค่าลบ ขั้นต่อไปจะต้องคิดไว้ในใจว่าอัตราดอกเบี้ยที่ต่ำกว่า 12% จะทำให้ค่าปัจจุบันทั้งที่เป็นแบบจ่าย (รับ) ครั้งเดียวและแบบอนุกรม มีค่ามากขึ้นนั่นก็หมายถึงว่า เทอมที่มีเครื่องหมายบวก จะมีค่ามากขึ้นจนทำให้ค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าหรือเท่ากับ 0

การทดลองหาค่า IRR ครั้งที่ 2 ควรมีค่าต่างจากครั้งแรกพอประมาณ เพื่อว่าจะได้ค่าของค่าปัจจุบันสุทธิอยู่ระหว่างค่าบวก และลบ หลังจากนั้นจึงทำการทดลองหาค่า I ครั้งที่ 3 โดยวิธีประมาณค่าในช่วงซึ่งจะได้ค่า IRR ที่ผิดพลาดน้อยที่สุด

วิธีที่ไม่แนะนำให้ใช้สำหรับการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์

วิธีที่ใช้สำหรับการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ก็มีอยู่บางวิธีที่ใช้ได้ในขอบเขตจำกัด และไม่ขอแนะนำให้ใช้นอกเสียจากว่าจะใช้เป็นส่วนเสริมเข้ากับวิธีที่ถูกต้องแล้วเท่านั้น อย่างไรก็ตามผู้ใช้ก็ควรจะระวังในการตีความ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้นได้ วิธีที่จะกล่าวถึงนี้ก็คือ วิธีระยะเวลาคืนทุน (payout period method) จะเป็นการหาจำนวนปีที่ผ่านไป จนเงินลงทุนนั้นได้กลับคืนมาในรูปของเงินไหลเข้าสุทธิ (net income flow) ถ้ารายรับ (revenue) และรายจ่าย (cost) แต่ละปีเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ (uniform) จะได้สมการของระยะเวลาคืนทุนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนปีของการคืนทุน = P - F 4.8

R - D

ในกรณีที่ไม่คิดมูลค่าซาก จะได้

จำนวนปีของการคืนทุน = P 4.9

R - D

R - D หมายถึงการไหลของเงินสุทธิต่อปี

ถ้าใช้วิธีนี้หาระยะเวลาคืนทุนของโครงการลงทุนในตัวอย่างที่ 4.1 จะได้ 10,000/(5,310-3,000) = 4.33 ปีการวัดแบบนี้จะไม่ได้บอกรายละเอียดของโครงการ นอกจากความเร็วของการคืนทุน

วิธีระยะเวลาคืนทุน ไม่มีการพิจารณาถึงโอกาสการหาของเงินเสริมทุน ซึ่งได้กลับคืนมาระหว่างช่วงเวลาคืนทุนและข้อผิดพลาดอีกประการหนึ่งคือไม่มีการพิจารณาอายุการใช้งานอย่างประหยัดของสินทรัพย์ ดังนั้นจึงมีผลให้ข้อเสนอหนึ่งที่มีระยะเวลาคืนทุนนานกว่าอีกข้อเสนอหนึ่งมีอัตราผลตอบแทนสูงกว่า ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้วิธีนี้สำหรับการตัดสินใจในการลงทุน นอกจากจะใช้วัดเฉพาะความเร็วของการคืนทุนและดัชนีความเสี่ยงของโครงการ

การศึกษาเศรษฐศาสตร์สำหรับการลงทุนใหม่

การศึกษาเศรษฐศาสตร์สำหรับโครงการลงทุนใหม่ในตัวอย่างต่อไปนี้จะพิจารณาเฉพาะโครงการเดี่ยว ที่มีการลงทุนเริ่มแรก และมีขนาดของรายรับ และรายจ่ายเท่ากันทุก ๆ ปี รูปแบบที่กำหนดให้นี้จะเป็นแบบพื้นฐานสำหรับโครงการลงทุนระยะยาว

ตัวอย่างที่ 4.7

นายโชคชัย พิจารณาที่จะซื้ออพาร์ตเมนต์ที่เพิ่งสร้างเสร็จซึ่งอยู่บริเวณรอบนอกของเมืองใหญ่ และเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมนอกจากนั้นยังอยู่ไม่ไกลจากมหาวิทยาลัยมากนัก ขณะนี้อพาร์ตเมนต์กำลังเปิดให้เช่าอยู่และมีผู้เข้าอยู่แล้วกว่า 80% คาดว่าจะมีผู้เข้าอาศัยอยู่เต็มภายในอีก 2-3 สัปดาห์ข้างหน้า อาคารพร้อมที่ดินมีราคา 1,700,000 บาท เป็นราคาที่ดินเท่ากับ 200,000 บาท อาคารหลังนี้ประกอบด้วยอพาร์ตเมนต์10 ห้อง และห้องเล็กอีก 1 ห้องของผู้ดูแลอาคาร นอกจากนี้ยังมีสถานที่สำหรับจอดรถจำนวน 11 คันด้วย นายโชคชัย ได้ศึกษาข้อมูลของอพาร์ตเมนต์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และประเมินได้ว่าอัตราค่าเช่าห้องเท่ากับ 2,200 บาท ประมาณว่าจะมีผู้อยู่อาศัยอย่างน้อย 95% ตลอดเวลา ค่าน้ำ ค่าไฟ จะรวมอยู่ในค่าเช่า ส่วนค่าใช้จ่ายสำหรับการดำเนินการสามารถสรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ดูแล	3,500 บาทต่อเดือน พร้อมค่าเช่าอพาร์เมนต์
ค่าไฟฟ้า	8,000 บาทต่อปี
ค่าน้ำ	3,000 บาทต่อปี
ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซม	2,200 บาทต่อปีต่อห้อง
ค่าภาษี	4% ของมูลค่าส่วนเกิน
ค่าประกัน	0.5% ต่อปีของราคาอาคาร
ค่านายหน้า	2.5% ของรายรับของค่าเช่าทั้งหมดต่อปี

ขณะนี้นายโชคชัยได้ลงทุนซื้อพันธบัตรที่ให้ผลตอบแทนประมาณ 5% ก่อนภาษี และเขารู้สึกว่าโครงการดังกล่าว ควรจะให้ผลตอบแทนอย่างน้อย 7% ก่อนภาษี จากการประเมินอายุของ

อพาร์ตเมนต์ แล้วเชื่อแน่ว่าจะอยู่อาศัยได้อย่างน้อย 40 ปี หลังจากนั้นจะเหลือมูลค่าซากเฉพาะที่ดินเท่ากับ 200,000 บาท

<u>วิธีแก้ปัญหา</u>

การคำนวณหารายรับในแต่ละปี = 10*2,200*12*0.95 = 250,000

การคำนวณหารายจ่ายในแต่ละปี มีดังนี้

ค่าผู้ดูแลอาคาร	=	42,000
ค่าไฟฟ้า	=	8,000
ค่าน้ำ	=	3,000
ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซม = 10*2,200	=	22,000
ค่าภาษี 1,700,000 *0.30*4 / 100	=	20,400
ค่าประกัน 1,500,000*0.005	=	7,500
ค่านายหน้า 250,800*0.025	=	6,270
รวม	=	103,570

ดังนั้นการไหลของเงินรับเข้าสุทธิต่อปี = 250,800-103,570

= 147,230

โดยวิธี IRR ที่แสดงด้วยค่าปัจจุบันจะได้สมการดังนี้

$$-1{,}700{,}000 + 147{,}230(P/A\ I,40) + 2{,}000{,}000(P/F\ I,40) = 0$$

ที่ I = 5%; -1,700,000 + 147,230(17.1591) + 200,000(0.1420) = +854,734

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ I = 10%; -1,700,000 + 147,230(9.7791) + 200,000(0.0221) = -216,023

โดยวิธีการประมาณค่าในช่วง ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบัน = 0 จะได้

$$I = IRR = 5\% + \frac{854{,}734*(10\%-5\%)}{854{,}734 + 216{,}023} = 8.99\%$$

โครงการนี้ให้ผลตอบแทน 8.99% มากกว่า 7% แสดงว่าการลงทุนนี้เป็นที่น่าสนใจ

ตัวอย่างที่ 4.8

จากตัวอย่างที่ 4.7 จงวิเคราะห์โครงการโดยใช้วิธี ERRR กำหนดให้การลงทุนเสริมสำหรับการสะสมของค่าเสื่อมราคา มีอัตราเดียวกับพันธบัตรคือ เท่ากับ 5%

<u>วิธีการแก้ปัญหา</u>

รายรับต่อปี	250,800
รายจ่ายต่อปี	
ค่าใช้จ่าย	103,570
ค่าเสื่อมราคา : 1,500,000(A/F 5,40)	
= 1,500,000(0.0083)	12,450
รวม	116,020
กำไรสุทธิต่อปี	134,780

$$ERRR = \frac{134780}{1{,}700{,}000} *100\% = 7.93\%$$

โครงการนี้ให้ผลตอบแทน 7.93% มากกว่า 7% แสดงว่าการลงทุนนี้เป็นที่น่าสนใจ

ตัวอย่างที่ 4.9

จากตัวอย่างที่ 4.7 จงทำการวิธีเคราะห์โครงการโดยใช้วิธีมูลค่ารายปี (annual worth)

<u>วิธีแก้ปัญหา</u>

รายรับต่อปี	250,800
รายจ่ายต่อปี	
ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ	103,570

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเสื่อมราคา : 1,500,000(A/F 7,40)

= 1,500,000(0.0050) 7,500

ผลกำไรที่ต้องการต่ำสุด 1,700,000(0.07) 119,000

รวม 230,070

โครงการนี้มีรายรับต่อปีเท่ากับ 250,800 บาท มากกว่าค่าใช้จ่ายรวมต่อปี ซึ่งเท่ากับ 230,000 บาท ดังนั้นโครงการนี้เป็นที่น่าสนใจ

กฎเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อสนับสนุนการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ การตัดสินในที่เกี่ยวกับการลงทุนของโครงการดังแสดงในตัวอย่างที่ 4.7 - 4.9 ซึ่งนายโชคชัยต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆที่เกี่ยวข้องสามประการคือ ประการที่ 1 จะเป็นการประเมินถึงรายรับ ประการที่ 2 เป็นการประเมินถึงอัตราค่าเช่า และอัตราการเช่าอยู่ซึ่งค่อนข้างมีความแน่นอน ประการที่ 3 เป็นการประเมินถึงการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจว่าผลต่ออัตราค่าเช่า และอัตราการเช่าอยู่มากน้อยเพียงใดโดยพิจารณาถึงที่อยู่อาศัยประเภทอื่นๆ ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้อาจจะต้องมีการลดอัตราค่าเช่า หรือค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ให้ต่ำลง ซึ่งจะมีผลต่อการประเมินค่าของรายรับ การประเมินค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ค่อนข้างแน่นอน นอกจากค่าเสื่อมราคาและค่าซ่อมบำรุง ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลในอดีตจากที่อื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันถ้าพิจารณาถึงอายุของอพาร์ตเมนต์แล้วคาดว่าจะใช้ได้ไม่ต่ำกว่า 40 ปี นอกจากนั้นสถานที่ตั้งก็อยู่ใกล้เมืองใหญ่และไม่ไกลจากมหาวิทยาลัย จึงเป็นที่แน่ใจว่าจะมีผู้เข้าอยู่อาศัยตลอดระยะเวลา40 ปี หรือนานกว่านั้น

เมื่อพิจารณาด้านความเสี่ยงเนื่องจากอพาร์เมนต์มีระยะเวลาคืนทุนนานจึงอาจจะมีการเสี่ยงแต่ก็ไม่มากนัก ดังนั้นถ้านายโชคชัยได้ศึกษาข้อมูลอย่างละเอียดดังที่ได้กล่าวมาแล้วประกอบกับการพิจารณาถึงแฟกเตอร์อื่นๆ เขาอาจจะตัดสินใจลงทุนในโครงการนี้ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 การวิเคราะห์โครงการภาครัฐบาล

การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน

การวิเคราะห์ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (benefit- cost) เป็นวิธีหลักที่ใช้ในการประเมินค่าของโครงการภาครัฐบาล และจะยอมรับโครงการนั้นเมื่ออัตราส่วนของผลประโยชน์กับเงินลงทุนมีค่ามากกว่า 1 หรือมีค่าความแตกต่างของผลประโยชน์และเงินลงทุนเป็นบวกการเพิ่มของอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน (B/C) ควรจะมีค่าเกิน 1 และอัตราผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนที่มีค่ามากกว่า 1 คือกฎเกณฑ์มาตรฐานของการยอมรับขั้นต่ำ แต่จะไม่มีผลต่อหลักเกณฑ์ในการจัดอันดับ สำหรับวิธีการคิดส่วนลด การคำนวณในทางปฏิบัติ และการพิจารณาในการจัดสรรเงินลงทุนสำหรับภาครัฐบาล จะมีลักษณะคล้ายกับภาคเอกชน

โครงการแบบต่าง ๆ ของรัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถจำแนกได้เป็น 4 แบบคือ

1. การปรับปรุงวัฒนธรรม จะเป็นการยกระดับสิ่งที่มีอยู่แล้วให้สูงขึ้น เช่น การศึกษา แหล่งพักผ่อน แหล่งประวัติศาสตร์ และสถาบันต่าง ๆ ที่มีลักษณะคล้าย ๆ กัน

2. การป้องกัน จะเกี่ยวกับการปฏิบัติหน้าที่ให้สำเร็จลุล่วงไป เช่น การป้องกันอัคคีภัย การปฏิบัติหน้าที่ของกองทัพ และระบบในการพิจารณาคดีในศาล

3. การบริการทางเศรษฐกิจ จะเกี่ยวกับการขนส่ง การแจกจ่ายพลังงาน และโครงการเงินกู้สำหรับการสร้างที่อยู่อาศัย

4.แหล่งทรัพยากรตามธรรมชาติ โครงการสำหรับแหล่งทรัพยากรตามธรรมชาติ อาจจะนำมาซึ่งการจัดการในที่ดินผืนใหญ่ การควบคุมมลภาวะ และการป้องกันน้ำท่วม

การประเมินค่าโครงการต่างๆ ของรัฐ มักจะมีความยากลำบากนอกเหนือจากต้องคอยเป็นเวลาหลายปีก่อนที่จะเห็นผลประโยชน์ โดยปกติแล้ว จะไม่สามารถวัดค่าของความสำเร็จหรือความล้มเหลวได้อย่างแน่นอน ซึ่งจะแตกต่างจากภาคเอกชนที่สามารถจะวัดค่าความสำเร็จของโครงการในรูปของอัตราผลตอบแทนหรือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้เทคนิคของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนกับวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว จากการใช้ข้อมูลชุดเดียวกันจะให้ผลการตัดสินใจในการเลือกข้อเสนอเหมือนกัน ไม่ว่าจะใช้วิธีผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน หรือวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับตัวอย่างต่อไปเป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการก่อสร้างทางหลวงโดยใช้วิธีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 5.1

ถนนไฮเวย์นอกเมืองสายหนึ่งอยู่ในสภาพที่ชำรุด จำเป็นต้องมีการปรับพื้นผิวจราจรใหม่หรือสร้างทางสายใหม่ขึ้นมาแทน เส้นทางไฮเวย์ปัจจุบันจะแทนด้วย H ส่วนเส้นทางสายใหม่อีก 2 สาย ที่เชื่อมระหว่างจุดปลายทางจะมีระยะสั้นกว่า สมมติให้แทนด้วย J และ K สำหรับเส้นทางสาย K จะมีระยะทางสั้นกว่าสาย J แต่ต้องใช้เงินลงทุนในการเกรดดินและค่าก่อสร้างสูงกว่า ในการศึกษาเปรียบเทียบข้อเสนอสำหรับเส้นทางทั้ง 3 สายนี้ จะกำหนดให้มีระยะเวลา 20 ปีและI = 7% จากการประเมินค่าลงทุนเริ่มแรก สำหรับเส้นทางสาย H,J ,K จะเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 110,000บาท 700,00บาท และ 1,300,000 บาทตามลำดับ ถ้าเส้นทางสาย H ถูกยกเลิกไปในขณะนี้จะไม่ก่อให้เกิดมูลค่าซากสุทธิเหลืออยู่เลย และจะกำหนดให้ไม่มีมูลค่าซากเหลืออยู่เช่นเดียวกันถ้าใช้เส้นทางสายนี้ต่อไปอีก 20 ปี อย่างไรก็ตาม จากการประเมินอายุการใช้งานของเส้นทางสาย J หรือ K แล้วคาดว่าจะใช้ได้นานกว่า 20 ปี สำหรับในปลายปีที่ 20 เส้นทางสาย J จะมีมูลค่าซากเท่ากับ 300,000 บาท และ K เท่ากับ 350,000 บาทส่วนค่าซ่อมบำรุงเส้นทางซึ่งรัฐบาลจะเป็นผู้เสียค่าใช้จ่ายคาดว่าจะเสียค่าใช้จ่ายปีละ 35,000 บาท 21,000 บาท และ 17,000 บาท ตามลำดับ

จากการคาดคะเนการจราจรบนเส้นทางไฮเวย์ย่านนี้ คาดว่าเพิ่มขึ้นเป็นแบบอนุกรมอย่างสม่ำเสมอทุกๆ ปี ตลอด 10 ปี และจะหยุดอยู่ในระดับคงที่หลังจากนั้นจนถึงปีที่ 20 และไม่คาดคิด

ว่าปริมาณการจราจรจะมีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางไฮเวย์สำหรับเส้นทางสาย H ประเมินว่าผู้ที่ใช้ถนนจะเสียค่าใช้จ่ายในปีที่ 1 เท่ากับ 210,000 บาท ในปีที่ 2 เท่ากับ 220,000 บาท และเพิ่มขึ้น 10,000 บาททุกปี จนกระทั่งถึงปีที่ 10 หลังจากนั้นค่าใช้จ่ายต่อปีจะมีค่าคงที่ตลอดเท่ากับ 300,000 บาท สำหรับเส้นทางสาย J ซึ่งมีระยะสั้นกว่าสาย H จะเสียค่าใช้จ่ายในปีที่ 1 เท่ากับ 157,500 บาท และจะเพิ่มขึ้น 7,500 บาททุก ๆปี จนกระทั่งถึงปีที่ 10 หลังจากนั้นค่าใช้จ่ายต่อปีจะมีค่าคงที่เท่ากับ 225,000บาท สำหรับเส้นทางสาย K จะมีระยะสั้นกว่าสาย J ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายในปีที่ 1 เท่ากับ 136,500 บาท และเพิ่มขึ้นปีละ 6,500 บาท จนกระทั่งถึงปีที่ 10 หลังจากนั้นค่าใช้จ่ายต่อปีจะมีค่าคงที่เท่ากับ 195,000 บาท

วิธีแก้ปัญหา

การเปรียบเทียบจากมูลค่าปัจจุบัน

มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายต่าง ๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 โดยกำหนดให้ I = 7%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 มูลค่าปัจจุบันของเส้นทาง H , J และ K

	เส้นทาง H	เส้นทาง J	เส้นทาง K
เงินลงทุนลบด้วย PW ของมูลค่าซาก	110,000	622,000	1,158,000
PW ของค่าซ่อมบำรุง	371,000	223,000	180,000
PW ของค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ใช้ถนน	2,823,000	2,117,000	1,835,000
รวม	3,304,000	2,962,000	3,173,000

การเปรียบเทียบอนุกรมค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี จากตารางที่ 5.2 จะแสดงการเปรียบเทียบอนุกรมค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี โดยกำหนดให้ I = 7%

ตารางที่ 5.2 อนุกรมของค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี

	เส้นทาง H	เส้นทาง J	เส้นทาง K
เงินคืนทุน	10,400	58,000	109,300
ค่าซ่อมบำรุง	35,000	21,000	17,000
ค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปีของผู้ใช้ถนน	266,500	199,900	173,200
รวม	311,900	279,700	299,500

การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนจากการเพิ่มเงินลงทุน

สำหรับการหาค่า I โดยวิธีลองผิดลองถูก (trial and error) ดังที่กล่าวมาแล้ว จะแสดงให้เห็นว่าการเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางสาย J และ H โดยที่เส้นทางสาย J จะต้องใช้เงินลงทุนเพิ่มขึ้น 590,000 บาท และให้ผลตอบแทนในอัตรา 12.8 % อันมีผลเนื่องมาจากการออมจากค่าซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนนบวกกับมูลค่าซากที่เหลืออยู่ ซึ่งมีจำนวนมากพอที่จะชดเชยกับเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเส้นทางสาย J จะให้การประหยัดเหนือกว่าเส้นทาง H

ในทำนองเดียวกันสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางสาย K กับ J จะเห็นว่าการเพิ่มเงินลงทุนของเส้นทางสาย K ที่มากกว่า J จะให้ผลตอบแทนเท่ากับ 3% ซึ่งน้อยกว่าค่า I ที่กำหนดคือ 7% ดังนั้นการเพิ่มเงินลงทุน 600,000 บาทสำหรับเส้นทาง K จึงให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจไม่เป็นที่น่าพอใจ จากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีดังที่กล่าวมาแล้ว จะให้ผลสรุปที่เหมือนกันคือเลือกเส้นทางสาย J เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางสาย H หรือ K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาส่วนเกินของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน

สำหรับการแก้ปัญหาในตัวอย่างนี้ จะกำหนดให้การออมของค่าใช้จ่ายจากผู้ใช้ถนนเปรียบเสมือนเป็นผลประโยชน์ ส่วนเงินลงทุนเริ่มแรกและค่าใช้จ่ายต่อปีสำหรับค่าซ่อมบำรุงจะถูกกำหนดเสมือนเป็นเงินลงทุน สำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบอาจจะใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันหรือวิธีมูลค่าเทียบเท่ารายปี

สำหรับการใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันในการเปรียบเทียบ จะแทนเทอมผลประโยชน์ด้วย B และเงินลงทุนด้วย C

เปรียบเทียบเส้นทางสาย J กับ H

B = 2,823,000 - 2,177,000 = 706,000

C = (622,000 + 223,000) - (110,000 + 371,000) = 364,000

B - C = +342,000

เปรียบเทียบเส้นทางสาย K กับ J

B = 2,177,000 - 183,500 = 282,000

C = (1,158,000 + 180,000) - (622,000 - 223,000) = 493,000

B - C = -211,000

การใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันจะแสดงให้เห็นว่า ควรเลือกเส้นทาง J เหมือนกับการคำนวณจากตารางที่ 5.1

การใช้วิธีมูลค่าเทียบเท่ารายปี

เปรียบเทียบเส้นทาง J กับ H

B = 266,500 - 199,900 = 66,600

C = (58,800 + 21,000) - (10,400 + 35,000) = 34,400

B - C = 32,200

การเปรียบเทียบเส้นทางสาย K กับ J

B = 199,900 - 173,200 = 26,700

C = (109,300 + 17,000) - (58,800 + 21,000) = 46,500

B - C = -19,800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของการคำนวณสำหรับเส้นทางทั้ง 3 สาย จะให้ค่าแตกต่างเหมือนกับการคำนวณในตารางที่ 5.2

การคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินทุน

สำหรับการคำนวณอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อเงินทุนของโครงการผู้ที่ทำการวิเคราะห์ส่วนมาก มักจะใช้อัตราส่วนระหว่างผลประโยชน์กับเงินลงทุนที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า B/C > 1 หรือ

B - C > 0 จากการใช้วิธีดังกล่าวนี้กับตัวอย่างที่ 5.1 ก็จะให้ผลเหมือนกับการคำนวณด้วยวิธีมูลค่าเทียบเท่ารายปี หรือมูลค่าปัจจุบัน

เปรียบเทียบเส้นทางสาย J กับ H

$$B/C = \frac{706{,}000}{364{,}000} \text{ หรือ } \frac{66{,}600}{34{,}400} = 1.94$$

เปรียบเทียบเส้นทางสาย K กับ J

$$B/C = \frac{282{,}000}{493{,}000} \text{ หรือ } \frac{26{,}700}{46{,}500} = 0.57$$

การวิเคราะห์โดยวิธีอัตรา B/C จะให้ผลของการเลือกเหมือนกับการวิเคราะห์แบบอื่น ๆ คือจะเลือกเส้นทางสาย J

ตัวอย่างที่ 5.2

การวิเคราะห์และการเลือกข้อเสนอโดยใช้อัตราผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน สำหรับโครงการการป้องกันน้ำท่วม

จากข้อมูลของการเกิดน้ำท่วมในปีที่ผ่าน ๆ มา ทำความเสียหายต่อทรัพย์สินของราษฎรในส่วนที่เกิดน้ำท่วม (ในภาคเหนือ) ดังนั้นรัฐบาลจึงได้ริเริ่มโครงการป้องกันน้ำท่วมขึ้นโดยกำหนดโครงการไว้ 2 แบบคือ แบบแรกจะใช้วิธีการขุดคลอง (CI) และแบบที่สองจะเป็นการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ (D&R) สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์จะกำหนดให้โครงการมีอายุ 50 ปี หลังจากนั้นมูลค่าซากของทรัพย์สินจะไม่มีค่าเหลืออยู่เลย และอัตราดอกเบี้ย I = 6%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เกิดน้ำท่วมและไม่มีการป้องกัน (NFC) คาดว่าจะเกิดความเสียหาย 480,000 บาท ถ้ามีการขุดคลองจะสามารถลดความเสียหายลงเหลือ 105,000 บาท ส่วนข้อเสนอ D&R จะลดความเสียหายลงเหลือ 55,000 บาท (สำหรับความถี่ของการเกิดน้ำท่วมและขนาดของความรุนแรง ตลอดจนความเสียหายที่เกิดขึ้น จะใช้หลักการของความน่าจะเป็นของการเกิดมาวิเคราะห์ซึ่งจะได้ค่า เช่น 480,000 105,000 และ 55,000 บาท ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นค่าอนุกรมรายปี)

ข้อเสนอสำหรับการขุดคลอง ต้องใช้เงินลงทุนเริ่มแรก 2,900,000 บาทและประมาณว่าจะเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่อปีเท่ากับ 35,000 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งสองอย่างนี้รัฐบาลจะเป็นผู้รับผิดชอบ

ข้อเสนอสำหรับการสร้างเขื่อนและสร้างอ่างเก็บน้ำต้องใช้เงินลงทุนเริ่มแรก 5,300,000 บาท และประมาณว่าจะเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและซ่อมบำรุงเท่ากับ 40,000 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งสองอย่างนี้รัฐบาลจะเป็นผู้รับผิดชอบ ข้อเสนอดังกล่าวนี้ก่อให้เกิดผลในทางตรงกันข้ามกับการอนุรักษ์ทรัพยากรทางธรรมชาติ ซึ่งก่อให้เกิดการเสียประโยชน์ กล่าวคือ การสร้างเขื่อนจะเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียรายได้จากการประมงซึ่งคิดเป็นเงินเท่ากับ 28,000 บาทต่อปี ส่วนการสร้างอ่างเก็บน้ำจะทำให้สูญเสียที่ดินเพื่อการเพาะปลูกทางการเกษตร คิดเป็นเงิน 10,000 บาทต่อปี

วิธีแก้ปัญหา

สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนประโยชน์ต่อเงินลงทุน จะพิจารณาให้อยู่ในเทอมของผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายต่อปีเพราะว่า ตัวเลขต่าง ๆ ที่กำหนดให้อยู่ในเทอมของค่าใช้จ่ายต่อปีอยู่แล้ว

ในการเปรียบเทียบข้อเสนอระหว่าง CI กับ NFC ผลประโยชน์ต่อปีที่เกิดขึ้นคือการลดความเสียหายจากน้ำท่วม สำหรับค่าใช้จ่ายต่อปีของ CI จะประกอบด้วยค่าเงินคืนทุนและค่าซ่อมบำรุง ซึ่งจะหาได้ดังนี้

$B(CI - NFC) = 480,000 - 105,000 = 375,000$

$C(CI - NFC) = 2,900,000\ (A/P\ 6,50) + 35,000 = \underline{219,000}$

$B - C = 156,000$

$B = 375,000 = 1.71$

$C \quad 219,000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเปรียบเทียบระหว่าง D&R กับ CI ผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้นต่อปี ก็คือการลดความเสียหายจากน้ำท่วม ลบด้วยการเสียผลประโยชน์จากการประมงและการกสิกรรมรวมกัน นั่นก็คือค่าใช้จ่ายรายปีที่เกิดจากผลต่างของเงินลงทุนที่เพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการดำเนินงานและค่าซ่อมบำรุง

B(D&R - CI) = (105,000 - 55,000) - (28,000+10,000) = 12,000

C(D&R - CI) = [5,300,000(A/P 6,50) + 40,000]

- [2,900,000(A/P 6,50) + 35,000] = 157,000

B - C = - 145,000

B = 12,000 = 0.08

C 157,000

จากกฎเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นว่า B-C > 0 หรือ B/C > 1 จะพิสูจน์ได้ว่าการเลือกข้อเสนอสำหรับการขุดคลอง จะเป็นการประหยัดกว่าการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

การวิเคราะห์เงินลงทุนต่อประสิทธิผล

การลงทุนภาคเอกชนจะเกี่ยวกับการทำกำไรขององค์กร ซึ่งสามารถจะวัดความสำเร็จในรูปของเงินตรา ส่วนการลงทุนภาครัฐบาลอาจจะวัดโดยใช้ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน แต่ในบางครั้งก็ไม่อาจจะหาผลประโยชน์ที่ได้รับในรูปของเงินได้ เช่น ตัวอย่างของการประเมินผลด้านการจัดหาจัดซื้ออาวุธ โครงการสาธารณสุขและพลานามัยของสังคม ตลอดจนการควบคุมมลภาวะในกรีต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมานี้ จะใช้วิธีการวัดที่ไม่ใช่อยู่ในรูปของเงิน ที่เรียกว่า การวิเคราะห์เงินลงทุนต่อประสิทธิผล ซึ่งสามารถจะใช้เป็นแนวทางเพื่อการตัดสินในเชิงปริมาณของฝ่ายบริหาร

เงินลงทุนในกรณีเช่นนี้ จะรวมถึงการวิจัย การพัฒนา การจัดซื้อจัดหา การดำเนินการ การซ่อมบำรุง การเปลี่ยนทดแทน ตลอดช่วงการใช้งานของทรัพย์สิน โดยปกติแล้ว จะแสดงค่าใช้จ่ายต่าง ในรูปของค่าเงินปัจจุบัน หรือค่าใช้จ่ายเทียบเท่ารายปี ในระยะเวลา (ปี) ที่กำหนดไว้มีอยู่บ่อยครั้งที่กำหนดให้มูลค่าปัจจุบันอยู่ในเทอมของค่าใช้จ่ายในช่วงวงรอบเวลาของอายุการใช้งาน

(life - cycle cost)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 5.3

การวิเคราะห์ทางเลือกของข้อเสนอเกี่ยวกับมลภาวะของอากาศว่าควรมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมลภาวะจากอากาศ เพื่อลดจำนวนกำมะถันไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากสถานีกำเนิดไฟฟ้าถ่านหินที่ชายฝั่งแห่งหนึ่ง ระบบที่ติดตั้งจะต้องมีความสามารถลดกำมะถันไดออกไซด์จากระดับสูงสุดที่บันทึกไว้ซึ่งเท่ากับ 23 ส่วนในล้านส่วน ลงเหลือ 4 ส่วนในล้านส่วนระยะทางที่ทำการวัดจะอยู่ห่างจากสถานี 1/4 ไมล์ ในทิศทางตามลม ช่วงระยะเวลาของการวัดเท่ากับ 8 ชั่วโมง

มีบริษัทที่ได้รับความเชื่อถือในเรื่องของการออกแบบ การติดตั้งตลอดจนการกำจัดของเสีย เสนอเข้าประมูล 3 รายด้วยกัน

ข้อเสนอของแต่ละบริษัทที่เข้าประมูล จะต้องเข้าหลักเกณฑ์ของค่าใช้จ่ายในช่วงวงรอบอายุการใช้งาน 20 ปี อัตราดอกเบี้ย 12% และอายุการใช้งานเท่ากับ 20ปี ค่าใช้จ่ายที่ประมูล จะต้องอยู่ในรูปของมูลค่าปัจจุบันตลอดอายุการใช้งาน จากข้อมูลของการประมูลที่กำหนดให้มีดังนี้

บริษัท	เงินลงทุนเริ่มแรก (บาท)	ค่าใช้จ่ายในช่วงวงรอบอายุการใช้งาน (บาท)
A	118,000	268,000
B	96,000	294,000
C	136,000	312,000

บริษัท A และ B รับประกันว่าระบบของเขาสามารถกำจัดกำมะถันไดออกไซด์ ให้เหลือเพียง 4 ส่วนในล้านส่วน ในช่วงเวลา 8 ชั่วโมง ส่วนบริษัท C รับประกันว่าระบบของเขาจะลดกำมะถันไดออกไซด์ให้เหลือเพียง 2 ส่วนในล้านส่วน

ถึงแม้ว่าเงินลงทุนเริ่มแรกของบริษัท A สูงกว่า B แต่ค่าใช้จ่ายในช่วงวงรอบอายุการใช้งานจะต่ำกว่า แต่ระบบของบริษัททั้งสองจะมีระดับการป้องกันที่วัดในเทอมของประสิทธิผลเท่ากัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าราคาประมูลของบริษัท A จะเป็นที่น่าสนใจมากกว่าบริษัท B

การเลือกระหว่างการประมูลของบริษัท A กับ C ไม่อาจจะตัดสินใจได้อย่างเด่นชัดทั้งนี้เพราะไม่รู้ราคาตลาด ของระบบที่มีลักษณะที่คล้าย ๆ กับบริษัท C ที่รับประกันว่ามีประสิทธิผลสูงกว่า การวิเคราะห์ในกรณีเช่นนี้ จำเป็นต้องอาศัยหลักการวิเคราะห์ ผลประโยชน์ต่อเงินลงทุนมาประยุกต์ใช้ คือจะต้องพิจารณาถึงประสิทธิผลที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายใน

ช่วงวงรอบอายุการใช้งาน จากการเปรียบเทียบระหว่างบริษัท A กับ C จะเห็นว่าประสิทธิผลที่สูงขึ้น 2 ส่วนในล้านส่วนเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 44,000 บาท ถ้ายอมรับค่าใช้จ่ายนี้ได้หรือคาดการณ์ว่ามาตรฐานต่อไปในอนาคตจำเป็นจะต้องลดจำนวนกำมะถันไดออกไซด์ลงอีก การประมูลของบริษัท C ก็น่าจะยอมรับได้

1.6 ค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคา (depreciation) เข้ามาเกี่ยวข้องกับธุรกิจและการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์ คือ ทรัพย์สิน เช่น เครื่องจักรมูลค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งจะเป็นการเสื่อมทางกายภาพ เนื่องจากการใช้งาน โดยที่ขนาดของค่าเสื่อมราคานั้นเราจะทำการคำนวณไว้ก่อนล่วงหน้าแล้ว ตามความเป็นจริงเราไม่สามารถที่จะคำนวณหาค่าเสื่อมราคาไว้ล่วงหน้าได้ จนกว่าทรัพย์สินนั้นจะถูกปลดออกจากการใช้งาน ดังนั้นค่าเสื่อมราคาที่หาได้จากการศึกษาเศรษฐศาสตร์ จึงเป็นค่าจากการกะประมาณเท่านั้น

<u>นิยามของมูลค่า</u>

เนื่องจากการเสื่อมราคาจะถูกนิยามถึงการลดลงในมูลค่า ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาความหมายของเทอมนี้ ซึ่งมีอยู่หลายความหมายด้วยกัน ในแง่ทางการค้า (commercial) อาจจะให้นิยามที่ดีที่สุดในเทอมของมูลค่าคือค่าปัจจุบัน (present value) ของผลกำไรที่จะได้รับในอนาคตทั้งหมดจากการเป็นเจ้าของทรัพย์สินนั้น แต่อย่างไรก็ดีมันเป็นการยากที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติจริง โดยเฉพาะการคำนวณผลกำไรล่วงหน้าเป็นระยะเวลานาน ๆ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก การวัดมูลค่าที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่หลายแบบด้วยกัน ดังคำนิยามที่จะกล่าวต่อไปนี้

มูลค่าตลาด (market value) เป็นการวัดมูลค่าที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปคือ ผู้ซื้อ และผู้ขายต่างก็มีความเต็มใจที่จะซื้อและขายทรัพย์สิน โดยที่ทั้งสองฝ่ายจะได้รับผลประโยชน์เท่าเทียมกันและเป็นไปโดยไม่มีการบังคับ

มูลค่าตามบัญชี (book value) เป็นมูลค่าของทรัพย์สินที่แสดงไว้ในบันทึกทางบัญชี (accounting record) ซึ่งจะมีมูลค่าเท่ากับเงินทุนเริ่มแรกของทรัพย์สิน ลบด้วยค่าเสื่อมราคาที่คิดรวมเข้าไปเสมือนเป็นค่าใช้จ่าย

มูลค่าซากหรือมูลค่าขายต่อ (salvage or resale value) มูลค่าซากจะเป็นราคาของทรัพย์สินที่ขายต่อไปอีกทอดหนึ่ง (second hand) โดยที่ทรัพย์สินนั้นยังคงใช้งานได้ต่อไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลค่าเศษเหล็ก (scrap value) การพิจารณาให้ทรัพย์สินมีค่าเป็นเศษเหล็กในกรณีที่ทรัพย์สินนั้นไม่สามารถจะใช้ประโยชน์ได้อีกต่อไป และจะกำหนดให้มีมูลค่าเป็นศูนย์

จุดประสงค์ของค่าเสื่อมราคา

การศึกษาโครงการทางวิศวกรรมโดยพิจารณาถึงผลของการเสื่อมราคาในทรัพย์สินหรือเครื่องจักร เนื่องจากว่าทรัพย์สินจะมีมูลค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในขั้นต้นเราพิจารณาการเสื่อมราคาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. จะต้องมีการคืนทุนสำหรับการลงทุนในทรัพย์สินทางกายภาพ

2. จะต้องให้ค่าเสื่อมราคา ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่ง คิดรวมเข้ากับค่าใช้จ่ายในการผลิตหรือการให้การบริการ เพื่อการคำนวณหาผลกำไรสุทธิและการเสียภาษีรายได้

คุณลักษณะของวิธีค่าเสื่อมราคา

โดยอาศัยหลักของการจัดการ สามารถอธิบายถึงลักษณะของวิธีค่าเสื่อมราคาที่ต้องการได้ดังนี้

1. จะต้องได้เงินคืนทุนกลับมาอย่างรวดเร็วที่สุดและถูกต้องแน่นอน ตามหลักความจริงทางเศรษฐศาสตร์ ถ้าเป็นไปได้มูลค่าซากที่ได้จากการคำนวณควรจะมีค่าตรงกับค่าที่เป็นจริง

2. วิธีที่ใช้ต้องไม่ยุ่งยากซับซ้อนจนเกินไป

3. จะต้องแน่ใจว่ามูลค่าตามบัญชีต้องมีค่าไม่มากกว่ามูลค่าที่เป็นจริง ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

4. จะต้องเป็นที่ยอมรับของกรมสรรพากร

เพื่อให้เข้าใจการใช้วิธีค่าเสื่อมราคาแบบต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องตลอดจนผลที่เกิดขึ้นจากการใช้สูตรในการศึกษาเศรษฐศาสตร์ โดยอาศัยข้อมูลจากตัวอย่างที่ 6.1

วิธีค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง

การคำนวณค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงจะกำหนดให้ว่า การสูญเสียในมูลค่าของทรัพย์สินจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอายุของทรัพย์สิน ดังนั้นการตั้งชื่อของวิธีการนี้จึงเป็นไปตามความสัมพันธ์ในลักษณะของเส้นตรง และสัญลักษณ์ที่ใช้ในการหาค่าต่าง ๆ จะกำหนดไว้ดังนี้

n คืออายุการใช้งานของทรัพย์สิน (ปี)

p คือราคาเริ่มแรก

dA คือค่าเสื่อมราคาในปีที่ A (1 <= A <= n)

DA คือค่าเสื่อมราคารวมในปลายปีที่ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BVA คือมูลค่าตามบัญชีในปลายปีที่ A

F คือมูลค่าทรัพย์สินในปีสุดท้าย

ดังนั้น $d = \frac{P - F}{\quad}$ ---------- 6.1

$$DA = \frac{A(P - F)}{n}$$ ---------- 6.2

$$BVA = P - \frac{A(P - F)}{n}$$ ---------- 6.3

โดยการแทนค่าต่าง ๆ ที่รู้แล้วจากตัวอย่างที่ 6.1 ลงในสมการจะได้

$$d = \frac{1,200 - 200}{10} = 100 \text{ บาท/ปี}$$

$$D6 = \frac{6(1,200 - 200)}{10} = 600 \text{ บาท}$$

$$BV6 = 1,200 - \frac{6(1,200 - 200)}{10} = 600 \text{ บาท}$$

วิธีค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรงนี้โดยปกติจะเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และการคิดค่าเสื่อมราคาจะเท่ากันอย่างสม่ำเสมอ ค่าเสื่อมราคาที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเหมือนกับค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นค่าโดยประมาณ เช่นเดียวกับอายุของการเสื่อมราคา ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้สูตรที่ยุ่งยากและซับซ้อนจนเกินไป

วิธีค่าเสื่อมราคาแบบลดส่วน

วิธีค่าเสื่อมราคาแบบลดส่วนนี้อาจมีชื่อเรียกได้หลายแบบ เช่น ค่าเสื่อมราคาแบบเปอร์เซ็นต์คงที่ (constant percentage depreciation) หรือแบบแม็ตธีสัน (matheson) ค่าเสื่อมราคาที่เป็นเหมือนค่าใช้จ่ายในแต่ละปีนี้ จะมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนเปอร์เซ็นต์คงที่กับมูลค่าตามบัญชีเมื่อต้นปีนั้น ๆ อัตราส่วนของค่าเสื่อมราคาที่ปีใด ๆ กับมูลค่าตามบัญชีเมื่อต้นปีนั้น ๆ จะมีค่าคงที่เท่ากันตลอดอายุการใช้งานของทรัพย์สิน และกำหนดให้เท่ากับ k ดังนั้นค่าเสื่อมราคาระหว่างปีแรกคือ

$$d_1 = P * K$$ ---------- 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเสื่อมราคาสำหรับปีที่ A

$$d_A = (P_{A-1}) * K \quad \text{---------- 6.5}$$

มูลค่าซากในปีที่ n

$$F = P(1-k)^n \quad \text{---------- 6.6}$$

มูลค่าตามบัญชีที่เวลา A ปี

$$BV_A = P(1-k) = P(F/P)\ A/n \quad \text{---------- 6.7}$$

แต่ $BV_n = F$ ---------- 6.8

$$k = 1 - \sqrt[n]{F/P} = 1 - \quad \text{---------- 6.8}$$

วิธีค่าเสื่อมราคาแบบลดส่วนเป็นวิธีที่ค่อนข้างจะง่ายต่อการนำไปใช้ แต่ก็มีจุดอ่อนอยู่ 2 ประการคือ ค่าเสื่อมราคาที่เกิดขึ้นในแต่ละปีจะมีค่าแตกต่างกันจึงทำให้การคำนวณยุ่งยากขึ้น ประการที่สอง สูตรนี้จะใช้ได้เฉพาะทรัพย์สินที่มีการเสื่อมราคาไม่หมด ความยุ่งยากดังกล่าวอาจจะไม่เป็นปัญหามากนัก แต่ในทางปฏิบัติแล้วการกำหนดค่า k เป็นสิ่งที่ทำได้ไม่ง่ายนัก อย่างไรก็ตามเราอาจจะใช้ค่า k จากข้อแนะนำของกรมสรรพากรก็ได้โดยที่กรมสรรพากรจะแบ่งทรัพย์สินออกเป็นแต่ละประเภท และระบุในเทอมของอัตราการเสื่อมแบบเส้นตรงซึ่งเท่ากับ 1/n (สำหรับมูลค่าซากเป็นศูนย์)

ถ้าหากใช้อัตราลดเป็น 2 เท่าของเส้นตรง เราเรียกวิธีนี้ว่า วิธีการเสื่อมราคาแบบลดส่วนทวีคูณ (double declining balance depreciation method)

การแก้ปัญหาสำหรับตัวอย่างที่ 6.1 โดยใช้สมการ 6.7 และ 6.8 จากวิธีค่าเสื่อมราคาแบบส่วนลด จะได้

$$k = 1 - \quad = 0.1641$$

$$BV_5 = 1200\ (200/1,200)^{5/10} = 489.7$$

$$BV_6 = 1200\ (200/1,200)^{6/10} = 409.4$$

$$d_6 = 489.7 * 0.1641 = 80.3$$

ถ้าใช้วิธีค่าเสื่อมราคาแบบลดส่วนทวีคูณจะได้

$$k = 2/10 = 0.2$$

$$BV_5 = 1,200\ (1 - 0.2)^5$$

$$= 393.2$$

$$BV_6 = 1200\ (1 - 0.2)^6$$

$$= 314.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d_6 = 393.2 * 0.2

= 78.6

มูลค่าที่หาได้จากวิธีนี้จะมีค่าใกล้เคียงกับราคาขายต่อมากกว่าวิธีของค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง โดยเฉพาะทรัพย์สินที่เป็นรถยนต์ซึ่งรูปแบบและสไตล์จะเป็นแฟกเตอร์ที่สำคัญต่อการกำหนดมูลค่าซาก อย่างไรก็ตามทรัพย์สินในทางอุตสาหกรรมอีกเป็นจำนวนมากที่ไม่สามารถจะใช้วิธีนี้คำนวณหาค่าเสื่อมราคาได้

วิธีค่าเสื่อมราคาแบบผลบวกตัวเลข

การหาค่าเสื่อมราคาที่เกิดขึ้นในแต่ละปีโดยวิธีผลบวกตัวเลข (โดยปกติจะแสดงด้วยสัญลักษณ์ SYD) จะกำหนดด้วยค่าตัวเลข ที่สอดคล้องกับจำนวนเลขในแต่ละปีของอายุการใช้งานแต่อยู่ในตำแหน่งที่สลับกัน

ค่าแฟกเตอร์การเสื่อมราคาสำหรับปีใด ๆ ก็คือ ค่าตัวเลขที่สลับที่กันของปีนั้นหารด้วยผลบวกของค่าตัวเลขที่หาไว้ก่อนแล้ว ดังตัวอย่างของทรัพย์สินที่มีอายุการใช้งาน 5 ปี ค่าแฟกเตอร์การเสื่อมราคา SYD จะหาได้ดังนี้

ปี	จำนวนปีที่มีตำแหน่งสลับที่กัน (ค่าตัวเลข)	SYD แฟกเตอร์การเสื่อมราคา
1	5	5/15
2	4	4/15
3	3	3/15
4	2	2/15
5	1	1/15
ผลบวกค่าตัวเลข	= 15	

การเสื่อมราคาสำหรับปีใด ๆ ก็คือ ค่าผลคูณระหว่างแฟกเตอร์การเสื่อมราคาแบบ SYD สำหรับปีนั้นๆกับมูลค่าเสื่อมราคาคือ P - F ดังนั้นสมการของค่าเสื่อมราคาสำหรับปีที่ A ใด ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d_A = (P - F) * \frac{2(n - A + 1)}{n(n + 1)} \quad \text{---------- 6.9}$$

โดยการแทนค่าต่าง ๆ ที่รู้แล้วจากตัวอย่างที่ 6.1 ลงในสมการของค่าเสื่อมราคาแบบ SYD จะได้ผลดังนี้

ผลบวกค่าตัวเลข = 55

แฟกเตอร์การเสื่อมราคาในปีที่ 6 = 5/55

$$d_6 = (1,200 - 200)(5/55)$$

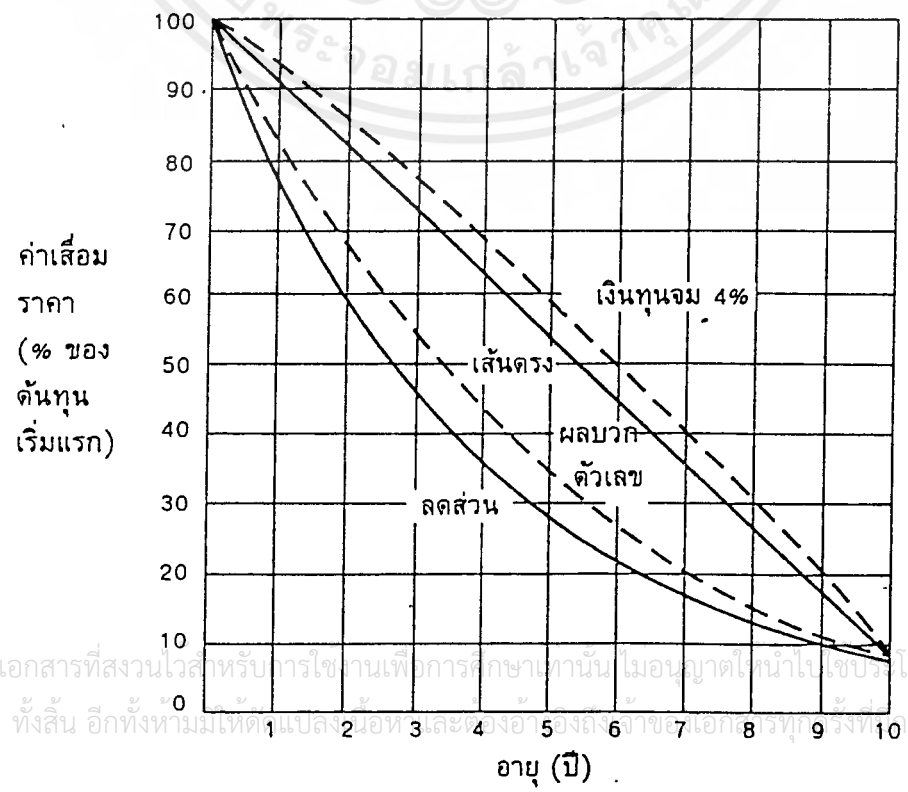
$$= 90.9$$

ค่าเสื่อมราคารวมในปลายปีที่ 6 จะเท่ากับ 45/55 ของค่าเสื่อมราคาทั้งหมด

$$BV_6 = 1,200 - (1,200 - 200)\ 45/55 = 381.8$$

รูปที่ 6.1 จะเห็นว่าวิธีผลบวกตัวเลข SYD ก็เหมือนกับวิธีแบบลดส่วนคือ จะมีการเสื่อมราคารวดเร็วมากในระหว่างปีแรก ๆ ของอายุทรัพย์สิน วิธีผลบวกตัวเลขนี้สามารถจะใช้ได้กับทรัพย์สินที่มีการเสื่อมราคาจนมีค่าเป็นศูนย์ และการใช้งานก็ง่ายกว่าวิธีแบบลดส่วน นอกจากนั้น วิธีนี้ยังมีแนวโน้มที่จะลดโอกาสของมูลค่าตามบัญชี ที่จะมีค่าเกินมูลค่าที่เป็นจริงหรือมูลค่าขายต่อ ณ เวลาใด ๆ อย่างไรก็ตามการใช้วิธีผลบวกตัวเลข หรือวิธีค่าเสื่อมราคาอัตราเร่งอื่น ๆ ซึ่งจะมีผลในการคำนวณผลกำไรของบริษัทช่วงปีต้น ๆ ของอายุทรัพย์สิน และมีผลต่อการหักภาษีรายได้ในขณะเดียวกัน

รูปที่ 6.1 การเปรียบเทียบมูลค่าตามบัญชีที่ได้จากสูตรค่าเสื่อมราคาต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การประเมินค่าโครงการด้านการเงิน และเศรษฐกิจ

2.1 ค่าใช้จ่ายของโครงการ

ค่าใช้จ่ายตั้งแต่ริเริ่มโครงการไปจนครบอายุของโรงไฟฟ้า ประกอบด้วย

1. ก่อนตัดสินใจที่จะเริ่มโครงการ (Pre-project activities)
    1.1 ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Feasibility study)
    1.2 สำรวจสถานที่ (Site survey)
2. ช่วงเตรียมการ
    2.1 การคัดเลือกสถานที่ (Site selection)
    2.2 เตรียมรายละเอียดต่างๆ (Preparation of specifications)
    2.3 เตรียมการประมูล (Bid preparation)
    2.4 ทำการประมูล (Bid evaluation)
    2.5 การลงนามในสัญญา (Contract negotiation)
    2.6 วิศวกรโครงการ (Projecct engineering)
    2.7 การขออนุญาต (Licence application activities)
    2.8 จัดหาวัสดุ และอุปกรณ์ (Procurement of equipment and materials)
3. ค่าลงทุนหลักในการก่อสร้าง (Capital investment costs)
    3.1 ค่าใช้จ่ายทางตรง ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับที่ดิน โครงสร้างและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ซึ่งมีทั้งค่าวัสดุ อุปกรณ์ รวมทั้งค่าแรง รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก
    3.2 ค่าใช้จ่ายทางอ้อม ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ค่าบริหารการก่อสร้าง และอื่นๆ นอกเหนือจากค่าใช้จ่ายทางตรง รายละเอียดอยู่ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ดอกเบี้ยระหว่างการก่อสร้าง (Interest during construction or IDC) ขึ้นอยู่กับอัตราการการกู้ยืม ปริมาณการกู้ยืม และการชดใช้ สำหรับในรายงานฉบับนี้ จ่ายเงินงวดแรก 10% ส่วนที่เหลืออีก 90% เป็นเงินกู้ โดยจะเริ่มตั้งแต่เดือนที่ 19 (จากทั้งหมด 72 เดือน) ดังนี้

เดือนที่	เปอร์เซ็นเงินกู้
19-24	2.0
25-42	3.0
43-46	2.0
47-53	1.0
72	10.0

ส่วนการชดใช้กำหนดให้ชดใช้ 20 งวด งวดละ 6 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่ปลายเดือนที่ 78 (นั่นคือการก่อสร้างเสร็จสิ้นไปเป็นเวลา 6 เดือน)

5. ค่าปฏิบัติการ และบำรุงรักษา (Operation and maintenance costs)

5.1 เงินเดือนและค่าจ้างรายวัน (Wages and salaries of operating, maintenance, and administration staffs) เกิดขึ้นในช่วงที่ทำการเดินเครื่องโรงไฟฟ้า รวมถึงค่าตอบแทนพิเศษที่ต้องเสี่ยงอันตราย (Fringe benefits)

5.2 ค่าวัสดุและอุปกรณ์ในการเดินเครื่องเชิงพาณิชย์ (Consumable operating materials and equipment)

5.3 ค่าซ่อมแซม (Repair costs including interim replacements)

5.4 ค่าเบี้ยประกัน (Nuclear liability plus property insurance)

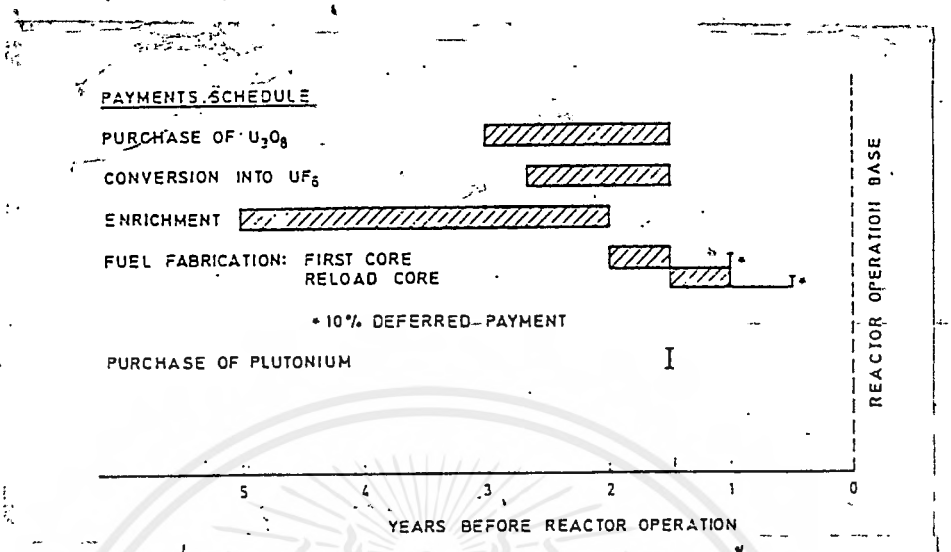
5.5 ค่าบริการต่างๆ (Purchased services)

5.6 Capital charge on working capital

5.7 อื่นๆ (Undistributed costs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่าวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์



รูปที่ 7.2 Pre-irradiation payment schedule สำหรับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

จากรูปแสดงให้เห็นถึงช่วง Pre-irradiation ส่วนช่วง Post-irradiation สมมติให้เหมือนกับช่วง Pre-irradiation และ ใช้เวลาขนส่งทางเรือ 9 เดือน กระบวนการ Reprocessing และสกัดพลูโตเนียมจากเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วอีก 12 และ 13 เดือน ตามลำดับ และสกัดยูเรเนียม ใช้เวลา 15 เดือน

7. ค่าบริการในการเก็บรักษากากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

จากบทความเรื่อง "การเก็บกากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ที่ใช้แล้ว" โดย ดร.นงลักษณ์ สะวานนท์ มีรายละเอียดดังนี้

7.1 การขนส่งไปยังสถานเก็บกากโดยรถบรรทุก $ 8,000-20,000 /MTU

7.2 การรับของ การบรรจุกล่อง และการวางใน Caisson $ 27,000 /MTU

7.3 ราคาของ Caisson $ 14,000 /MTU

7.4 ค่าเก็บรักษาต่อปี $ 500 /MTU

7.5 ค่าบริการ $ 1,000 /MTU

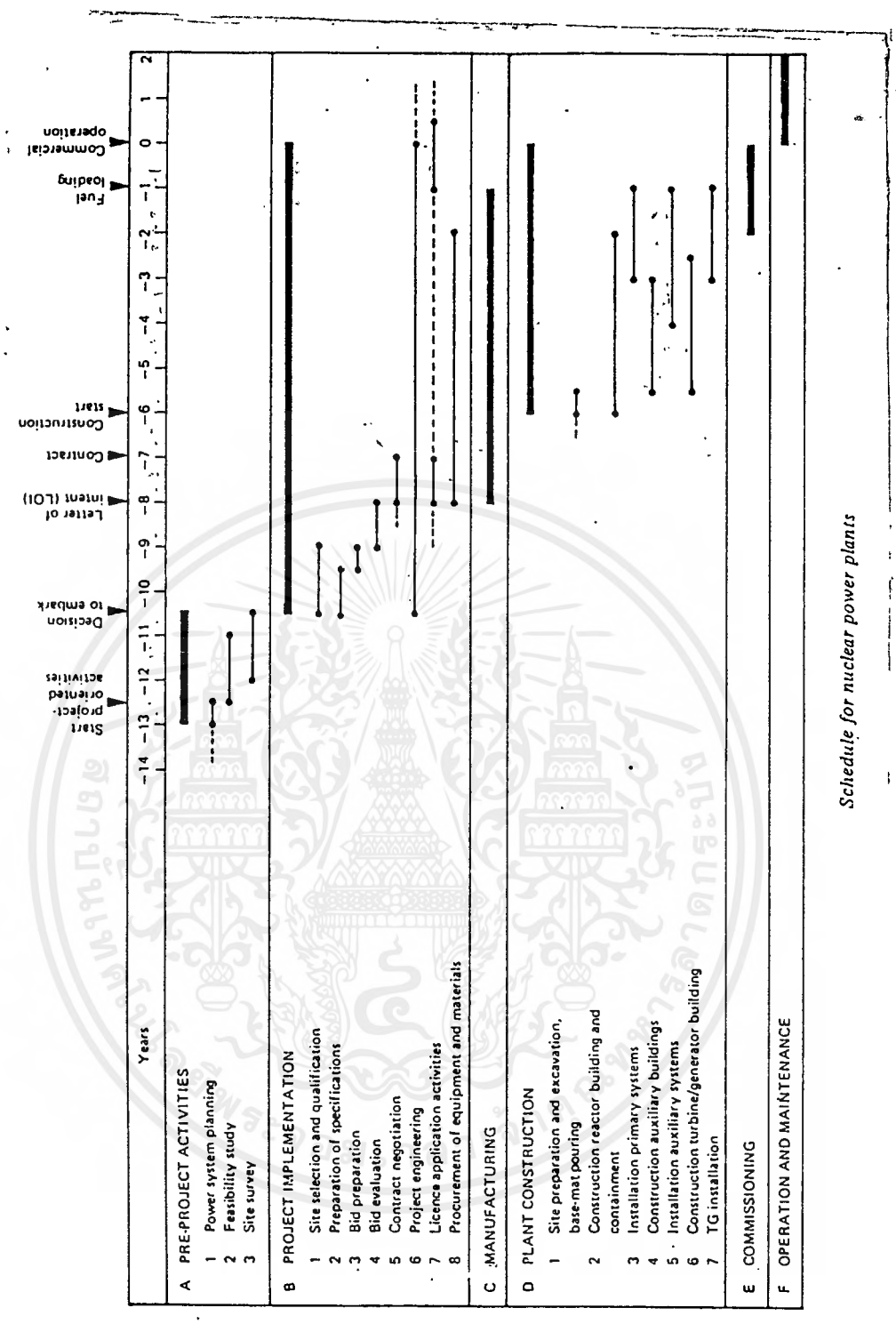
7.5 ค่าเก็บรักษา 15 ปี $ 51,000

รวมทั้งหมด(เฉลี่ยจาก 15 ปี)ประมาณ 1.38 ล้านเหรียญสหรัฐฯต่อปี (ในปี ค.ศ. 1976) คิดเป็น 193.74 ล้านบาทต่อปี (ในปี พ.ศ. 2543)

8. ค่ารื้อถอน

ประมาณ 10% ของค่าก่อสร้าง ซึ่งทำการแบ่งเงินจำนวนนี้จากรายได้ในการจำหน่ายกระแสไฟฟ้า ทุกๆปีตั้งแต่เริ่มดำเนินการเดินเครื่องเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Schedule for nuclear power plants

รูปที่ 7.3 ตารางเวลาสำหรับการดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ต่อไปเป็นรายละเอียดเชิงตัวเลข ที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายและรายได้ของโครงการเชิงตัวเลข

ECONOMIC PARAMETERS FOR ECONOMIC BID EVALUATION

From "Economic evaluation of bids for nuclear power plants"

Start of construction site	January 2000
Start of commercial operation	January 2006
Economic lifetime	30 years

Yearly capacity factors:

1st year	0.6
2nd year	0.65
3rd year	0.7
4th to 15th years	0.75
16th year and over:dropping linearly at a slope of 0.02/a to aminimum of 0.45 in 30th year	

To calculate IDC and loan repayment

Escalation rate:

January 2000 - January 2006	8% per annum
After January 2006	6% per annum

Discount rates:

1) real (excluding inflation)	8% per annum
2) nominal January 2000 - January 2006	16.64% per annum
after January 2006	14.48% per annum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าลงทุนหลัก (Capital investment costs)

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ค่าใช้จ่าย (พันเหรียญสหรัฐ)	พ.ศ. 2518 (ล้านบาท)	พ.ศ. 2543 (ล้านบาท)
	DIRECT COSTS			
20	land and land rights	1000	20.5	140.39374
21	structures and facilities	61083	1252.2015	8575.6709
22	reactor plant equipment	88693	1818.2065	12451.942
23	turbine plant equipment	89183	1828.2515	12520.735
24	electric plant equipment	33485	686.4425	4701.0844
25	miscellaneous plant equipment	6103	125.1115	856.823
	subtotal	279547	5730.7135	39246.649
	spare parts allowance	1659.3	34.01565	232.95534
	contingency allowance	19558.2	400.9431	2745.8489
	subtotal	300764.5	6165.67225	42225.453
	INDIRECT COSTS			
91	construction facilities, equipment, and services	18670	382.735	2621.1512
92	engineering and construction management services	46226	947.633	6489.8411
93	other costs	14675	300.8375	2060.2782
	subtotal	79571	1631.2055	11171.27
	total direct & indirect costs	380335.5	7796.87775	53396.724

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด นำไปหาค่า IDC (Interest During Construction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียด ค่าลงทุนเบื้องต้นของโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ ขนาด 1000 เมกกะวัตต์

ค่าเผื่อเงินเฟ้อ (CONTINGINCY) สำหรับ ค่าวัสดุ(MTL.)	5.00%	
ค่าแรง(LABOR)	10.00%	
ส่วนสำรอง(SPARE PARTS)	1.00%	
อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหนึ่งเหรียญสหรัฐ)	20.5	เริ่มก่อสร้าง มกราคม พ.ศ. 2543
อัตราเงินเฟ้อปัจจุบัน	8%	เริ่มเดินเครื่องเชิงพาณิชย์ มกราคม พ.ศ. 2549

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
20	land and land right						
201	land and privilege acquisition	0	0	1000	1000	20.5	140.3937
202	relocation of buildings, utilities, etc.	0	0	0	0	0	0
	ผลรวมย่อยสำหรับบัญชีนี้	0	0	1000	1000	20.5	140.3937
	ค่าเผื่อเงินเฟ้อ(CONTINGENCY) 0.0%MTL. และ 0.0%LABOR	0	0	0	0	0	0
	ส่วนสำรอง(SPARE PARTS) 0.0%	0	0	0	0	0	0
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 20	0	0	1000	1000	20.5	140.3937

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
21	structures and facilities						
211	site improvements and facilities						
211.1	general yard improvements	0	1089	476	1565	32.0825	219.7162
211.2	cooling reservoir	0	0	0	0	0	0
211.3	highway and railway access	0	908	800	1708	35.014	239.7925
	subtotal	0	1997	1276	3273	67.0965	459.5087
212	reactor building						
212.1	basic building structures (รวมอยู่ใน 212.3)	0	0	0	0	0	0
212.2	building services	1905	2158	4186	8249	169.1045	1158.108
212.3	containment structures	0	133310	5663	138973	2848.947	19510.94
	subtotal	1905	15468	9848	27221	558.0305	3821.658
213	turbine building						
213.1	basic building structures	0	3422	2426	5848	119.884	821.0226
213.2	building services	100	889	201	1190	24.395	167.0686
	subtotal	100	4311	2626	7037	144.2585	987.9508

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
214	intake and discharge structures						
214.1	intake structure	0	6421	2565	8986	184.213	1261.578
214.2	discharge structure (รวมอยู่ใน 232.2)	0	0	0	0	0	0
214.3	unpressurized intake and discharge conduits (รวมอยู่ใน 232.2)	0	0	0	0	0	0
	subtotal	0	6421	2565	8986	184.213	1261.578
215	reactor auxiliaries building						
215.1	basic building structures	0	4117	1214	5331	109.2855	748.439
215.2	building services	47	413	156	616	12.628	86.48254
	subtotal	47	4530	1370	5947	121.9135	834.9216
216	radioactive waste building (รวมอยู่ใน 215)						
216.1	basic building structures	0	0	0	0	0	0
216.2	building services	0	0	0	0	0	0
	subtotal	0	0	0	0	0	0
217	fuel storage building						
217.1	basic building structures	0	1243	493	1736	35.588	243.7235
217.2	building services	27	102	32	161	3.3005	22.60339
	subtotal	27	1346	525	1898	38.909	266.4673

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
218	other						
218A	control room building	55	1719	570	2344	48.052	329.0829
218B	diesel generator building	34	813	225	1072	21.976	150.5021
218C	administration building	182	644	389	1215	24.9075	170.5784
218D	service building	109	801	495	1405	28.8025	197.2532
218E	fan room building	6	370	90	466	9.553	65.42348
218F	auxiliary feed pump enclosure	0	146	73	219	4.4895	30.74623
	subtotal	387	4494	1841	6722	137.801	943.7267
	ผลรวมย่อยสำหรับบัญชีนี้	2465	38566	20052	61083	1252.202	8575.671
	ค่าเผื่อเงินเฟ้อ(CONTINGENCY) 5.0%MTL และ 10.0%LABOR	123.25	3856.6	1002.6	4982.45	102.1402	699.5048
	ส่วนสำรอง(SPARE PARTS) 1.0%	24.65	0	200.52	225.17	4.615985	31.61246
	ผลรวมสำหรับบัญชีแม่ที่ 21	2612.9	42422.6	21255.12	66290.62	1358.958	9306.788

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
22	reactor plant equipment						
221	reactor equipment						
221.1	reactor vessels and accessories	11619	916	185	12720	260.76	1785.808
221.2	reactor control devices	6522	167	11	6700	137.35	940.6381
221.3	moderator/reflector systems	0	0	0	0	0	0
221.4	reactor shielding	15	15	0	30	0.615	4.211812
	subtotal	18156	1098	196	19450	398.725	2730.658
222	main heat transfer and transport systems						
222.1	reactor core coolant system						
222.11	pumps	4390	256	187	4833	99.0765	678.523
222.12	piping system	3415	1464	128	5007	102.6435	702.9515
222.13	steam generator	15804	1716	596	18116	371.378	2543.373
222.14	pressurizing system	1405	116	52	1573	32.2465	220.8394
	subtotal	25113	3552	963	29628	607.374	4159.586
223	safeguards cooling systems						
223.1	residual heat removal system	346	611	199	1156	23.698	162.2952
223.2	emergency shutdown or core isolation cooling system	0	0	0	0	0	0
223.3	coolant injection and core spray/flooding system	333	1436	1098	2867	58.7735	402.5089
223.4	containment heat absorption rejection system	271	704	442	1417	29.0485	198.9379
	subtotal	951	2751	1739	5441	111.5405	763.8823

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
224	radioactive waste treatment and disposal						
224.1	lequid waste processing equipment	590	1672	2032	4294	88.027	602.8507
224.2	gaseous wastes and off gas processing equipment	190	445	790	1425	29.2125	200.0611
224.3	solid wastes processing equipment	74	18	2	94	1.927	13.19701
	subtotal	853	2135	2825	5813	119.1665	816.1088
225	nuclear fuel handling and storage system						
225.1	fuel handling tool, equipment, and systems	297	988	27	1312	26.896	184.1966
225.2	remote viewing equipment	0	0	0	0	0	0
225.3	service platforms	135	40	2	177	3.6285	24.84969
225.4	fuel storage, cleaning, and inspection equipment	373	729	408	1510	30.955	211.9945
	subtotal	805	1757	438	3000	61.5	421.1812

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
226	other reactor plant equipment						
226.1	nitrogen and hydrogen gas system	70	91	18	179	3.6695	25.13048
226.2	special heating systems	0	0	0	0	0	0
226.3	coolant recieving, storage, and makeup systems	0	0	0	0	0	0
226.4	coolant charge and volumn control systems	282	490	404	1176	24.108	165.103
226.5	coolant purification & chemical treatment systems	1550	2613	1070	5233	107.2765	734.6804
226.6	fluid leak detection systems	0	0	0	0	0	0
226.7	auxiliaries cooling systems	441	1650	615	2706	55.473	379.9055
226.8	maintenance equipment	0	0	0	0	0	0
226.9	miscellaneous suspense items	0	6295	1683	7978	163.549	1120.061
	subtotal	2343	11140	3790	17273	354.0965	2425.021

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
227	instrumentation and control						
227.1	reactor process I&C equipment	3406	466	36	3908	80.114	548.6587
227.2	computer equipment	1927	146	0	2073	42.4965	291.0362
227.3	containment leakage monitoring system	50	474	186	710	14.555	99.67956
227.4	isolated indicating and recording gages (รวมอยู่ใน 227.1)	0	0	0	0	0	0
227.5	control and instrument piping	0	837	525	1362	27.921	191.2163
	subtotal	5382	1924	747	8053	165.0865	1130.591
	ผลรวมย่อยสำหรับบัญชีนี้	53640	24356	10697	88693	1818.207	12451.94
	ค่าเผื่อเงินเหลือ(CONTINGENCY) 5.0% MTL และ 10.0%LABOR	2682	2435.6	534.85	5652.45	115.8752	793.5686
	ส่วนสำรองอะไหล่(SPARE PARTS) 1.0%	536.4	0	106.97	643.37	13.18909	90.32512
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 22	56858.4	26791.6	11338.82	94988.82	1947.271	13335.84

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
23	turbine plant equipment						
231	turbine-generators						
231.1	turbine-generators and accessories	36404	2928	243	39575	811.2875	5556.082
231.2	foundation	0	920	377	1297	26.5885	182.0907
231.3	stanby exciters	0	0	0	0	0	0
231.4	lubricating system	47	170	123	340	6.97	47.73387
231.5	gas systems	61	66	21	148	3.034	20.77827
231.6	reheaters(รวมอยู่ใน 231.1)	0	0	0	0	0	0
231.7	shielding	0	0	0	0	0	0
231.8	weather-proof housing	0	0	0	0	0	0
	subtotal	36512	4066	763	41341	847.4905	5804.018
232	heat removal systems						
232.1	water intake common facilities	590	322	62	974	19.967	136.7435
232.2	circulating water systems						
232.21	pumps	1767	167	11	1945	39.8725	273.0658
232.22	piping	0	1180	734	1914	39.237	268.7136
232.23	discharge tunnel	0	1530	693	2223	45.5715	312.0953
232.24	discharge canal and structures	0	3180	1595	4775	97.8875	670.3801
232.25	deicing pump pit structures	0	230	118	348	7.134	48.85702
	subtotal	1767	6268	3150	11185	229.2925	1570.304

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
232.3	cooling towers	0	0	0	0	0	0
232.4	other system rejection heat to the atmosphere	0	0	0	0	0	0
	subtotal	2357	6609	3212	12178	249.649	1709.715
233	condensing systems						
233.1	condensers	5284	1395	30	6709	137.5345	941.9016
233.2	condensate system	608	2694	994	4296	88.068	603.1315
233.3	gas removal system	0	268	118	386	7.913	54.19198
233.4	turbine, bypass system	729	586	0	1315	26.9575	184.6178
	subtotal	6621	4943	1142	12706	260.473	1783.843
234	feed heating system						
234.1	regenerative heat exchangers	1823	190	49	2062	42.271	289.4919
234.2	pumps	1456	305	19	1780	36.49	249.9009
234.3	piping and tanks	0	4597	2400	6997	143.4385	982.335
	subtotal	3279	5092	2468	10839	222.1995	1521.728

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
235	other turbine plant equipment						
235.1	main stream or other vapor piping	0	3763	1902	5665	116.1325	795.3305
235.2	turbine auxiliaries	62	600	238	900	18.45	126.3544
235.3	auxiliaries cooling system	145	512	419	1076	22.058	151.0637
235.4	makeup treatment systems	972	366	243	1581	32.4105	221.9625
235.5	secondary chemical treatment system	12	15	12	39	0.7995	5.475356
2335.6	central lubrication service system	0	0	0	0	0	0
2335.7	miscellaneous suspense items	0	659	61	720	14.76	101.0835
	subtotal	1191	5915	2875	9981	204.6105	1401.27
236	instrumentation and control						
236.1	process I&C equipment	954	220	18	1192	24.436	167.3493
236.2	computer equipment(รวมอยู่ใน 227.2)	0	0	0	0	0	0
236.3	isolated indicating and recording gages(รวมอยู่ใน 236.1)	0	0	0	0	0	0
236.4	control instrument piping	0	732	213	945	19.3725	132.6721
	subtotal	954	952	231	2137	43.8085	300.0214
	ผลรวมย่อยสำหรับบัญชีนี้	50915	27575	10693	89183	1828.252	12520.74
	ค่าเผื่อเงินเหลือ(CONTINGENCY) 5.0%MTL. และ 10.0%LABOR	2545.75	2757.5	534.65	5837.9	119.677	819.6046
	ส่วนสำรอง(SPARE PARTS) 1.0%	509.15	0	106.93	616.08	12.62964	86.49378
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 23	53969.9	30332.5	11334.58	95636.98	1960.558	13426.83

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
24	electric plant equipment						
241	switchgear						
241.1	generator eurnits	18	16	1	35	0.7175	4.913781
241.2	station service	1216	264	70	1550	31.775	217.6103
	subtotal	1234	280	72	1586	32.513	222.6645
242	station service equipment						
242.1	station service and startup transformers	656	94	7	757	15.5185	106.2781
242.2	low voltage unit substations and lighting transformers	741	176	4	921	18.8805	129.3026
242.3	battery systems	34	20	2	56	1.148	7.86205
242.4	diesel engine generators	1482	521	58	2061	42.2505	289.3515
242.5	gas turbine generator	2030	476	112	2618	53.669	367.5508
242.6	motor generator sets	140	37	1	178	3.649	24.99009
	subtotal	5083	1324	185	6592	135.136	925.4755
243	switchboards						
243.1	main control board for electric systems	547	110	12	669	13.7145	93.92341
243.2	auxiliaries power and signal boards	11	7	1	19	0.3895	2.667481
	subtotal	558	117	13	688	14.104	96.59089

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
244	protective equipment						
244.1	general station grounding system	0	212	115	327	6.7035	45.90875
244.2	fire protection system	0	15	9	24	0.492	3.36945
	subtotal	0	227	124	351	7.1955	49.2782
245	electrical structures and wiring containers						
245.1	concrete cable tunnels, trenches, and envelopes	0	95	49	144	2.952	20.2167
245.2	cable trays and supports	453	2138	33	2624	53.792	368.3932
245.3	conduit	0	6472	1094	7566	155.103	1062.219
245.4	other structures	0	26	- 7	33	0.6765	4.632993
	subtotal	453	8731	1183	10367	212.5235	1455.462

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518 (ล้านบาท)	พ.ศ. 2543 (ล้านบาท)
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม		
246	power and controls wiring						
246.1	generator circuits	602	243	7	852	17.466	119.6155
246.2	station service power wiring	201	2618	1909	4728	96.924	663.7816
246.3	control wiring	0	4135	2018	6153	126.1365	863.8427
246.4	instrument wiring	0	879	213	1092	22.386	153.31
246.5	containment penetrations	547	512	18	1077	22.0785	151.2041
	subtotal	1349	8387	4165	13901	284.9705	1951.613
	ผลรวมย่อยสำหรับบัญชีนี้	8677	19066	5742	33485	686.4425	4701.084
	ค่าเผื่อเงินเฟ้อ(CONTINGENCY) 5.0%MTL และ 10.0%LABOR	433.85	1906.6	287.1	2627.55	53.86478	368.8916
	ส่วนสำรอง(SPARE PARTS) 1.0%	86.77	0	57.42	144.19	2.955895	20.24337
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 24	9197.62	20972.6	6086.52	36256.74	743.2632	5090.219

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
25	miscellaneous plant equipment						
251	transportation and lifting equipment						
251.1	cranes, hoist, and monorails	644	224	18	886	18.163	124.3889
251.2	railway and roadway equipment	0	0	0	0	0	0
	subtotal	644	224	18	886	18.163	124.3889
252	air, water, and steam service systems						
252.1	air systems	75	225	50	350	7.175	49.13781
252.2	water systems	214	1571	756	2541	52.0905	356.7405
252.3	auxiliary heating steam	182	878	304	1364	27.962	191.4971
	subtotal	472	2675	1110	4257	87.2685	597.6562
253	communications equipment						
253.1	local communications systems	43	73	0	116	2.378	16.28567
253.2	signal systems	18	37	0	55	1.1275	7.721656
	subtotal	61	110	0	171	3.5055	24.00733

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ราคาในปี พ.ศ. 2518 (พันเหรียญสหรัฐ)				พ.ศ. 2518	พ.ศ. 2543
		อุปกรณ์	แรงงาน	วัสดุ	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
254	furnishings and fixtures						
254.1	safety equipment	12	0	0	12	0.246	1.684725
254.2	shop, laboratory, and test equipment	509	7	1	517	10.5985	72.58356
254.3	office equipment and furnishings	61	0	0	61	1.2505	8.564018
254.4	chang room equipment	10	1	0	11	0.2255	1.544331
254.5	environmental monitoring equipment	0	0	0	0	0	0
254.6	dining facilities	152	37	0	189	3.8745	26.53442
	subtotal	744	45	1	790	16.195	110.9111
	ผลรวมย่อยสำหรับบัญชีนี้	1920	3054	1129	6103	125.1115	856.823
	ค่าเผื่อเงินเฟ้อ(CONTINGENCY) 5.0%MTL และ 10.0%LABOR	96	305.4	56.45	457.85	9.385925	64.27927
	ส่วนสำรอง(SPARE PARTS) 1.0%	19.2	0	11.29	30.49	0.625045	4.280605
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 25	2035.2	3359.4	1196.74	6591.34	135.1225	925.3829

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ค่าใช้จ่าย (พันเหรียญสหรัฐ)	พ.ศ. 2518 (ล้านบาท)	พ.ศ. 2543 (ล้านบาท)
91	construction facilities, equipment, and services			
911	temporary facilities	4938	101.229	693.2643
912	construction equipment	8191	167.9155	1149.9651
913	construction services	5541	113.5905	777.92172
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 91	18670	382.735	2621.1512

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ค่าใช้จ่าย (พันเหรียญสหรัฐ)	พ.ศ. 2518 (ล้านบาท)	พ.ศ. 2543 (ล้านบาท)
92	engineering and construction management services			
921	engineering services	26626	545.833	3738.1238
922	construction management services	19600	401.8	2751.7173
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 92	46226	947.633	6489.8411

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขที่บัญชี	ชื่อรายการ	ค่าใช้จ่าย (พันเหรียญสหรัฐ)	พ.ศ. 2518 (ล้านบาท)	พ.ศ. 2543 (ล้านบาท)
93	other costs			
931	taxes and insurance	8316	170.478	1167.5144
932	staff training	3057	62.6685	429.18367
933	owners G&A	3302	67.691	463.58013
	ผลรวมสำหรับบัญชีเลขที่ 93	14675	300.8375	2060.2782

IDC-Interest During Construction

ค่าลงทุน (ล้านบาท)	53396.72388
อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ (Loan Interest rate)	9.00%
อัตรามูลค่าปัจจุบัน(Present Worth Rate)	16.64%
ค่าเผื่อของขึ้นราคา(Escalation Rate)	8.00%

เงินงวดแรก	10%
เงินกู้ธนาคาร	90%

มีกระบวนการดังนี้

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0

โครงการเสร็จสมบูรณ์ ปลายเดือนที่ 72 ซึ่งใช้ค่ามูลค่าปัจจุบัน

ตรงกับ ปลายปี 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.1 เงินกู้และดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง

month	escalation factor	loan %	monthly payment (ล้านบาท)	comulative payment (ล้านบาท)	interest (ล้านบาท)	interest payments (ล้านบาท)	present worth of interest (ล้านบาท)
1	1.0067	0.00%	0.00	0.00			
2	1.0134	0.00%	0.00	0.00			
3	1.0201	0.00%	0.00	0.00			
4	1.0269	0.00%	0.00	0.00			
5	1.0338	0.00%	0.00	0.00			
6	1.0407	0.00%	0.00	0.00			
7	1.0476	0.00%	0.00	0.00			
8	1.0546	0.00%	0.00	0.00			
9	1.0616	0.00%	0.00	0.00			
10	1.0687	0.00%	0.00	0.00			
11	1.0758	0.00%	0.00	0.00			
12	1.0830	0.00%	0.00	0.00			
13	1.0902	0.00%	0.00	0.00			
14	1.0975	0.00%	0.00	0.00			
15	1.1048	0.00%	0.00	0.00			
16	1.1122	0.00%	0.00	0.00			
17	1.1196	0.00%	0.00	0.00			
18	1.1270	0.00%	0.00	0.00			
19	1.1346	2.00%	1211.64	1211.64	45.4364		
20	1.1421	2.00%	1219.72	2431.35	36.5915		
21	1.1497	2.00%	1227.85	3659.20	27.6265		
22	1.1574	2.00%	1236.03	4895.23	18.5405		
23	1.1651	2.00%	1244.27	6139.50	9.3320	137.5269	254.5527
24	1.1729	2.00%	1252.57	7392.07	56.3655		
25	1.1807	3.00%	1891.38	9283.45	70.9266		
26	1.1886	3.00%	1903.99	11187.43	57.1196		
27	1.1965	3.00%	1916.68	13104.11	43.1253		
28	1.2045	3.00%	1929.46	15033.57	28.9419		
29	1.2125	3.00%	1942.32	16975.89	14.5674	271.0463	464.5257
30	1.2206	3.00%	1955.27	18931.16	87.9871		
31	1.2287	3.00%	1968.30	20899.46	73.8114		
32	1.2369	3.00%	1981.43	22880.89	59.4428		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

month	escalation factor	loan %	monthly payment (ล้านบาท)	comulative payment (ล้านบาท)	interest (ล้านบาท)	interest payments (ล้านบาท)	present worth of interest (ล้านบาท)
33	1.2452	3.00%	1994.64	24875.53	44.8793		
34	1.2535	3.00%	2007.93	26883.46	30.1190		
35	1.2618	3.00%	2021.32	28904.78	15.1599	311.3995	494.1519
36	1.2702	3.00%	2034.79	30939.57	91.5658		
37	1.2787	3.00%	2048.36	32987.93	76.8135		
38	1.2872	3.00%	2062.02	35049.95	61.8605		
39	1.2958	3.00%	2075.76	37125.71	46.7047		
40	1.3045	3.00%	2089.60	39215.31	31.3440		
41	1.3131	3.00%	2103.53	41318.84	15.7765	324.0649	476.1577
42	1.3219	3.00%	2117.56	43436.40	95.2900		
43	1.3307	2.00%	1421.11	44857.51	53.2918		
44	1.3396	2.00%	1430.59	46288.10	42.9177		
45	1.3485	2.00%	1440.13	47728.23	32.4028		
46	1.3575	1.00%	724.86	48453.09	10.8730		
47	1.3666	1.00%	729.70	49182.79	5.4727	240.2480	326.8547
48	1.3757	1.00%	734.56	49917.35	33.0552		
49	1.3848	1.00%	739.46	50656.81	27.7297		
50	1.3941	1.00%	744.39	51401.20	22.3316		
51	1.4034	1.00%	749.35	52150.55	16.8604		
52	1.4127	1.00%	754.35	52904.89	11.3152		
53	1.4221	1.00%	759.37	53664.27	5.6953	116.9874	147.3704
54	1.4316	0.00%	0.00	53664.27			
55	1.4412	0.00%	0.00	53664.27			
56	1.4508	0.00%	0.00	53664.27			
57	1.4604	0.00%	0.00	53664.27			
58	1.4702	0.00%	0.00	53664.27			
59	1.4800	0.00%	0.00	53664.27		3820.5068	4456.2391
60	1.4898	0.00%	0.00	53664.27			
61	1.4998	0.00%	0.00	53664 27			
62	1.5098	0.00%	0.00	53664.27			
63	1.5198	0.00%	0.00	53664.27			
64	1.5300	0.00%	0.00	53664.27			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

month	escalation factor	loan %	monthly payment (ล้านบาท)	comulative payment (ล้านบาท)	interest (ล้านบาท)	interest payments (ล้านบาท)	present worth of interest (ล้านบาท)
65	1.5402	0.00%	0.00	53664.27		3820.5068	4126.1473
66	1.5504	0.00%	0.00	53664.27			
67	1.5608	0.00%	0.00	53664.27			
68	1.5712	0.00%	0.00	53664.27			
69	1.5817	0.00%	0.00	53664.27			
70	1.5922	0.00%	0.00	53664.27			
71	1.6028	0.00%	0.00	53664.27		3820.5068	3820.5068
72	1.6135	10.00%	8615.57	62279.84			

เงินจ่ายงวดแรก	5339.67	ล้านบาท
เงินกู้ทั้งหมด	62279.84	ล้านบาท
รวม	67619.51	ล้านบาท
มูลค่าปัจจุบันของดอกเบี้ย	14566.51	ล้านบาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.2 การชดใช้เงินกู้

PRESENT WORTH OF CAPITAL REPAYMENTS

เงินกู้ทั้งหมด 62279.84 ล้านบาท

มูลค่าปัจจุบัน คิดเมื่อปลายปี 2543 หรือปลายเดือนที่ 72

เริ่มชดใช้เงินกู้ ปลายเดือนที่ 78 จำนวน 20 งวด

งวดละ 6 เดือน

ดอกเบี้ยเงินกู้ 9.00%

อัตรามูลค่าปัจจุบัน 14.48%

งวดที่	เงินที่ชดใช้จริง(ล้านบาท)			ดอกเบี้ยที่เกิดขึ้น	เงินกู้คงเหลือ	มูลค่าปัจจุบัน ของเงินที่ชดใช้แต่ละงวด
	ส่งเงินต้น	ส่งดอกเบี้ย	รวม	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)	(ล้านบาท)
1	3113.99	2802.59	5916.58	2802.59	59165.85	5505.75
2	3113.99	2662.46	5776.46	2662.46	56051.85	5002.10
3	3113.99	2522.33	5636.33	2522.33	52937.86	4541.84
4	3113.99	2382.20	5496.20	2382.20	49823.87	4121.39
5	3113.99	2242.07	5356.07	2242.07	46709.88	3737.42
6	3113.99	2101.94	5215.94	2101.94	43595.89	3386.91
7	3113.99	1961.81	5075.81	1961.81	40481.90	3067.06
8	3113.99	1821.69	4935.68	1821.69	37367.90	2775.29
9	3113.99	1681.56	4795.55	1681.56	34253.91	2509.26
10	3113.99	1541.43	4655.42	1541.43	31139.92	2266.79
11	3113.99	1401.30	4515.29	1401.30	28025.93	2045.90
12	3113.99	1261.17	4375.16	1261.17	24911.94	1844.75
13	3113.99	1121.04	4235.03	1121.04	21797.94	1661.67
14	3113.99	980.91	4094.90	980.91	18683.95	1495.12
15	3113.99	840.78	3954.77	840.78	15569.96	1343.69
16	3113.99	700.65	3814.64	700.65	12455.97	1206.09
17	3113.99	560.52	3674.51	560.52	9341.98	1081.11
18	3113.99	420.39	3534.38	420.39	6227.98	967.67
19	3113.99	280.26	3394.25	280.26	3113.99	864.78
20	3113.99	140.13	3254.12	140.13	0.00	771.51
รวม	62279.84	29427.22	91707.06	29427.22	591658.47	50196.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปค่าใช้จ่ายด้านการบริหาร

ด้านงานบริหารโครงการหลัก

ตำแหน่ง	เงินเดือน(บาท)	จำนวน(คน)	รวม(บาท)
Project Manager	200,000	1	200,000
Planning And Scheduling	150,000	1	150,000
Nuclear Group	100,000	4	400,000
Heavy components	100,000	4	400,000
Systems Engineering	100,000	4	400,000
Control And Instrumentation	100,000	4	400,000
Conventional Group	60,000	4	240,000
Overall Design	60,000	4	240,000
Civil Engineering	60,000	4	240,000
Turbine Engineering	60,000	4	240,000
Components	60,000	4	240,000
Process Engineering	60,000	4	240,000
Electrical Control And Instrumentation Group	50,000	4	200,000
Electrical	50,000	4	200,000
Control	50,000	4	200,000
Instrumentation	50,000	4	200,000
Licensing	40,000	3	120,000
Nuclear	40,000	3	120,000
Mechanical	40,000	3	120,000
Electrical	40,000	3	120,000
Civil	40,000	3	120,000
Commercial	40,000	2	80,000
Cost Control	40,000	2	80,000
Accounting	40,000	2	80,000
รวม			5,030,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการก่อสร้างโรงงาน

ตำแหน่ง	เงินเดือน(บาท)	จำนวน(คน)	รวม(บาท)
Site Maneger	200,000	1	200,000
Planning And Scheduling	100,000	1	100,000
Site Engineering Service	100,000	1	100,000
construction Manager And Erection	80,000	1	80,000
Construction Services Manager	80,000	1	80,000
Q.C. Manager	80,000	1	80,000
Plant System Engineering	70,000	2	140,000
Project Engineers	70,000	1	70,000
Mechanical	50,000	2	100,000
Piping	50,000	2	100,000
Reactor Erection	50,000	2	100,000
Civil And Structural	50,000	2	100,000
Electrical	50,000	2	100,000
Instrument	50,000	2	100,000
Material Control	50,000	2	100,000
Procurement Expediting	50,000	2	100,000
Warehousing	50,000	2	100,000
Contracts	50,000	2	100,000
Cost ControlAccounting	50,000	2	100,000
Electrical Inspector	50,000	2	100,000
Mechanical Inspection	50,000	2	100,000
Structural And Civil Inspection	50,000	2	100,000
Instrument Inspection	50,000	2	100,000
Equipment Inspection	50,000	2	100,000
Recept Inspection	50,000	2	100,000
รวม			2,550,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการจัดสรรหน้าที่

ตำแหน่ง	เงินเดือน(บาท)	จำนวน(คน)	รวม(บาท)
Project Manager	200,000	1	200,000
Plant Superintendent	100,000	1	100,000
Commissioning Superintendent	100,000	1	100,000
Site Manager	100,000	1	100,000
Planning And Scheduling	80,000	1	80,000
Nuclear Systems	50,000	2	100,000
Conventional Systems	50,000	2	100,000
Common Systems	50,000	2	100,000
Electrical Systems	50,000	2	100,000
Instrumentation And Control Systems	50,000	2	100,000
Engineerstaff	30,000	10	300,000
รวม			1,380,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการดำเนินการและดูแลรักษา

ตำแหน่ง	เงินเดือน(บาท)	จำนวน(คน)	รวม(คน)
Plant Superintendent	200,000	1	200,000
Operation Superintendent	80,000	1	80,000
Maintenance	80,000	1	80,000
Safety Superintendent	80,000	1	80,000
Training Superintendent	80,000	1	80,000
Shift Superintendent	60,000	1	60,000
Mechanical Maintenance Engineer	60,000	1	60,000
Industrial Safety	60,000	1	60,000
Health Physics	60,000	1	60,000
Nuclear Safety	60,000	1	60,000
Training Engineer	60,000	1	60,000
Performance Engineer	60,000	1	60,000
Planning Engineer	60,000	1	60,000
Fuel Management Engineer	60,000	1	60,000
Chemical Engineer	60,000	1	60,000
Reactor Physicist	60,000	1	60,000
Q.A Engineer	60,000	1	60,000
Control Room Operators	40,000	2	80,000
Mechanical Maintenance Supervisor	40,000	2	80,000
Industrial Supervisor	40,000	2	80,000
Technicians	40,000	12	480,000
Radiation ProTection Supervisor	40,000	2	80,000
Q.A Additors	40,000	2	80,000
Field Operators	40,000	1	40,000
Mechanical Maintenance Technicians	40,000	1	40,000
Firemen	40,000	1	40,000
Dosemetric Technicians	40,000	1	40,000
Q.A Technicians	40,000	1	40,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง	เงินเดือน(บาท)	จำนวน(คน)	รวม(บาท)
Craftsmen	20,000	4	80,000
Deconta Mination	20,000	4	80,000
รวม			2,480,000
รวมค่าใช้จ่ายด้านการบริหาร			11,440,000
ำชดเชยความเสี่ยง 24,000,000 ล้านบาทต่อปี		คิดเป็นต่อเดือน	2,000,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPERATION & MAINTENANCE COSTS

รายการ	รายละเอียด	พ.ศ. 2519 ค่าใช้จ่ายต่อปี (ล้านเหรียญสหรัฐ)	พ.ศ. 2549 ค่าใช้จ่ายต่อปี (ล้านบาท)
1	Wags and salaries of operating, maintenance, and administration staffs		161.28
2	Consumable operating materials and equipment	0.5	103.14
3	Repair costs includdeing interim replacement s	2.0	412.57
4	Insurance	1.0	206.28
5	Perchased services	1.0	206.28
6	Capital charge on working capiral	0.2	41.26
7	Undistributed costs	0.6	123.77
	Total O&M costs		1254.59

ตาราง 7.3 สรุปค่าใช้จ่ายด้าน Operation & Maintenance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

From "Economic evaluation of bids for nuclear power plants" p.143-152

million 0f US dollars	fuel inventory	2543 -6	2543 -5.5	2544 -5	2544 -4.5	2545 -4	2545 -3.5	2546 -3	2546 -2.5	2547 -2	2547 -1.5	2548 -1
natural uranium	36.065							12.02	12.02	12.02	2.586	2.586
conversion	1.794								0.897	0.897	0.146	0.146
enriching	32.606			5.434	5.434	5.434	5.434	5.434	5.434	2.006	2.006	3.222
fabrication	10.546									5.273	5.273	1.243
shipping												
reprocessing												
uranium credit												
plutonium credit												
cash out for fuel cycle				5.434	5.434	5.434	5.434	17.46	18.35	20.2	10.01	7.196

ล้านบาท	fuel inventory	2543 -6	2543 -5.5	2544 -5	2544 -4.5	2545 -4	2545 -3.5	2546 -3	2546 -2.5	2547 -2	2547 -1.5	2548 -1
natural uranium	1970.94	0	0	0	0	0	0	657	657	657	141.3	141.3
conversion	98.04	0	0	0	0	0	0	0	49.02	49.02	7.979	7.979
enriching	1781.91	0	0	297	297	297	297	297	297	109.6	109.6	176.1
fabrication	576.34	0	0	0	0	0	0	0	0	288.2	288.2	67.9
shipping		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
reprocessing		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
uranium credit		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
plutonium credit		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cash out for fuel cycle		0	0	297	297	297	297	954	1003	1104	547	393.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2548	2549	2549	2550	2550	2551	2551	2552	2552	2553	2553	2554	2554	2555	2555	2556
-0.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
3.934	3.934	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098
0.201	0.201	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228
3.222	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836
1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243
					0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123
					2.465	2.465	2.436	2.436	2.417	2.417	2.421	2.421	2.417	2.417	2.414
					-1.23	-1.23	-1.34	-1.34	-1.28	-1.28	-1.38	-1.38	-1.25	-1.25	-1.16
					-0.84	-0.84	-1.02	-1.02	-1.07	-1.07	-1.07	-1.07	-1.08	-1.08	-1.08
8.599	9.214	9.404	9.404	9.404	9.92	9.92	9.609	9.609	9.599	9.599	9.506	9.506	9.607	9.607	9.699

2548	2549	2549	2550	2550	2551	2551	2552	2552	2553	2553	2554	2554	2555	2555	2556
-0.5	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5
215	215	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9
10.98	10.98	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43
176.1	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6
67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9
0	0	0	0	0	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722
0	0	0	0	0	134.7	134.7	133.1	133.1	132.1	132.1	132.3	132.3	132.1	132.1	131.9
0	0	0	0	0	-67.3	-67.3	-73	-73	-69.9	-69.9	-75.2	-75.2	-68.6	-68.6	-63.4
0	0	0	0	0	-45.9	-45.9	-55.6	-55.6	-58.3	-58.3	-58.3	-58.3	-59.2	-59.2	-59.2
469.9	503.5	513.9	513.9	513.9	542.1	542.1	525.1	525.1	524.6	524.6	519.5	519.5	525	525	530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2556	2557	2557	2558	2558	2559	2559	2560	2560	2561	2561	2562	2562	2563	2563	2564
8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5
4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098
0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228
3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836
1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243
0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123
2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414
-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16
-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08
9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699

2556	2557	2557	2558	2558	2559	2559	2560	2560	2561	2561	2562	2562	2563	2563	2564
8	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5
223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9
12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43
209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6
67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9
6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722
131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9
-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4
-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2
530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2564	2565	2565	2566	2566	2567	2567	2568	2568	2569	2569	2570	2570	2571	2571	2572
16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	22.5	23	23.5
4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098
0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228
3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836
1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243
0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123
2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414
-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16
-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08
9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9 699	9.699	9.699	9.699

2564	2565	2565	2566	2566	2567	2567	2568	2568	2569	2569	2570	2570	2571	2571	2572
16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	22.5	23	23.5
223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9
12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43
209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6
67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9
6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722
131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9
-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63 4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4
-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2
530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2572	2573	2573	2574	2574	2575	2575	2576	2576	2577	2577	2578	2578
24	24.5	25	25.5	26	26.5	27	27.5	28	28.5	29	29.5	30
4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098	4.098
0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228	0.228
3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836	3.836
1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243
0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123	0.123
2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414	2.414
-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16	-1.16
-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08	-1.08
9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699	9.699

2572	2573	2573	2574	2574	2575	2575	2576	2576	2577	2577	2578	2578
24	24.5	25	25.5	26	26.5	27	27.5	28	28.5	29	29.5	30
223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9	223.9
12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43
209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6	209.6
67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9	67.9
6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722	6.722
131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9	131.9
-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4	-63.4
-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2	-59.2
530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530	530

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ราคาสำหรับค่าบริการในการเก็บรักษากากเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

(เงินดอลล่าร์ ปี ค.ศ. 1976)

การขนส่งไปยังสถานเก็บกากโดยรถบรรทุก	$ 8.000 - 20,000 / MTU (ขึ้นกับระยะทาง)
ราคาของ Caisson	$ 27,000 /MTU
การรับของ, การบรรจุกล่อง และการวางใน Caissson)	$ 14.000 /MTU
ค่าเก็บรักษาต่อปี	$ 500 /MTU
ค่าบริการ	$ 1.000 /MTU
ค่าเก็บรักษา 15 ปี	$ 51.000
Cost ทั้งหมด /GW	$ 1.38 M

คิดเป็น 193.74 ล้านบาทต่อปี ในปี พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 7.5 รายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าโดยประมาณ

กำลังการผลิต 1000 เมกกะวัตต์

จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี 8040 ชั่วโมง

ค่าไฟฟ้าในปี 2544 , 2545, 2546 1.7026 บาทต่อหน่วย

และ เพิ่มขึ้น 9.60% ทุกๆ 3 ปี

ปีที่	ปี พ.ศ.	yearly capacity factor	พลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)	ค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)	รายได้ต่อปี (ล้านบาท)
1	2549	0.60	4824.00	1.8660	9001.82
2	2550	0.65	5226.00	2.0452	10688.16
3	2551	0.70	5628.00	2.0452	11510.33
4	2552	0.75	6030.00	2.0452	12332.50
5	2553	0.75	6030.00	2.2415	13516.42
6	2554	0.75	6030.00	2.2415	13516.42
7	2555	0.75	6030.00	2.2415	13516.42
8	2556	0.75	6030.00	2.4567	14813.99
9	2557	0.75	6030.00	2.4567	14813.99
10	2558	0.75	6030.00	2.4567	14813.99
11	2559	0.75	6030.00	2.6926	16236.14
12	2560	0.75	6030.00	2.6926	16236.14
13	2561	0.75	6030.00	2.6926	16236.14
14	2562	0.75	6030.00	2.9510	17794.81
15	2563	0.75	6030.00	2.9510	17794.81
16	2564	0.73	5869.20	2.9510	17320.28
17	2565	0.71	5708.40	3.2343	18462.94
18	2566	0.69	5547.60	3.2343	17942.86
19	2567	0.67	5386.80	3.2343	17422.78
20	2568	0.65	5226.00	3.5448	18525.35
21	2569	0.63	5065.20	3.5448	17955.34
22	2570	0.61	4904.40	3.5448	17385.33
23	2571	0.59	4743.60	3.8851	18429.59
24	2572	0.57	4582.80	3.8851	17804.36
25	2573	0.55	4422.00	3.8851	17180.13
26	2574	0.53	4261.20	4.2581	18144.71
27	2575	0.51	4100.40	4.2581	17460.01
28	2576	0.49	3939.60	4.2581	16775.30
29	2577	0.47	3778.80	4.6669	17635.29
30	2578	0.45	3618.00	4.6669	16884.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562	2563	2564	2565	2566	2567	2568	2569	2570	2571	2572	2573	2574	2575	2576	2577	2578
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
105																						
67.29	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.3	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35	1693.35
270.48	294.83	321.36	350.28	381.81	416.17	453.6	494.45	538.95	587.46	640.33	697.96	760.78	829.25	903.88	985.23	1073.90	1170.55	1275.90	1390.73	1515.90	1652.33	1801.04	1963.13
173.28	188.55	205.52	224.01	244.18	266.15	290.1	316.21	344.67	375.69	409.51	446.36	486.53	530.32	578.05	630.08	686.78	748.59	815.97	889.40	969.45	1056.70	1151.80	1255.47
691.12	754.19	822.07	896.06	976.70	1064.60	1160.4	1264.86	1378.69	1502.78	1638.02	1785.45	1946.14	2121.29	2312.21	2520.30	2747.13	2994.37	3263.87	3557.62	3877.80	4226.80	4607.21	5021.86
345.56	377.10	411.03	448.03	488.35	532.30	580.2	632.43	689.35	751.39	819.01	892.72	973.07	1060.64	1156.10	1260.15	1373.57	1497.19	1631.93	1778.81	1938.90	2113.40	2303.61	2510.93
345.56	377.10	411.03	448.03	488.35	532.30	580.2	632.43	689.35	751.39	819.01	892.72	973.07	1060.64	1156.10	1266.15	1373.57	1497.19	1631.93	1778.81	1938.90	2113.40	2303.61	2510.93
69.09	75.42	82.21	89.61	97.67	106.46	116.0	126.49	137.87	150.28	163.80	178.54	194.61	212.13	231.22	252.03	274.71	299.44	326.39	355.76	387.78	422.68	460.72	502.19

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบเป็น	ปี พ.ศ.	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556
%	จำนวนเงิน(ล้านบาท)	-13	-12	-11	-10	-9	-8		-6	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0829	266.98	133.49	133.49																			
0.0414	133.49		80.10	53.40																		
0.0083	26.70			6.67	20.02																	
0.3314	1067.93			266.98	266.98	266.98	266.98															
0.0016	5.00				5.00																	
0.0016	5.00				1.00	4.00																
0.3314	1067.93					355.98	355.98	355.98														
0.1657	533.97				53.40	53.40	53.40	53.40	53.40	53.40	53.40	53.40	53.40	53.40								
0.0414	133.49					44.50								44.50	44.50							
0.1657	533.97						88.99	88.99	88.99	88.99	88.99	88.99										
0.4971	1601.67	35.00	37.80	40.82	44.09	47.62	51.43	55.54	59.98	64.78	69.97	75.56	81.61	88.14	95.19	102.80	111.03	119.91	129.50	139.86	151.05	
0.5341	1721.09								1721.09													
2.8688	9243.80								2310.95	2310.95	2310.95	2310.95										
2.1021	6773.30											3386.65	3386.65									
0.9097	2931.28								266.48	532.96	1065.92	532.96	532.96									
6.2077	20002.32								2000.23	4000.46	4000.46	6000.70	4000.46									
3.9920	12862.79									137.53	582.45	564.31	3937.49	7641.01								
3.4670	11171.27								1861.88	1861.88	1861.88	1861.88	1861.88	1861.88								
18.5206	59676.45								0.00	948.83	948.83	3126.12	2637.08	1378.86	1625.26	1641.85	1731.94	1677.64	1675.98	1659.66	1677.29	1693.35
6.8227	21983.68														161.28	175.80	191.62	208.86	227.66	248.15	270.48	294.83
4.3632	14059.06														103.14	112.43	122.54	133.57	145.59	158.70	172.98	188.55
17.4530	56236.26														412.57	449.70	490.17	534.29	582.37	634.79	691.92	754.19
8.7265	28118.13														206.28	224.85	245.09	267.14	291.19	317.39	345.96	377.10
8.7265	28118.13														206.28	224.85	245.09	267.14	291.19	317.39	345.96	377.10
1.7453	5623.63														41.26	44.97	49.02	53.43	58.24	63.48	69.19	75.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

26.26	[illegible].62	268.82	293.01	319.38	348.13	379.46	413.61	450.83	491.41	535.63	583.84	636.39	693.66	756.09	824.14	898.31	979.16	1067.28	1163.34	1268.04	1382.16	1506.56
93.74	[illegible].74	193.74	193.74	193.74	193.74	193.74	193.74	193.74	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58	614.58
15.69	-215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	-215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69	215.69
813.99	14813.99	14813.99	16236.14	16236.14	16236.14	17794.81	17794.81	17320.28	18462.94	17942.86	17422.78	18525.35	17955.34	17385.33	18429.59	17804.86	17180.13	18144.71	17460.01	16775.30	17635.29	16884.85
85.69	[illegible].55	99.95	107.95	116.58	125.91	135.98	146.86	158.61	171.30	185.00	199.80	215.79	233.05	251.69	271.83	293.57	317.06	342.42	369.82	399.40	431.36	465.86
396.21	4602.62	4827.61	5072.84	5340.15	5631.51	5949.10	6295.27	6672.59	7504.71	7953.01	8441.66	8974.28	9554.84	10187.65	10877.41	11629.26	12448.76	13342.03	14315.68	15376.97	16533.77	17794.69
899.68	14906.54	14913.94	16344.08	16352.72	16362.05	17930.79	17941.67	17478.89	18634.24	18127.86	17622.58	18741.14	18188.39	17637.02	18701.42	18098.43	17497.19	18487.14	17829.82	17174.70	18066.65	17350.72
503.47	10303.92	10086.33	11271.24	11012.57	10730.53	11981.69	11646.40	10806.29	11129.53	10174.85	9180.92	9766.86	8633.55	7449.37	7824.00	6469.18	5048.42	5145.11	3514.14	1797.73	1532.88	-443.97
889.50	117493.13	122319.74	127392.58	132732.73	138364.25	144313.35	150608.62	157281.21	164785.92	172738.93	181180.59	190154.87	199709.71	209897.36	220774.77	232404.03	244852.79	258194.82	272510.50	287887.47	304421.24	322215.93
427.90	114334.44	129248.38	145592.46	161945.18	178307.23	196238.02	214179.68	231658.57	250292.81	268420.67	286043.24	304784.38	322972.77	340609.79	359311.21	377409.64	394906.83	413393.96	431223.79	448398.49	466465.14	483815.85
461.61	-3157.69	6928.64	18199.88	29212.45	39942.98	51924.67	63571.07	74377.36	85506.89	95681.74	104862.66	114629.51	123263.06	130712.43	138536.44	145005.61	150054.04	155199.15	158713.29	160511.02	162043.90	161599.93

| | | |

086.33	11271.24	11012.57	10730.53	11981.69	11646.40	10806.29	11129.53	10174.85	9180.92	9766.86	8633.55	7449.37	7824.00	6469.18	5048.42	5145.11	3514.14	1797.73	1532.88	-443.97

086.33	11271.24	11012.57	10730.53	11981.69	11646.40	10806.29	11129.53	10174.85	9180.92	9766.86	8633.55	7449.37	7824.00	6469.18	5048.42	5145.11	3514.14	1797.73	1532.88	-443.97

928.64	18199.88	29212.45	39942.98	51924.67	63571.07	74377.36	85506.89	95681.74	104862.66	114629.51	123263.06	130712.43	138536.44	145005.61	150054.04	155199.15	158713.29	160511.02	162043.90	161599.93

086.33	11271.24	11012.57	10730.53	11981.69	11646.40	10806.29	11129.53	10174.85	9180.92	9766.86	8633.55	7449.37	7824.00	6469.18	5048.42	5145.11	3514.14	1797.73	1532.88	-443.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4%

	-168.49	-251.39	-367.88	-390.49	-772.47	-816.78	-553.91	-8940.83	-10577.62	-11560.68	-18579.35	-17069.36	-11645.61	5816.61	7220.59	7825.68	8563.78	9598.58	9450.60	9253.93	10503.47	10086.33
7.90%																						

	-168.49	-251.39	-367.88	-390.49	-772.47	-816.78	-553.91	-8940.83	-10577.62	-11560.68	-18579.35	-17069.36	-11645.61	5816.61	7220.59	7825.68	8563.78	9598.58	9450.60	9253.93	10503.47	10086.33
34970.90																						

	-168.49	-419.88	-787.76	-1178.25	-1950.72	-2767.50	-3321.41	-12262.25	-22839.86	-34400.54	-52979.89	-70049.24	-81694.85	-75878.25	-68657.66	-60831.97	-52268.19	-42669.61	-33219.00	-23965.08	-13461.61	-3157.28	6928.64
19 ปี																						

34970.90
124352.09
0.28

	-168.49	-251.39	-367.88	-390.49	-772.47	-816.78	-553.91	-8940.83	-10577.62	-11560.68	-18579.35	-17069.36	-11645.61	5816.61	7220.59	7825.68	8563.78	9598.58	9450.60	9253.93	10503.47	10086.33
14 ปี																						

บทที่ 8

สรุปผลการศึกษาโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์และการตลาด

ความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จนสิ้นแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 จะมีอัตราการเพิ่มในร้อยละ 8 หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 200 เมกกะวัตต์ โดยจะมีความต้องการไฟฟ้าเมื่อสิ้นปี พ.ศ. 2554 จะอยู่ที่ 42,649.0 Mw ในขณะที่ปัจจุบันนี้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าปัจจุบันอยู่ที่ 15,725.29 Mw เมื่อรวมแหล่งผลิตทั้งหมดของประเทศ ซึ่งประเภทของการผลิตไฟฟ้ามาจาก โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน 41.45% โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม 21.06% โรงไฟฟ้าพลังน้ำ 18.19% โรงไฟฟ้าจากบริษัทผลิตไฟฟ้า จำกัด (มหาชน) 13.64% โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สและอื่นๆ 5.66% ซึ่งแต่ละโรงไฟฟ้านั้นจะประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดต่างๆกัน ร่วมกันผลิต ซึ่งแต่ละเครื่องกำเนิดนั้น กำลังการผลิตค่อนข้างน้อยคือไม่ถึง 1,000 Mw ดังนั้นเพื่อต้องการรองรับปริมาณ ความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต จำเป็นต้องสร้างแหล่งผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งส่งผลให้มีการเวณคืนพื้นที่ และการจัดหาเชื้อเพลิง เพื่อมารองรับในโรงไฟฟ้าที่ก่อสร้างใหม่ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ส่วนใหญ่ จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งตลาดเชื้อเพลิงมีการผันแปร ด้านราคาและปริมาณอยู่ตลอดเวลา ทำให้อาจเกิดการขาดแคลนไฟฟ้า หรือราคาไฟฟ้าแพงขึ้นได้ ดังนั้นจึงควรจัดหาแหล่งผลิตไฟฟ้าใหม่ ที่มีความมั่นคงในการจัดหา แหล่งผลิตเชื้อเพลิงและใช้เนื้อที่ในการผลิตน้อย

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เป็นโรงไฟฟ้าชนิดที่มีกำลังการผลิตต่อหน่วยสูง คือประมาณ 900-1,500 Mw ต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง และใช้พื้นที่น้อย ซึ่งโรงไฟฟ้าหนึ่งๆ สามารถมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้หลายเครื่องร่วมกันผลิต ซึ่งทำให้สามารถสร้างโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตสูงๆ ประมาณ 4,000 Mw ได้ ในโรงไฟฟ้าเพียงโรงเดียว นอกจากนี้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ยังใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่น้อยกว่าโรงไฟฟ้าชนิดอื่นๆ เมื่อพิจารณาจากภาพรวมของอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจแล้ว จะเห็นได้ว่า พื้นที่ภาคใต้จะมีอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจสูง เนื่องจากการพัฒนาพื้นที่อุตสาหกรรม SOUTHERN SEABOARD จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูง แต่แหล่งผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ จำเป็นต้องมีการสร้างระบบสายส่งเป็นความยาวที่มาก เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย เมื่อพิจารณาข้อมูลทางด้านวิศวกรรมประกอบจะพบว่า พื้นที่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมทางด้านวิศวกรรม ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จะอยู่ทางภาคใต้ เนื่องจากมีความเหมาะสมทางด้านกายภาพ ถ้ามีการอนุมัติให้ทำการก่อสร้าง NPP ขึ้น จะเป็นการสอดคล้องต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้ยังเป็น การส่งเสริมความมั่นคงทางระบบไฟฟ้าของประเทศ เนื่องจากความมั่นคงในการผลิตไฟฟ้า เพื่อจะนำไปชดเชยแหล่งผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ซึ่งอาจขัดข้องหรือหมดอายุการผลิตลง แต่ปัญหาทางด้านการก่อสร้าง และความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์ จึงทำให้เกิดกระแสต่อต้านจากประชาชน ทำให้รัฐบาลไม่สามารถตัดในใจในการอนุมัติให้ก่อสร้างได้ ถ้ารัฐบาลได้มีการวางแผนในการประชาสัมพันธ์ เพื่อสร้างความเข้าใจอันดี และทำให้สามารถเล็งเห็นผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้น ถ้ามีการสร้าง NPP ขึ้น โดยเฉพาะคนในพื้นที่ที่จะก่อสร้างนั้น จะต้องไม่ขัดแย้งต่อการดำเนินการ ซึ่งถ้าไม่เช่นนั้น อาจเกินเหตุการณ์ เช่นเดียวกับ โรงงานแทนทาลัม ที่ จ. ภูเก็ต อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการศึกษาด้านวิศวกรรมและความปลอดภัย

จากการศึกษาข้างต้นที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ไม่ใช่เรื่องที่ยากเกินกว่าจะทำได้ในประเทศไทย ถ้ามีการศึกษาอย่างจริงจัง และดำเนินการตามแผนการศึกษานั้นๆ อย่างถูกต้องทุกขั้นตอนซึ่งจะสรุปได้ดังนี้

ด้านเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ ยังค่อนข้างหาได้ยากในประเทศไทยเนื่องจากยังไม่ได้มีการลงมืออย่างจริงจังและยังต้องก่อสร้างโรงงานผลิตเชื้อเพลิงอีกด้วย แต่ปัญหานี้ก็สามารถแก้ปัญหาได้โดยการซื้อเชื้อเพลิงสำเร็จรูปมาจากต่างประเทศซึ่งรัฐบาลต้องทำการศึกษาอย่างละเอียดอีกครั้งว่าจะเลือกเชื้อเพลิงแบบใด(แบบธรรมดาหรือแบบเพิ่มความเข้มข้น) และแร่ยูเรเนียมยังมีปริมาณรองรับได้อีกหลาย 10 ปี ดังนั้นด้านเชื้อเพลิงนิวเคลียร์จึงไม่เป็นปัญหาในการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์

ด้านการเลือกชนิดของโรงไฟฟ้า จะมีเทคโนโลยีจากหลายประเทศมากมายเช่น ยุโรป อเมริกา และแคนาดา ซึ่งของแต่ละประเทศจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป จากที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นดังนั้นเราจะเลือกเทคโนโลยีของประเทศใด ก็ต้องเลือกให้เหมาะสมและต้องมีการหารายละเอียดในขั้นที่สูงกว่านี้อีกครั้งหนึ่งแต่ไม่ว่าจะเลือกเทคโนโลยีแบบใดๆ ก็จะมีความปลอดภัยสูงอยู่แล้วเนื่องจากเป็นแบบที่เคยผ่านการใช้งานจริงมาแล้วทั้งสิ้น และยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาใดๆ ยกเว้นอุบัติเหตุเชอร์โนบิล และทรีไมล์ไอซ์แลนด์ (จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น) ดังนั้นชนิดของโรงไฟฟ้าจึงไม่เป็นปัญหาเพียงแต่ว่าเราจะเลือกแบบใดเท่านั้น

การเลือกสถานที่ตั้ง มีกฎเกณฑ์ต่างๆมากมาย ซึ่งถือว่าเป็นการป้องกันขั้นต้นก่อนอยู่แล้ว และจากสถานที่ตั้งที่กลุ่มโครงงานพิเศษทำการศึกษาจะได้ที่ อำเภอ บางสะพาน จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสม(แต่ควรใช้เกณฑ์ที่ละเอียดกว่านี้ทำการเลือกอีกครั้งหนึ่ง) แต่ปัญหาที่เกิดขึ้น จะไม่ได้อยู่ตรงลักษณะของพื้นที่มากนัก แต่จะขึ้นอยู่กับประชาชนที่อาศัยในบริเวณนั้นมากกกว่า ดังนั้นถ้ารัฐบาลไม่ให้การประชาสัมพันธ์และให้ความเข้าใจที่ถูกต้องก็จะเกิดปัญหาร้ายแรง ยกตัวอย่างเช่นกรณีการเผาโรงงานไทยแลนด์แทนทาลัม ที่จังหวัดภูเก็ต ดังนั้นหัวข้อนี้จึงค่อนข้างจะมีความยุ่งยากในการเลือกสถานที่ตั้ง แต่ก็ขึ้นอยู่กับว่าเราจะหาวิธีการที่ดีที่สุดได้หรือไม่

ด้านการกำจัดกาก ต้องใช้เทคโนโลยีในระดับสูงซึ่งปัจจุบัน แม้แต่ประเทศที่พัฒนาแล้วบางที่ก็ยังไม่อาจกำจัดกากได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นเรื่องนี้จึงเป็นเรื่องที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญสูงที่สุดและจากการศึกษา ในประเทศไทยบริเวณที่พอจะใช้กำจัดกากได้คือ บริเวณภาคตะวันตกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่จะกระทำได้ยาก ดังนั้นทางกลุ่มโครงงานจึงคิดว่าควรจะใช้วิธีขนส่งไปกำจัดยังต่างประเทศที่มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านนี้โดยตรงจะดีกว่า ปัญหาในด้านนี้จึงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกมากแต่

ด้านความปลอดภัย มีการป้องกันหลายขั้น เริ่มตั้งแต่การออกแบบ ขั้นตอนการก่อสร้าง และขั้นดำเนินการหรือเรียกว่าขั้นตอนการเดินเครื่อง ซึ่งแต่ละขั้นตอนก็จะมีข้อกำหนดที่เข้มงวดอีกมากมาย ซึ่งถ้าทำตามรายละเอียดทุกขั้นตอนก็จะไม่เกิดปัญหาใดๆ

จากแต่ละหัวข้อที่กล่าวมา จะเห็นว่าถ้าทำตามข้อกำหนดทุกอย่างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ก็จะมีความปลอดภัย แต่จากการศึกษาของกลุ่มโครงงานพิเศษจะพบว่าประชาชนส่วนใหญ่จะไม่เชื่อในความซื่อสัตย์ของคนไทยว่าจะสามารถทำตามข้อกำหนดที่เข้มงวดมากๆได้ จากความคิดนี้จะแสดงให้เห็นว่าความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ขึ้นอยู่กับตัวบุคคลมากกว่าเทคโนโลยีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการศึกษาด้านการบริหาร

เนื่องจากการบริหารโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทยเป็นโครงการที่ดำเนินการโดยภาครัฐบาลทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในด้านการจัดการและการบริหาร แต่อาจต้องมีการจัดตั้งองค์การบางองค์การขึ้นใหม่เพื่อดูแลและคอยควบคุมการทำงานของโรงงาน นอกจากนั้นยังต้องมีการเตรียมการในการพัฒนาบุคคลากรล่วงหน้าก่อนที่จะดำเนินการสร้างโรงงาน

ดังนั้นจากการศึกษาด้านการบริหารจึงมีความเหมาะสมในการสร้างโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปด้านผลกระทบต่างๆ

โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ผลิตกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์แทนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทำให้ปราศจากเขม่าควัน และก๊าซพิษ ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก แม้ว่าปฏิกิริยานิวเคลียร์จะทำให้เกิดสารกัมมันตรังสี ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่ในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีมาตรการป้องกันด้านสิ่งแวดล้อม โดยดำเนินงานทุกขั้นตอน ตั้งแต่การวิเคราะห์ทางวิศวกรรม การเลือกสถานที่ตั้ง การออกแบบ การก่อสร้าง การเดินเครื่อง การบำรุง-รักษา การเปลี่ยนเชื้อเพลิง และกระบวนการอื่นๆ ต้องดำเนินการตามกฎหมายและข้อบังคับอย่างเคร่งครัด โดยยึดกฎเกณฑ์ของทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) และพิจารณาดัดแปลงจากข้อกำหนดของประเทศที่ได้รับความเชื่อถือด้านการใช้พลังงานนิวเคลียร์ เช่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เป็นต้น ทำให้โรงไฟฟ้านิวเคลียร์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศวิทยาน้อยมาก

ดังนั้นโรงไฟฟ้านิวเคลียร์จึงเป็นทางเลือกอย่างหนึ่งที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

และจากการสำรวจความคิดเห็นของประชาชนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์พบว่าประชาชนส่วนใหญ่ยังไม่เห็นด้วยกับการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศไทย แต่ทั้งนี้เนื่องยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการเผยแพร่ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับโรงไฟฟ้านิวเคลียร์เพื่อให้ประชาชนได้เห็นถึงข้อดีข้อเสียและตัดสินใจเกี่ยวกับการนำโรงไฟฟ้านิวเคลียร์มาใช้ในประเทศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการศึกษาด้านการเงิน

จากการศึกษาด้านการเงินในส่วนของค่าใช้จ่ายและรายได้ของโครงการโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย และการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้านต่างๆ เช่น IRR(INTERNAL RATE OF RETURN) PB(PAY BACK PERIOD) NPV(NET PRESENT VALUE) B/C RATIO(BENEFIT/COST RATIO) เป็นต้น จากการวิเคราะห์ปรากฏว่า ค่าตอบแทนในทางด้านการเงินยังไม่เป็นที่พึงพอใจนัก เนื่องจากค่า IRR มีค่าเพียง 7.9%

แต่เนื่องจากโครงการเป็นโครงการภาครัฐบาลซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและการพัฒนาประเทศ เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินการต่างๆ

ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ถึงประโยชน์ที่จะได้รับเมื่อทำการก่อสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ จึงสรุปว่าสมควรสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY ,Economic Evaluation of Bids for Nuclear Power Plants,Technical Report Series No.175 IAEA. Vienna,1976
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY ,Financing Arrangments For Nuclear Power Project in Developing Contries, Technical Report Series No.353 IAEA. Vienna,1993
3. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Guidebook on Introduction of Nuclear Power Technical Report Series No. 217 IAEA. Vienna,1982
4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Manpower Development for Nuclear Power,Technical Report Series No.200 IAEA. Vienna,1980
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Nuclear Power The Environment and Man IAEA. Vienna,1982
6. ERIK S PEDERSEN,Nuclear Power Vol.1,Nuclear Power Plant Design,ANN ARBOR SCIENCE ,Publishers inc/The Butterworth Group
7. ERIK S PEDERSEN,Nuclear Power Vol.2,Nuclear Project Management,ANN ARBOR SCIENCE ,Publishers inc/The Butterworth Group
8. กัมมันตภาพรังสีและการจัดการกากกัมมันตรังสี ปฐม แหยมเกตุ ผู้อำนวยการกองขจัดกากกัมมันตรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ
9. เชื้อเพลิงโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ พิมพ์ที่กองการพิมพ์ ฝ่ายประชาสัมพันธ์ กฟผ. พิมพ์ครั้งที่1/5000 มีนาคม 2537
10. SITE SELECTION FOR NUCLEAR POWER PLANTS Supapol Ratanakorn Atomic Power Division Thermal Engineering Power Department, EGAT. August,1993
11. การสัมมนาเรื่อง "โรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์" สภาสมาคมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ร่วมกับ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เมื่อวันพุธ ที่ 30 มีนาคม 2537 ณ ตึกสันติไมตรี ทำเนียบรัฐบาล
12. รายงานการศึกษา การนำพลังงานนิวเคลียร์มาผลิตไฟฟ้า ในประเทศไทย คณะกรรมาธิการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร สิงหาคม 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. การร่างแบบสอบถาม และ A B C ในการวิจัย ดร.จุมพล สวัสดิยากร ศูนย์การศึกษาฝึกอบรมการวิจัยสังคมศาสตร์ สภาวิจัยแห่งชาติ
14. งานด้านนโยบายการทำงาน ที่จะต้องมีการดำเนินการต่อไป สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ 19 กรกฎาคม 2538
15. วารสารนโยบายพลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายแห่งชาติ
16. สถานภาพ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กันยายน 2539
17. รายงานประจำปี 2538 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
18. วารสารเผยแพร่ความรู้ เรื่องโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
19. วารสารเผยแพร่ความรู้ เรื่องสิ่งแวดล้อมโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
20. วารสารเผยแพร่ความรู้ เรื่องมารู้จักรังสีกันเถอะ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
21. การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ชัยยศ สันติวงษ์ พิมพ์ครั้งที่3 พ.ศ.2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FRAMATOME's N4,

an advanced 1500 MWe class PWR, is the world's most modern, safe, economical, and powerful reactor.

It benefits from the operating experience of 60 nuclear power units in commercial service, having accumulated over 500 reactor-years' operation while generating some 3000 TWh* of electricity.

The design of this state-of-the-art evolutionary LWR maximizes operability and maintainability.

* *TWh = 10^9 kWh*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTENTS

■ **FRAMATOME-EQUIPPED NUCLEAR POWER PLANTS**

■ **N4 OBJECTIVES AND ACHIEVEMENTS**

EVER-IMPROVED COMPETITIVENESS 6
UNIQUE EXPERIENCE 7
ADVANCED DESIGN FEATURES 8
ENHANCED SAFETY 9
REDUCTIÓN IN OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE 12
GREATER OPERATING FLEXIBILITY 14

■ **THE N4 NUCLEAR ISLAND**

OPTIMIZED REACTOR CORE 18
ADVANCED-DESIGN REACTOR COOLANT SYSTEM 19
SEPARATE AND REDUNDANT SAFETY SYSTEMS 26
IMPROVED REACTOR AUXILIARY SYSTEMS 28
REDUNDANT AUXILIARY COOLING WATER SYSTEMS 30
STATE-OF-THE-ART I&C SYSTEMS 31
OPTIMIZED OVERALL ARCHITECTURE 36
TECHNICAL DATA 37

■ **FRENCH 1500 MWe N4 PWR UNIT CHOOZ B1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FRAMATOME-EQUIPPED NUCLEAR POWER PLANTS

EXPORT :

9 UNITS OF 900 MWe EACH



Belgium
■ ■ ■ TIHANGE 1-2/ DOEL 3
(In operation)

Rep. of South Africa
■ ■ KOEBERG
(in operation)

People's Republic of China
■ ■ GUANGDONG
(being completed)

Republic of Korea
■ ■ ULCHIN
(In operation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UNIQUE EXPERIENCE

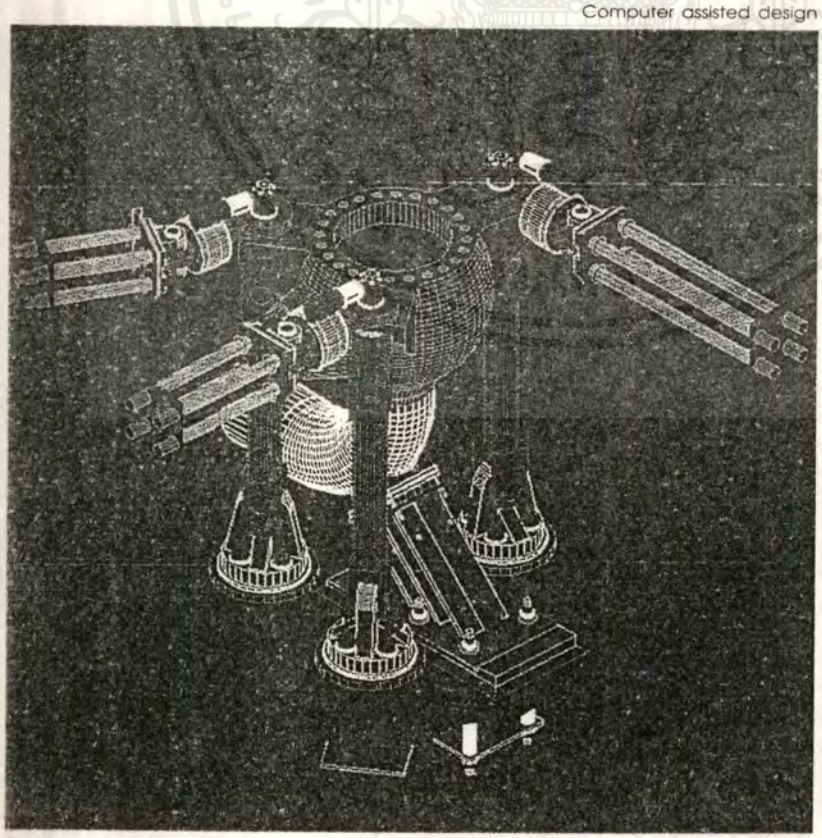
Twenty-two years of R & D and more than 500 reactor-years of operation have given French manufacturers, operators, and safety authorities unique experience in the design, engineering, construction, maintenance, and operation of series-built PWR units.

The soundness of the previous French 1300 MWe (P4 and P'4) design was assessed by the U.S. NRC in NUREG 1206. The U.S. NRC concluded: "Based on the scope of this review, it appears that for a number of potential dominant accident sequences the French P4 design offers a substantial improvement in safety compared to the typical U.S. four-loop PWR design."

The N4 series of 1500 MWe class PWRs, which is an improved design in comparison to the earlier 1300 MWe units, gives concrete form to this experience in the fields of safety, reliability, and the man/machine interface, while achieving reductions in both capital and operating costs.

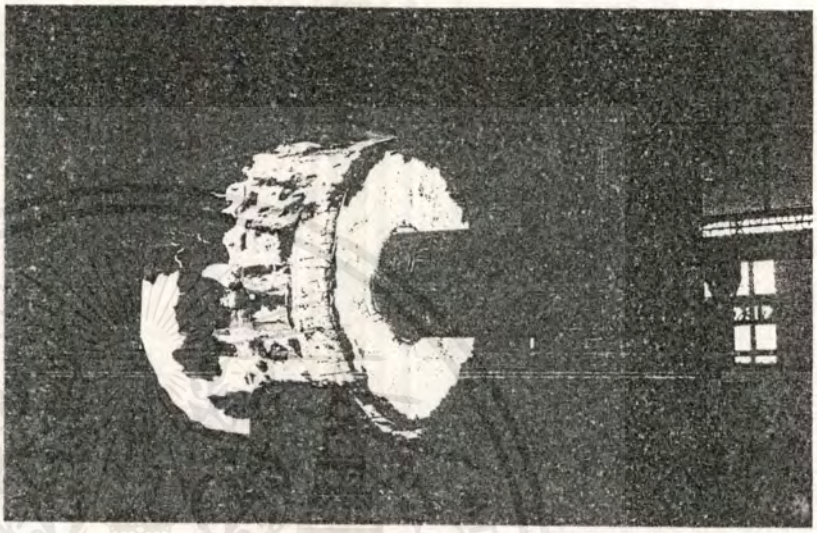
Three N4 units are currently under construction at Chooz and Civaux in France. A fourth unit, Civaux 2, is expected to be ordered soon. Four other N4 units are planned.

Computer assisted design

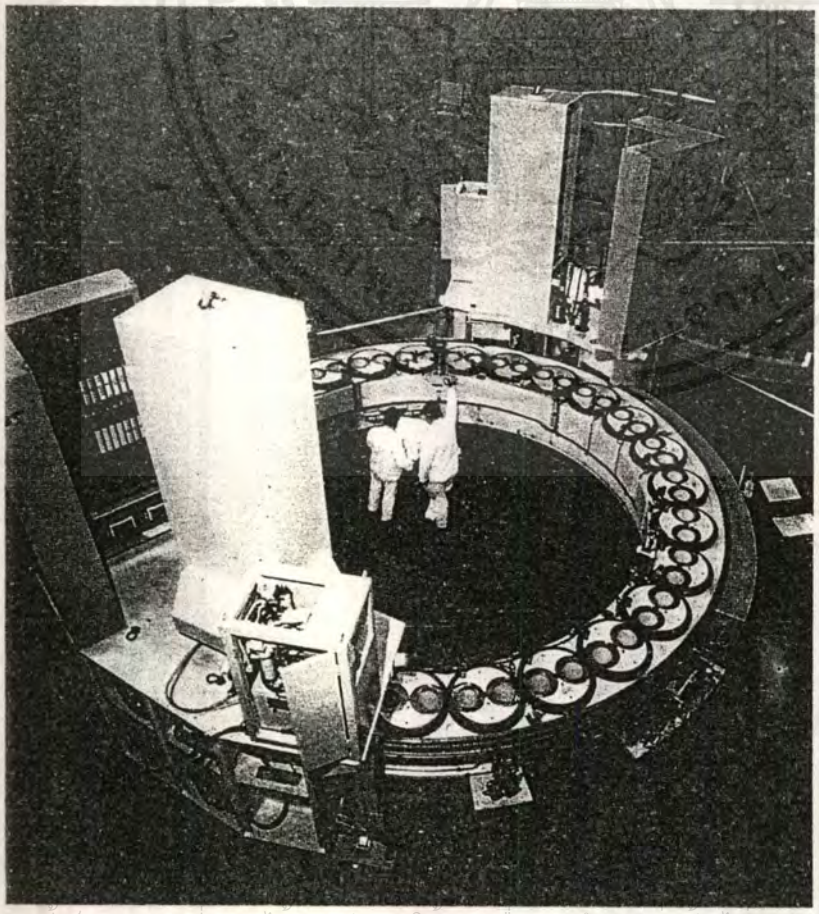


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reactor vessel shell rings made from hollow ingots



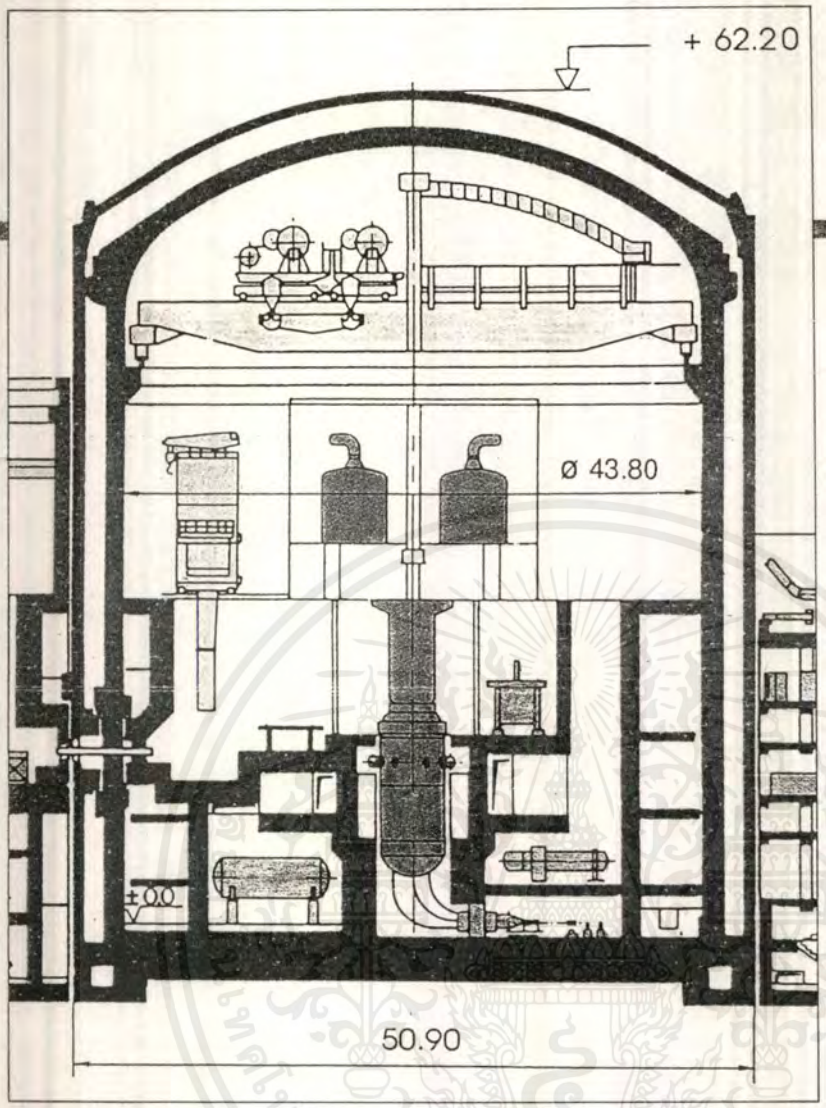
A high performance Framatome machine for reactor vessel multistud tensioning



ADVANCED DESIGN FEATURES

- Use of the Advanced Fuel Assembly (AFA).
- Employment of improved materials.
- Exceptional operating flexibility.
- Advanced reactor core protection and control.
- Reactor vessel shell rings made from hollow ingots, which enhances the quality of forged steel parts.
- Optimized performances, including an increased steam generator outlet pressure of 72 bar abs.
- Component optimization.
- Higher flow and hydraulic efficiency in the reactor coolant pumps and improved thermodynamic efficiency in the steam generators.
- Optimization of the man/machine interface.
- Advanced instrumentation and computer-aided control systems connected to programmable controllers by high speed data networks.
- Use of a sophisticated multistud tensioning machine.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Vertical cross section of the reactor building, showing the double containment and the raft.

■ ENHANCED SAFETY

The design goals for the N4 series emphasized a further enhancement of the safety characteristics, by integrating improvements resulting from the operating experience of previous 900 and 1300 MWe class units, and all the most recent requirements imposed by the French safety authorities.

The enhanced safety characteristics include consideration of more severe design criteria, complementary design conditions and degraded core conditions; man/machine interface improvements; and enhanced post-accident operation.

More Severe Design Criteria

In accordance with the "defense-in-depth" concept, the design of a nuclear power plant is based on a deterministic list of events - from normal conditions to highly unlikely accidents - called design conditions.

A more severe classification has been adopted for the N4 series compared to previous designs, concerning events for which experience feedback indicated a higher frequency than originally estimated.

For example, the steam generator tube rupture accident is now considered as a class 3 accident, with rather severe allowable consequences, while the rupture of two tubes is analyzed as a "class 4" accident.

Complementary Design Conditions

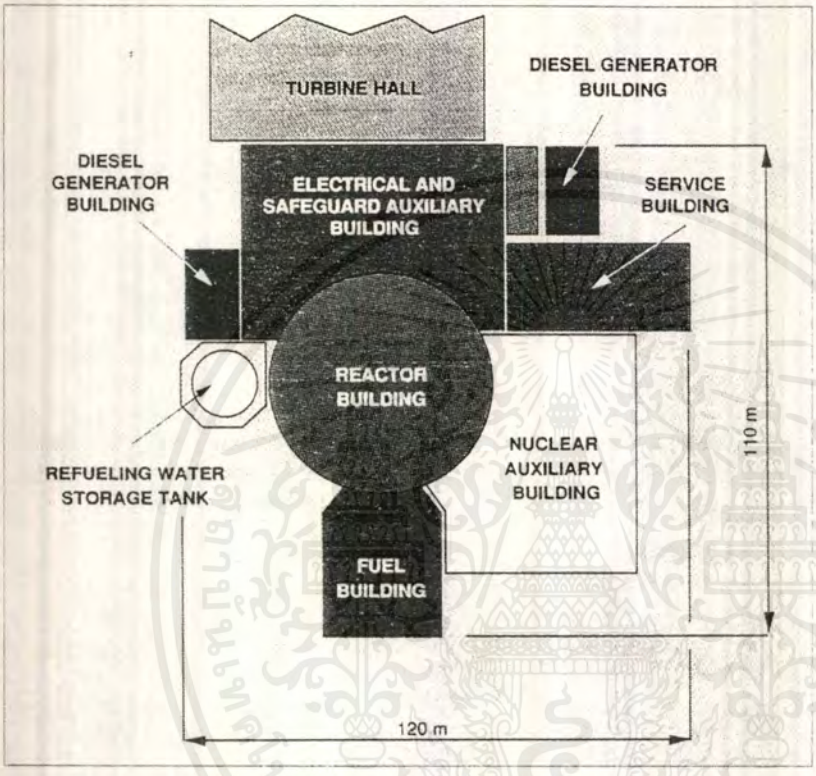
It should be noted that even for Framatome's previous 1300 MWe P4 and P'4 series, the level 1 Probabilistic Safety Assessment confirms that the core melt probability is comparable to that of other modern reactors (taking into account the same initial states and same long term studies).

For N4 series, at the request of the French Safety Authorities and in order to further decrease the core melt probability, a number of complementary design conditions, corresponding to the total failure of redundant systems, have been added.

The corresponding mitigating actions and means, termed "backup", were determined to meet the following French safety objectives:

- No unacceptable consequences should result from the operation of the unit in case of hypothetical accidents with a frequency higher than 10^{-6} per reactor year.
- For a particular family of events, this frequency can even be extended to 10^{-7} per reactor year.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Overall layout of the N4 nuclear island

Consideration of Severe Accidents

By taking into consideration the total loss of redundant systems, the probability of severe hypothetical accidents that would involve severe core degradation has been reduced.

However, within the framework of the defense-in-depth concept, allowance for these events is still made, to account for possible human error or multiple and diverse equipment failures during an accident.

At this point, it is still possible for the N4 reactors to prevent severe core degradation, thanks to the implementation of the so-called "physical state" approach for post-accident operation. This physical state approach allows the operating team to always take the appropriate actions depending on the core condition, thus avoiding further degradation.

Finally, in the unlikely case that all of the above-mentioned measures would have been ineffective, mitigation of the consequences of a core melt is taken into consideration.

The N4 reactor is provided with a large, dry, non-compartmentalized double containment, which is not susceptible to short-term failure.

To cope with the random failure of a containment penetration following a severe hypothetical accident in the reactor building, or of a safeguard circuit carrying highly contaminated water outside the containment, a special procedure designated "U2" has been developed.

The aim of this procedure is to pinpoint and seal off the leak, and to subsequently provide for re-injection, where necessary, of the contaminated water back into the reactor building.

Concerning delayed containment failure, two phenomena may be involved:

- The first one is a loss of containment leaktightness due to overpressure (caused by noncondensible gases, mainly CO and CO2, and more or less extensive vaporization of water, depending on the scenario envisaged).

The ultimate resistance time of the containment is estimated at one to several days, depending on the assumptions made. This gives the operator ample time to take action to prevent containment failure, with the best control of radioactive releases. This action, formalized by the "U5" procedure, is provided through a simple filtered venting system.

It permits reducing the source term that would result from the containment failure by at least a factor of 10, and therefore makes it compatible with feasible offsite emergency planning.

- The second one is a loss of containment leaktightness due to the attack of the raft concrete by the corium. The design features incorporated in the N4 series lead to a resistance time of six days or longer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The immediate radiological consequences remain acceptable, because of the extremely low probability of occurrence of this event and the measures that would have been taken to implement internal or external emergency planning.

Post-Accident Operation

Analysis of the incidents and accidents that have occurred in French and foreign nuclear power plants, in particular the Three Mile Island (TMI) accident, as well as experience acquired through the startup of numerous nuclear units in France and training on plant or engineering simulators, have led to a general reexamination of the post-accident operation of French nuclear power units.

The organization in France is such that in the unlikely case of a major accident, assistance from the experts of the utility, the Safety Authority, and Framatome is organized within one hour.

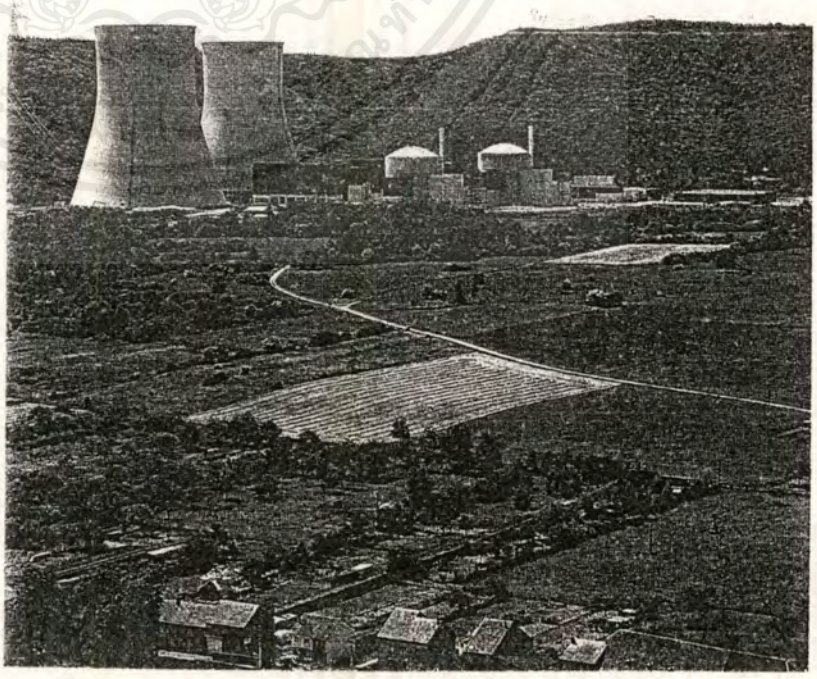
One major improvement is to consider a physical state approach to cover cases where the previous "event-oriented" approach becomes ineffective :

• The "physical state" approach, allows covering other possible accident conditions, such as multiple failures and/or combined events, and allows updating the diagnosis when systems evolve in a manner that does not conform to the predictions of the initial diagnosis.

• The "physical state" approach, based on a continuous monitoring of the physical parameters and of the systems availability, continuously defines the most appropriate operator actions.

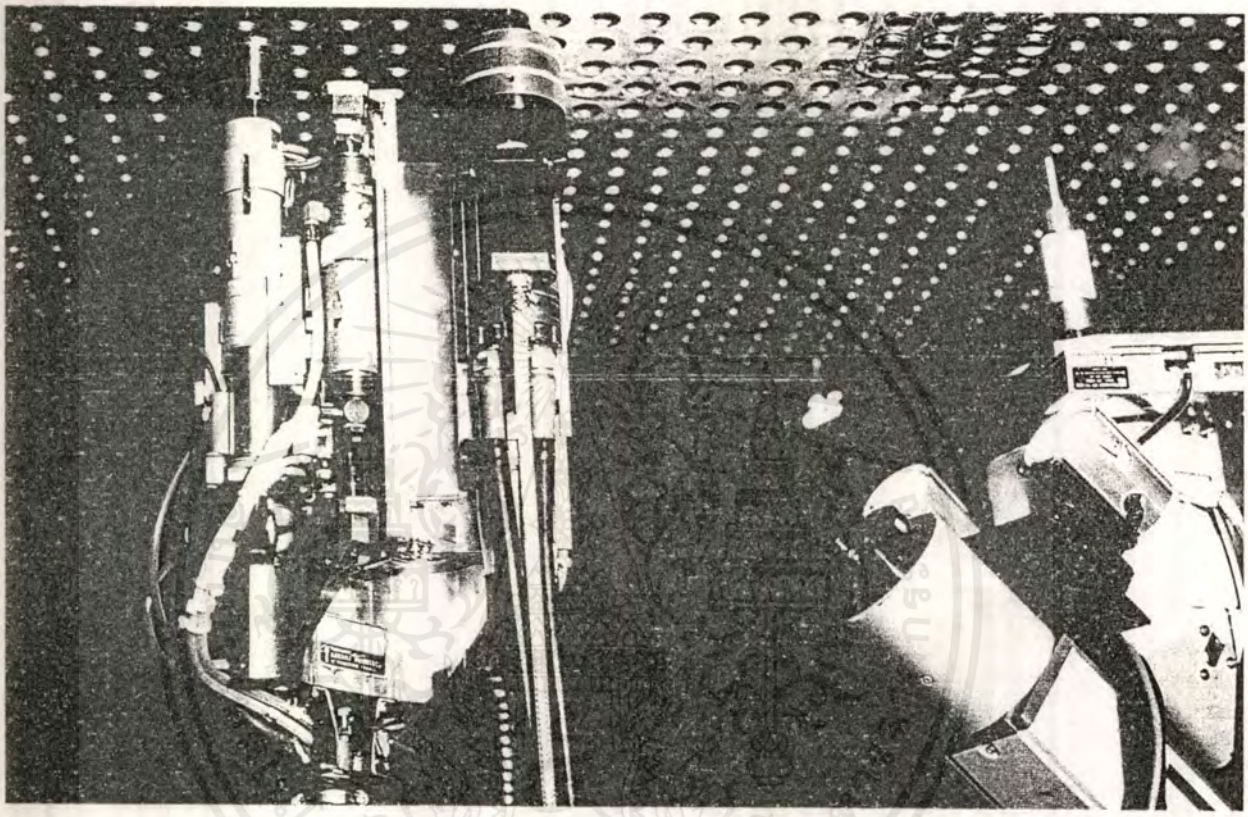
For the N4 series, all of the post-accident operating procedures are based on this "physical state" approach.

Moreover, the ultimate "U" procedures (U2 and U5) and an operator action guide provide guidance to the operator for coping with severe accidents, in connection with emergency planning.



CHOOZ (N4 Series : 2 units x 1500 MWe each)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A remote-controlled servicing tool for steam generator maintenance

■ REDUCTION IN OCCUPATIONAL RADIATION EXPOSURE

Improvement in maintainability, with subsequent reductions in occupational radiation exposure, has always been a feature of French nuclear power plant design.

The N4 series design embodies improvements in a number of areas:
- Plant layout,
- Increase in the life of critical parts by improved component design,
- Reduction in the number and duration of maintenance and inspection tasks, by reducing the number of welds, and simplification.

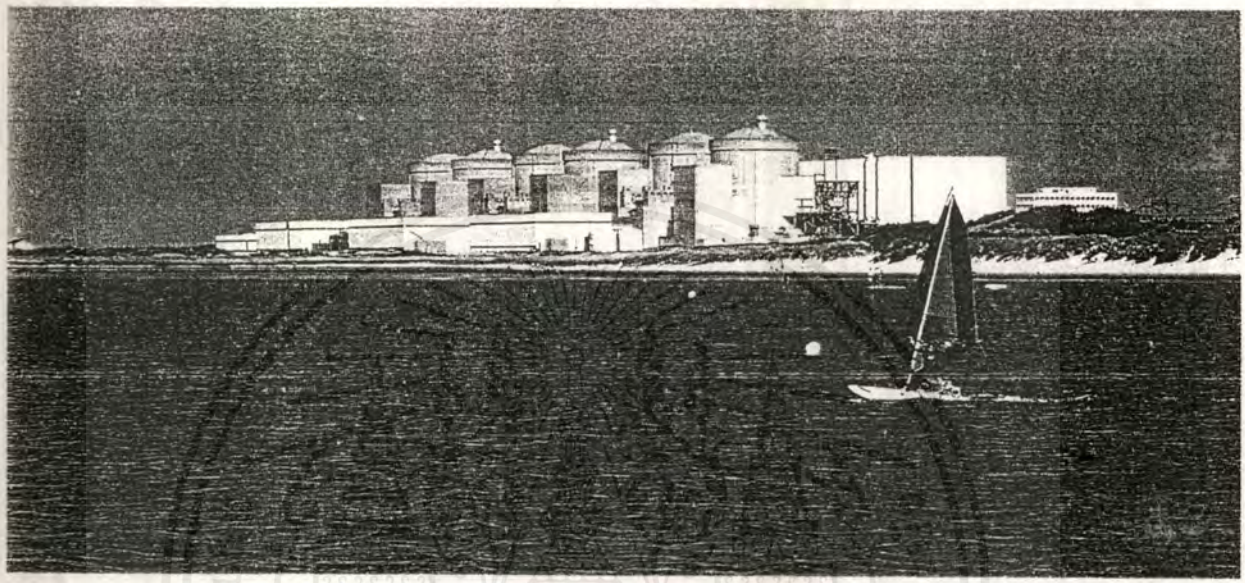
The layout improvements involve:
- Greater segregation between the radioactive and nonradioactive systems, particularly as concerns the piping paths and valve positions,
- Improved access to the steam generator channel heads and the reactor coolant pumps,
- Optimization of facilities and areas used for equipment storage during unit shutdown, and
- Geometrical improvements to facilitate decontamination.

Component improvements to reduce radiation doses have been made in the following areas:
- Selection of materials with a low rate of release of corrosion products,
- Passivation of all the NSSS component primary side surfaces.

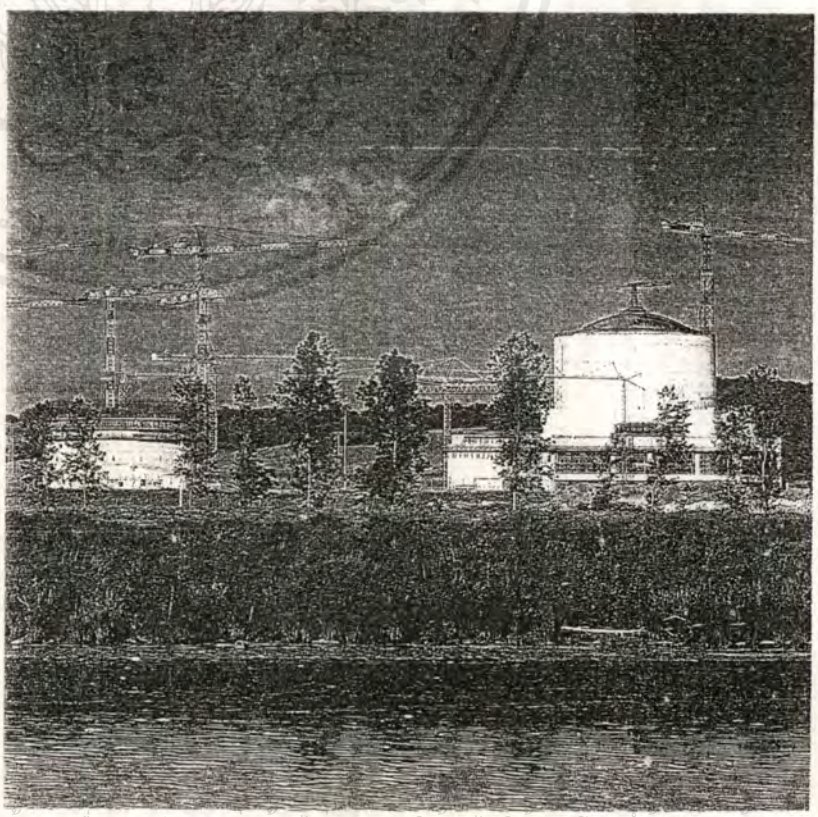
In addition, the chemical and volume control system has been supplemented with a cold purification pump, which provides a means of reducing the contamination level during shutdowns.

For N4 unit operating and maintenance personnel, all these measures will have the effect of improving the already excellent radiation protection characteristics of the French nuclear power plants.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



GRAVELINES (6 units : 900 MWe each)



CIVAUX
(N4 Series : 2 units : 1500 MWe each)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GREATER OPERATING FLEXIBILITY

Experience gained in the areas of operating flexibility and core power capability has enabled Framatome to develop a "maneuverability stretch" strategy, to comply more fully with the requirements of the French national electrical utility (EDF) in the face of an increasingly nuclear-dominated electricity supply grid.
The principle involves adjusting the power level and the core control configuration in accordance with the required operating performances.

Operating Modes

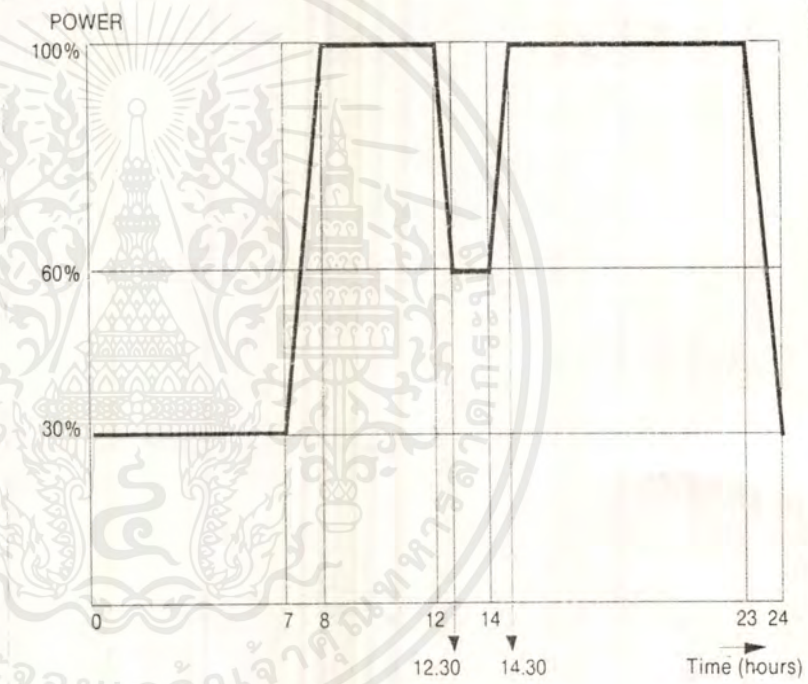
Two operating modes can be selected for the N4 series, corresponding to the strategies for operation.

- "Mode A," for base load operation, load-follow transient at low power change rates, and primary frequency control ("turbine speed control") during periods in which the unit is expected to continuously deliver maximum output power, and thus has no need for maximum flexibility.

- "Mode X," for grid following, when maximum reactor flexibility is required. It should be noted that switching from one type of operation to the other is particularly simple.

The main advantage of "Mode X" is the capability to comply with any utility requirement, such as:
- daily load follow,
- return to full power, at any time without notice, at a rate of 5% of Full Power / mn,
- return to any intermediate power level in order to achieve a compromise with effluent savings strategy,
- no boron concentration variations to minimize liquid waste volume, and,
- full frequency control capability (primary plus remote).

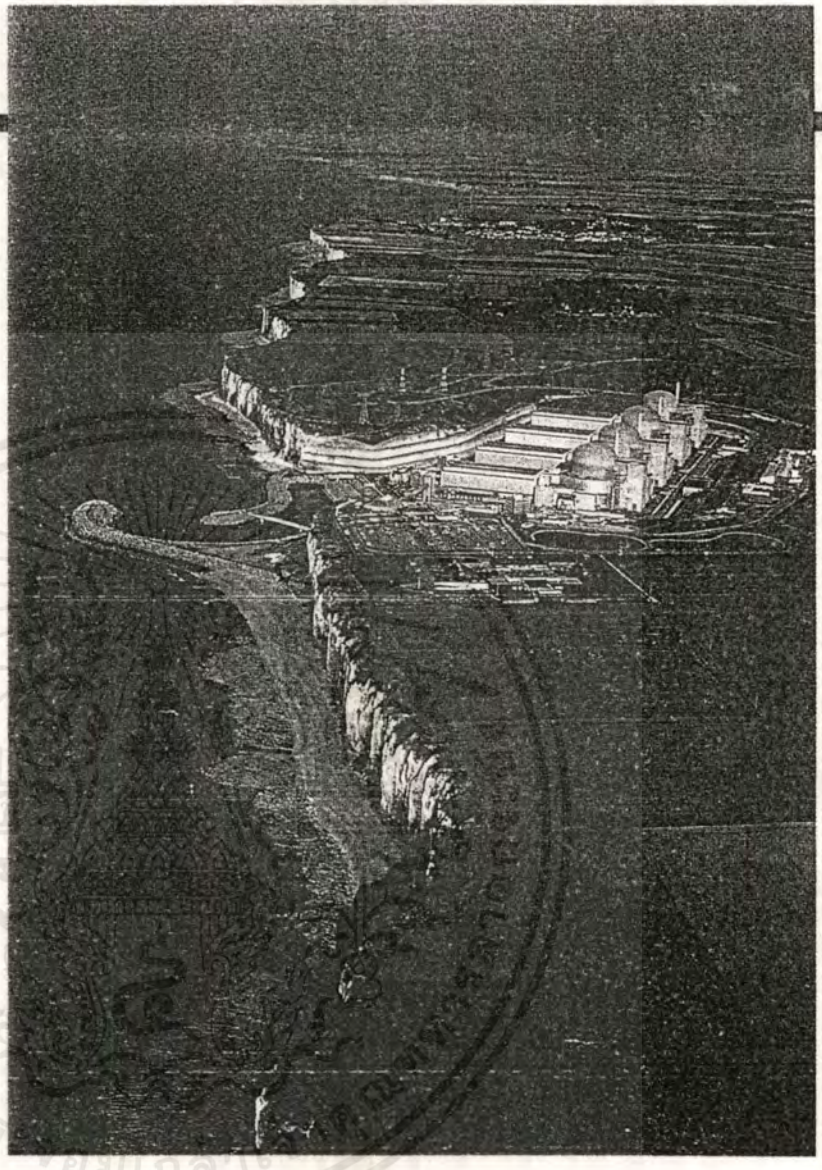
In Mode X operation, the rated NSSS thermal power is 4056 MW, to satisfy the requirements of the necessary flexibility.
In Mode A operation, it is possible to reach a maximum NSSS thermal power value of 4270 MW.



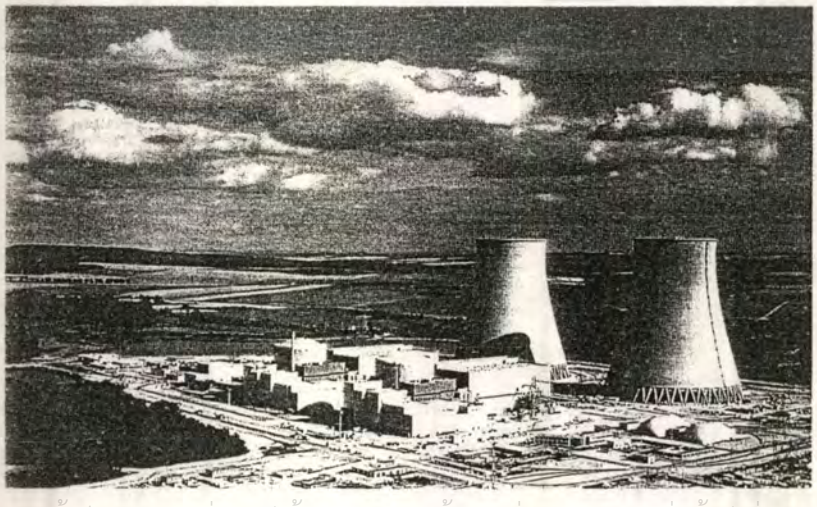
OPERATION MODE	A BASE LOAD	X "GRID FOLLOWING"
NSSS POWER (MWth)	4270	4056
FREQUENCY CONTROL - Speed control - Remote control	± 3%	± 3% ± 5%
DAILY LOAD FOLLOW	LIMITED	FULLY POSSIBLE 30% to 100% up to 5%/mn (Choice between without notice Strategy or effluent saving strategy)
SPINNING RESERVE	LIMITED	RETURN TO 100% AT ANY TIME

The different N4 operating modes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



PALUEL (P4 Series :
4 units : 1300 MWe each)

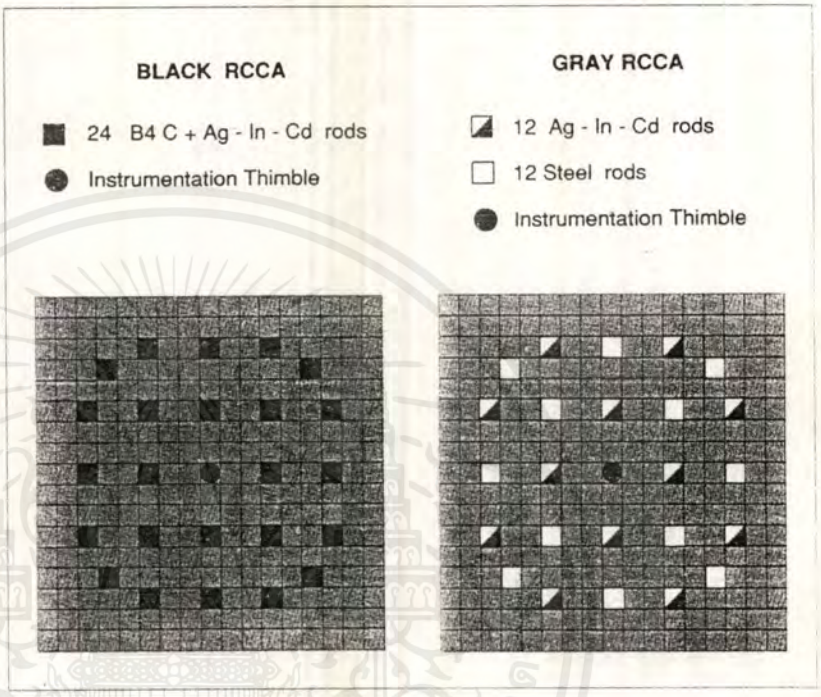


NOGENT (P'4 Series :
2 units : 1300 MWe each)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"MODE X" CONTROL BANKS
X1 bank : Four Gray RCCAs*
X2 bank : Four Black RCCAs
X3 bank : Four Gray + Four Black RCCAs
X4 bank : Eight Black RCCAs
X5 bank : Eight Black RCCAs

* *RCCA : Rod Cluster Control Assembly*



Achieving Flexibility

Mode A

In this mode of operation, the reactor is controlled by using black control rod banks, which remain slightly inserted in the core, and by varying the boric acid concentration of the reactor coolant.
Changes in the boric acid concentration are used to compensate for the medium-term (xenon poisoning) and long-term (fuel burnup) reactivity effects, as well as to keep the control rod banks at a position enabling appropriate axial-offset control.
This variation of boric acid concentration can also be achieved in automatic mode by utilizing a specific automatic controller provided for this purpose.
The allowable range of axial offset disturbance is, nevertheless, large enough to allow the unit to participate in primary grid frequency control in a range of ± 3 per cent of the maximum power (4270 MWth).

Mode X

In this mode of operation, the reactor is controlled by means of five control rod banks (X1 - X2 - X3 - X4 - X5) actuated by the Mode X core control system, which automatically and simultaneously controls the reactivity and the axial power distribution.

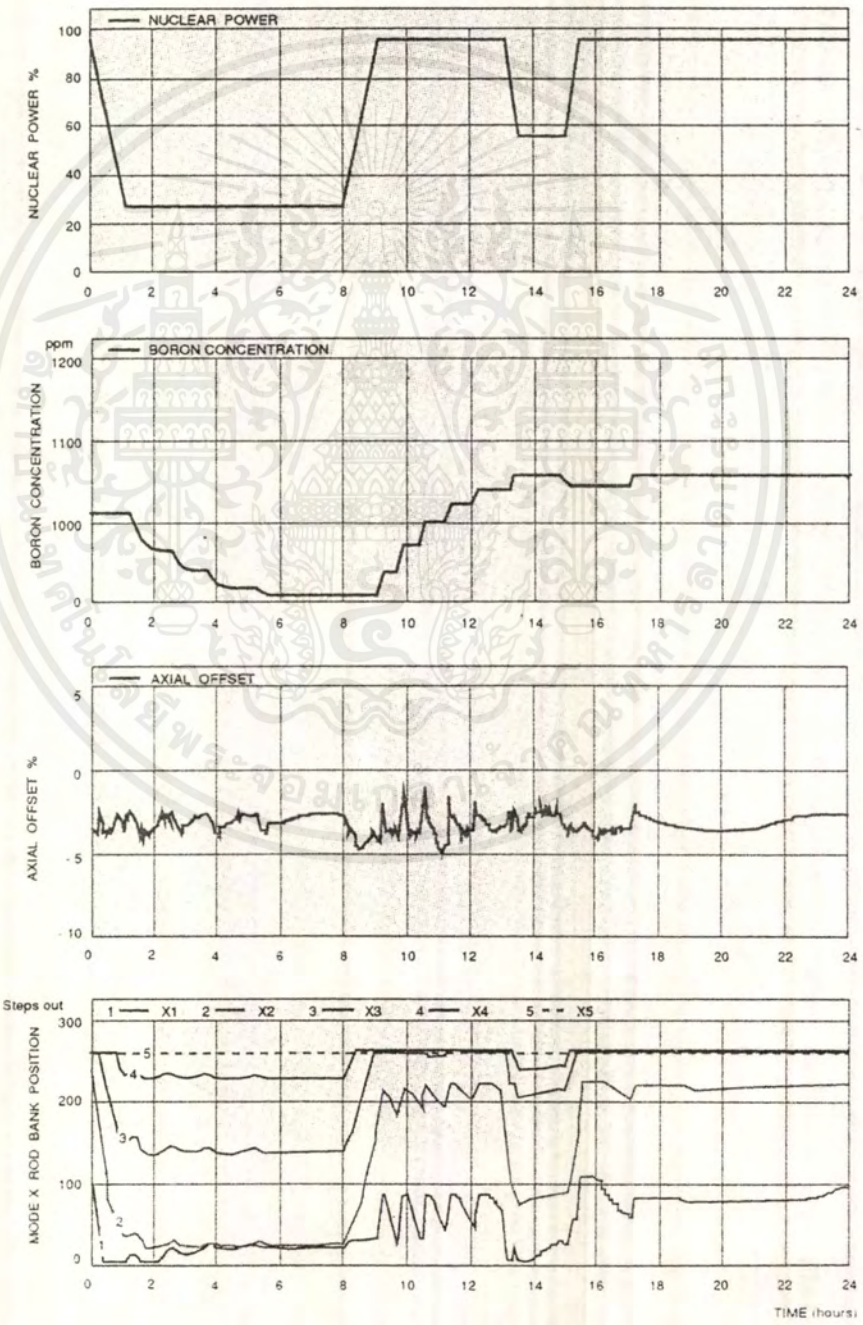
In Mode X operation, changes in boron concentration are used to compensate for long-term reactivity effect (fuel burnup), and according to the operation strategy selected :
• return to full power without notice, and
• effluent saving strategy.
The variation of boron concentration can be achieved, as in Mode A, by using a specific automatic controller.

Under these conditions, the NSSS is capable of handling all required daily load variations in a range of 30 to 100 per cent of the rated power.
The low power level generally lasts for six to eight hours and the load can vary with a speed up to 5 per cent of the rated power per minute.
A double-peak load follow diagram, particularly constraining for the compensation of xenon poisoning, can also be achieved.
Primary frequency control (turbine speed control) and remote frequency control combined with load following can accommodate random load variations of up to ± 3 per cent and ± 5 per cent, respectively (without exceeding the power level).
This type of operation is called "grid following".
Return to full power, even without notice, can be carried out at rates of up to 5 per cent of full power per minute, over a large range of power levels.
The availability of these two modes of operation, A and X, provides the N4 with exceptional operational flexibility while retaining the capability to provide a high base load power output.

Reactor tests were conducted at the St. Alban NPP (one of the P4 series unit), leading to Mode X qualification, and confirmed the excellent flexibility provided by this mode of operation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

" MODE - X " TWO - PEAK DAILY LOAD FOLLOW
(without notice strategy)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE N4 NUCLEAR ISLAND

OPTIMIZED REACTOR CORE

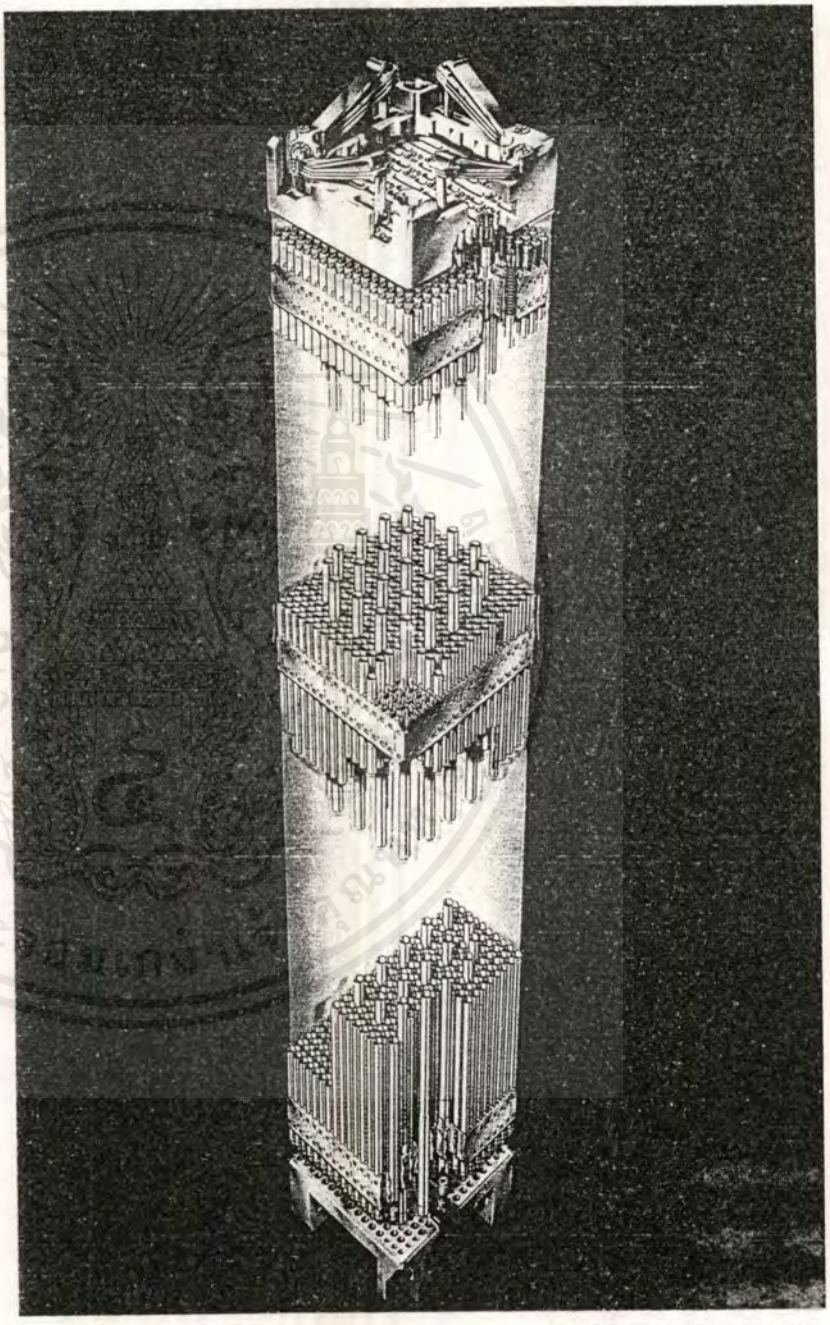
The core size has been increased from 193 fuel assemblies in the French 1300 MWe PWRs to 205 in the N4 reactor, while keeping the same core height.
The enrichment of the reloads is 3.4% and the planned discharge burnup is 39,000 MWd/tonne.
The fuel management mode adopted for the French N4 units is based on an annual refueling outage, with one-quarter of the core being replaced each time.

Advanced Fuel Assembly (AFA)

The N4 core design is based on the 17 x 17 Advanced Fuel Assembly (AFA) developed by Fragema and Framatome. In the N4, the exact fuel assembly model employed is the extra-long AFA, known as the "AFA XL".

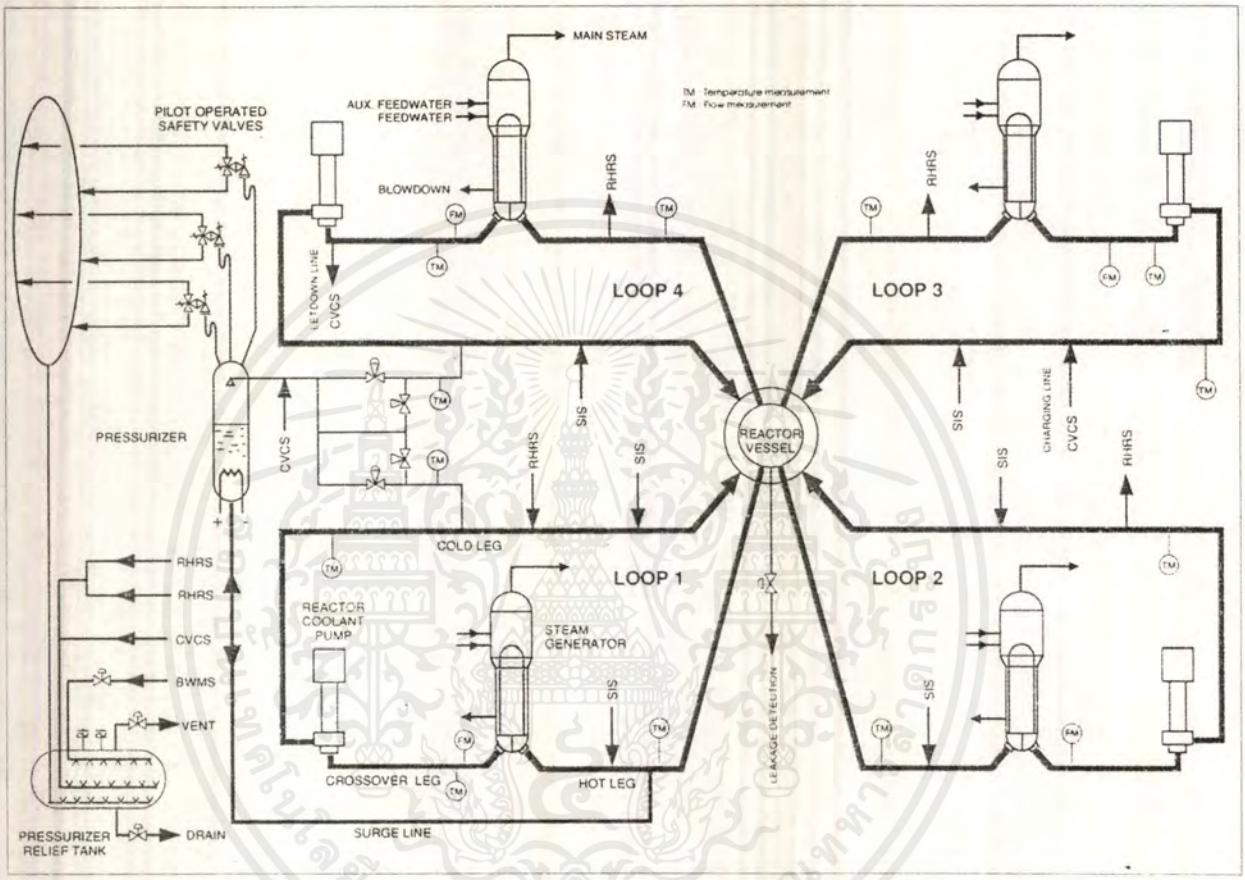
The basic geometry of this fuel assembly and its technology are identical to those of the standard 17 x 17 fuel assembly widely in use today. The AFA fuel design thus benefits from the substantial operating experience acquired with the 900 and 1300 MWe class PWR units in service. However, the AFA offers the following improved features, compared to standard fuel assemblies:

- Use of Zircaloy 4 as the grid material (lower neutron absorption), leading to a lower enrichment of the fuel. In addition, Zircaloy's lower cobalt content significantly reduces the radioactivity levels in the reactor coolant.
- Removable upper and lower endpieces, so that a defective fuel rod can be replaced from either end of the assembly.
- Simpler grid mechanical design, which improves the thermal-hydraulic performance and facilitates fuel assembly handling.
- Low tin content in the cladding material, which provides better corrosion resistance.



The Advanced Fuel Assembly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ADVANCED-DESIGN REACTOR COOLANT SYSTEM

The specificity of the N4 reactor coolant system is that it does not have temperature bypass manifolds on its loops.

Reactor Vessel

Consistent with the decision to increase the core size, the inner diameter of the reactor vessel has been increased from 4.4 m for the P'4 to 4.5 m for the N4.
Like the proven P'4 vessel design, the N4 vessel is built from a number of forged parts.

The vessel is clad internally with two layers of stainless steel. Moreover, the use of hollow ingots to make the forgings improves the metallurgical properties of the material in the vicinity of the reactor vessel cladding.

Also, a significant reduction in the reference nil ductility transition temperature at end of life has increased the margins with respect to brittle fracture; a reduced internal diameter of the in-core instrumentation penetrations through the lower vessel head is favorable from a safety standpoint; and an improved geometrical profile of the nozzles facilitates inspection of the welds and of the adjacent material.

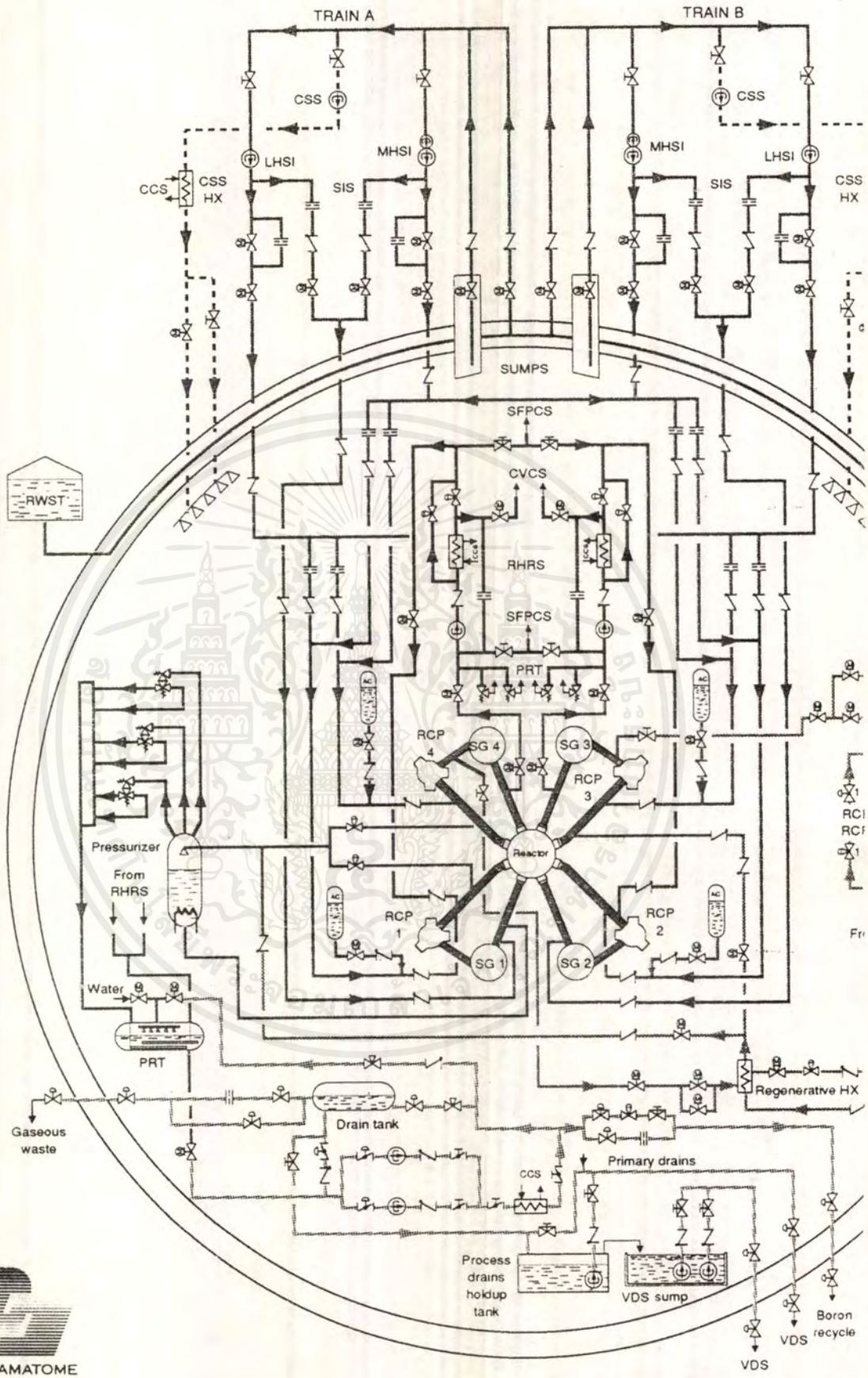
Reactor Internals

The upper internals employ the "inverted hat" configuration, which allows a simpler design of the guide tube support plate.

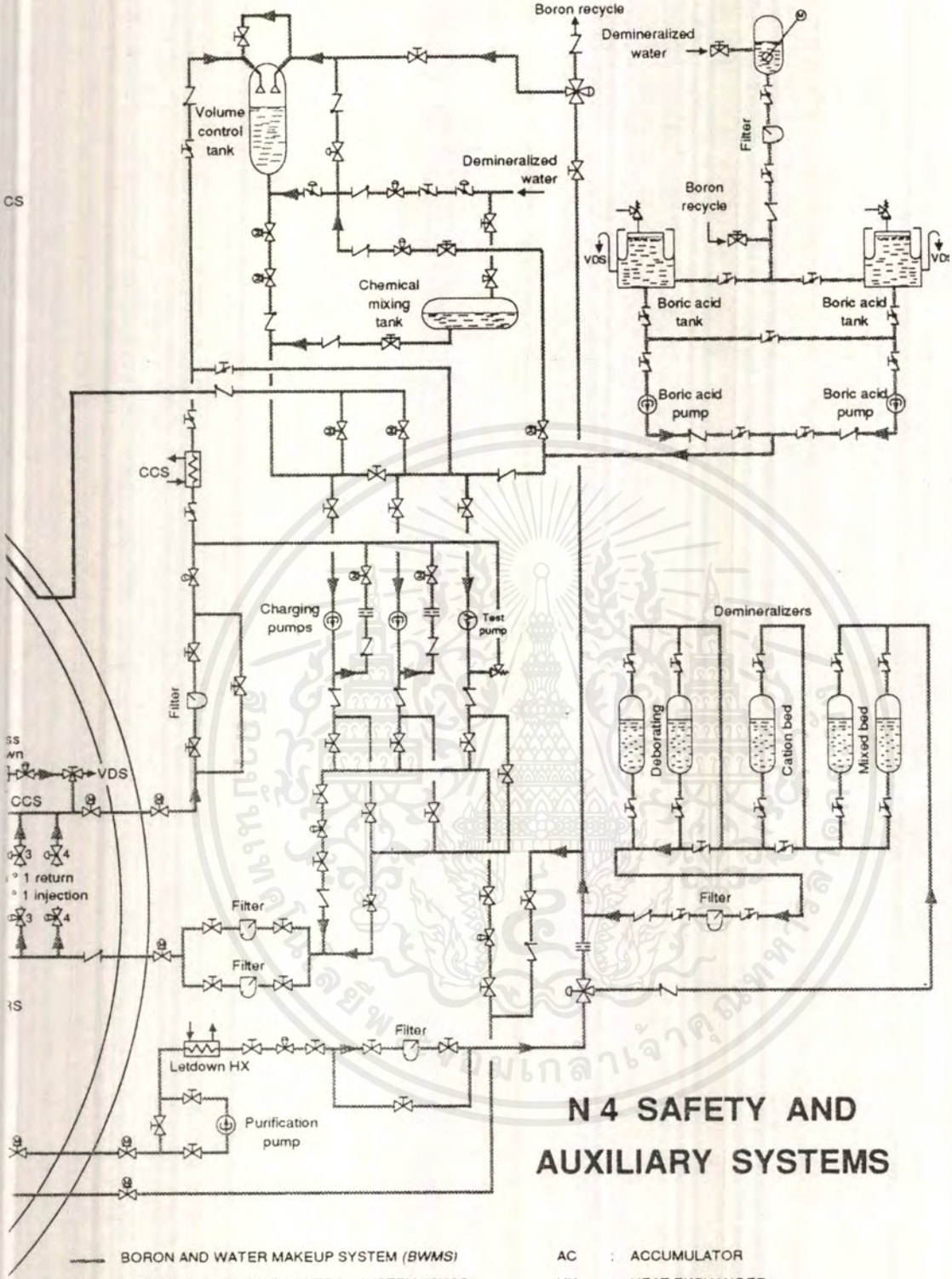
Moreover, the N4 control rod cluster guide tubes incorporate improved guide tube pins of larger cross section.

Neutron shields are built into the N4 reactor internals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



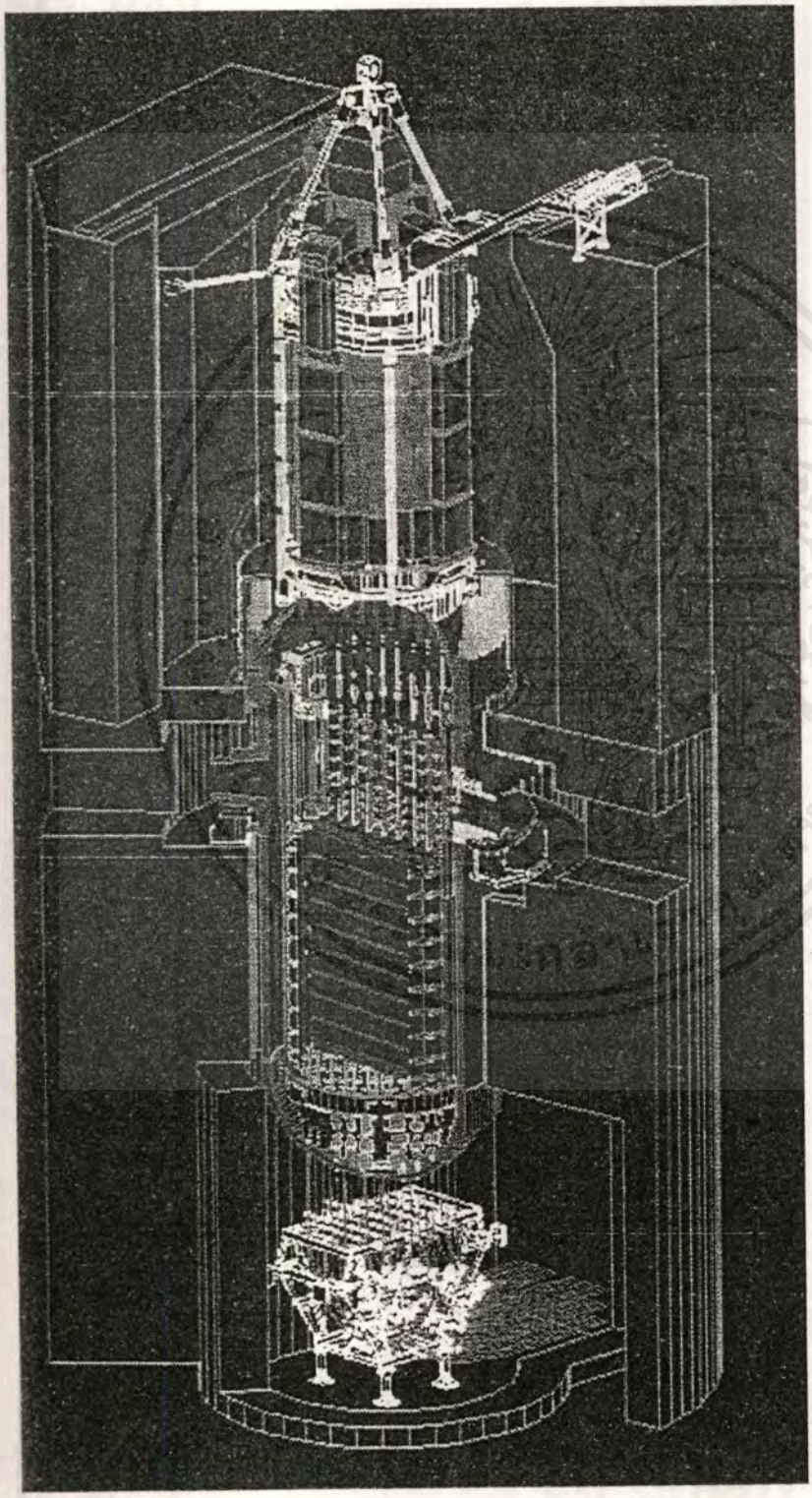
N 4 SAFETY AND AUXILIARY SYSTEMS

- BORON AND WATER MAKEUP SYSTEM *(BWMS)*
- CHEMICAL & VOLUME CONTROL SYSTEM *(CVCS)*
- CONTAINMENT SPRAY SYSTEM *(CSS)*
- REACTOR COOLANT SYSTEM *(RCS)*
- RESIDUAL HEAT REMOVAL SYSTEM *(RHRS)*
- SAFETY INJECTION SYSTEM *(SIS)*
- VENT AND DRAINS SYSTEM *(VDS)*
- COMPONENT COOLING SYSTEM *(CCS)*
- SPENT FUEL PIT COOLING SYSTEM *(SFPCS)*

AC	:	ACCUMULATOR
HX	:	HEAT EXCHANGER
LHSI	:	LOW HEAD SAFETY INJECTION
MHSI	:	MEDIUM HEAD SAFETY INJECTION
PRT	:	PRESSURIZER RELIEF TANK
RCP	:	REACTOR COOLANT PUMP
RWST	:	REFUELING WATER STORAGE TANK
SG	:	STEAM GENERATOR

SMGM - 07'92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Control Rod Drive Mechanisms

The electromagnetic jack control rod drive mechanisms are identical to those of the French 1300 MWe P'4 units.

The double-toothed gripper latch arms, which were qualified on the "Super Bec" test loop, reduce latch arm wear despite an increased number of motion steps due to grid following and remote frequency control.

N4 reactor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

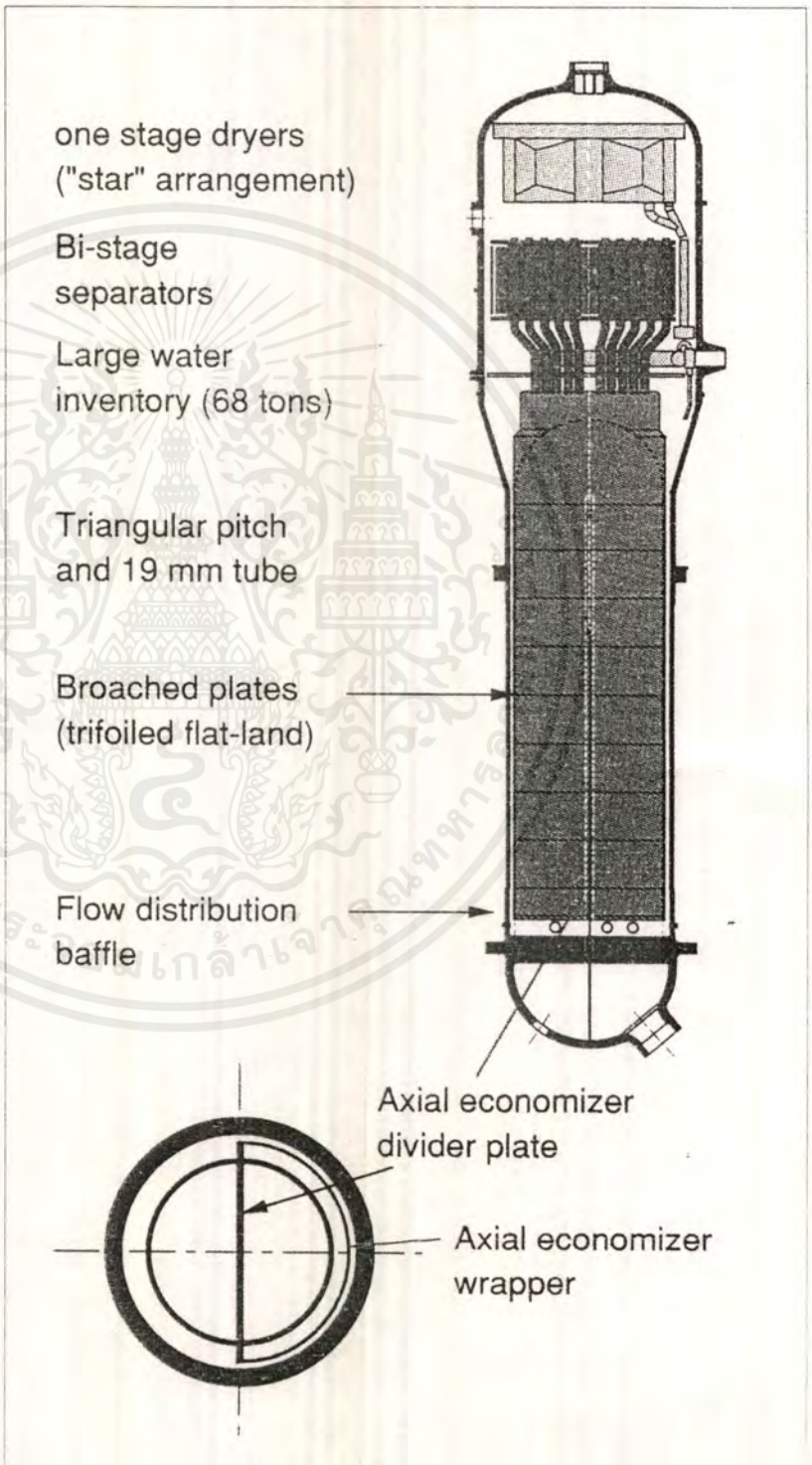
Steam Generators

One of the major advances in the N4 nuclear steam supply system is a new steam generator design.

The most important features of the new model 73/19 E steam generator include:

- An axial mixed-flow economizer of innovative design.
- A larger heat transfer surface (7300 m^2),
- Greater tube bundle compactness, thanks to the use of a triangular-pitch tube array with standardized 19 mm outer diameter tubes,
- Larger diameter access manholes to the steam side of the tube sheets to facilitate inspection and maintenance operations,
- Use of thermally treated Inconel 690 as the tube material,
- Improvements of the separators and steam dryers, to provide a larger operating range and to reduce the size of the steam drum,
- Separate nozzles for main feedwater and auxiliary feedwater to avoid thermal shocks on main feedwater lines,
- Advances in the areas of reliability (minimized tube sheet deposits), ease of inspection (easier access to welds), and maintainability,
- Larger heat transfer surface and new axial economizer, increasing outlet steam pressure to 72 bar abs.

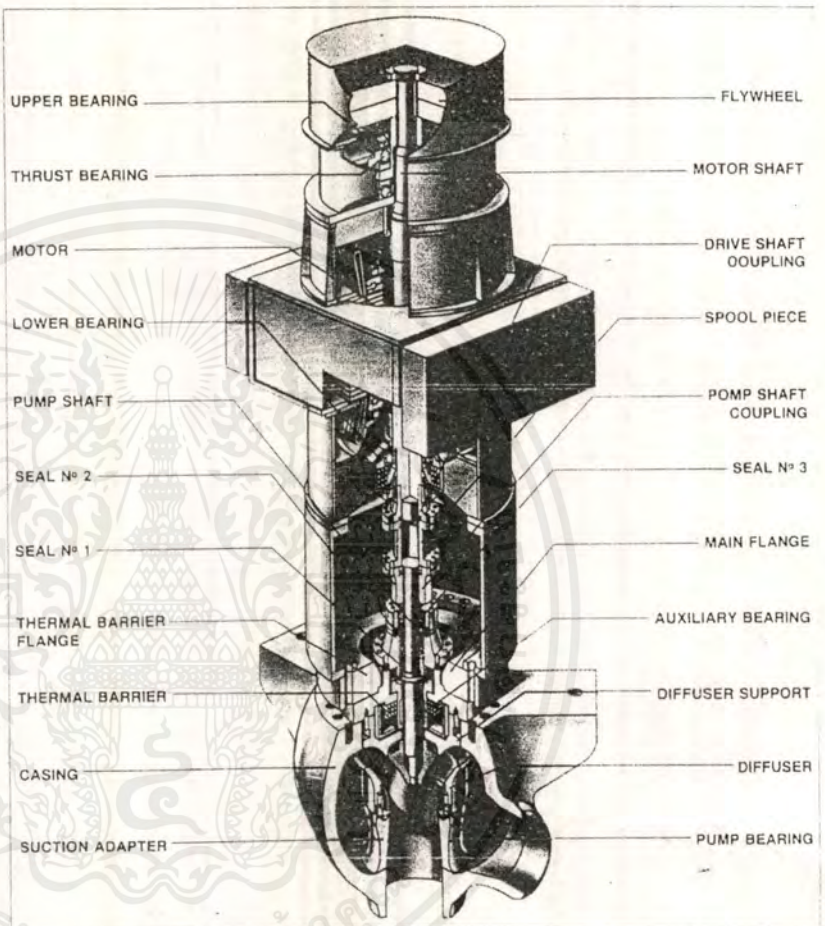
The N4 steam generator's high performances were qualified on the "Mégève" test loop by both French Atomic Energy Commission (CEA) and Framatome. The "Mégève" steam generator is a thin N4-type axial economizer steam generator with 25 MW thermal power capacity, and full scale in height.



73/19 E Steam Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Model N24 reactor coolant pump



The numerous tests also demonstrated the higher outlet steam pressure and the better steam quality at the steam generator outlet.

The smaller-diameter tube bundle, resulting from the use of triangular-pitch tube array, leads to a corresponding reduction in the diameter of the tube sheet and the associated support ring, which is made from a single forging.
It has also been possible to reduce the dimensions of the steam drum with respect to those of the previous steam generator model by introducing small-diameter modular moisture separators and by rearranging the dryers into a single-stage "star array".
The generic improvements made in the 900 MWe and 1300 MWe series steam generators have, of course, been carried over into the model 73/19E.
These include measures to ensure an enhanced hydraulic flow above the tube sheet, an improved tube expansion method, stainless-steel broached trefoil tube support plates, and final heat treatment of the tubing.

Reactor Coolant Pumps

While keeping a number of improvements already implemented in the model 100 pump used in the P4 and P'4 series (radial-discharge single piece casing, and a diffuser incorporated into the hydraulic stage) other significant advances have been adopted in the design of the model N24 pump for the N4 units.
The result is that the N24 pumps are more compact and more efficient.

For example, the new hydraulic design for the impeller-diffuser casing enables higher hydraulic efficiency to be attained.

The N24 pump also features a hydrostatic bearing surrounding the impeller, an arrangement specifically designed to reduce shaft vibration.

The design of the thermal barrier protecting the seals has also been modified to improve its effectiveness and to provide easier access during inspection and maintenance.

The pump-side coupling sleeve, meanwhile, has been designed to be shrunk onto the pump shaft by means of oil pressure. This makes it possible to significantly reduce the servicing time with respect to the model 100 pump, which uses thermomechanical shrinkage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

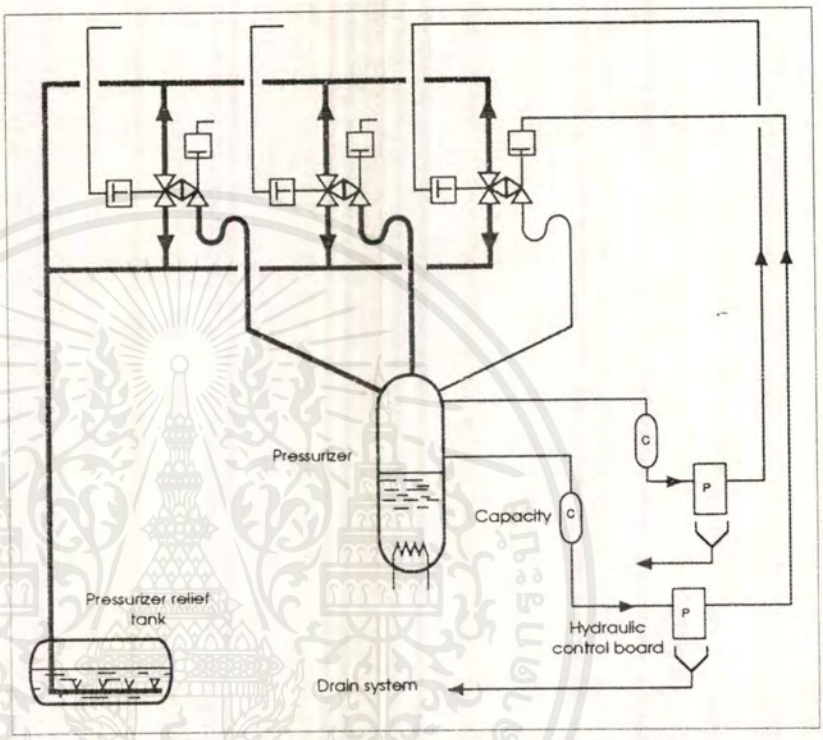
Pressurizer and Reactor Coolant Overpressure Protection

Designed to meet the post-TMI concerns as to the reliability of reactor safety, the N4 pressurizer is equipped with a special overpressure protection subsystem.

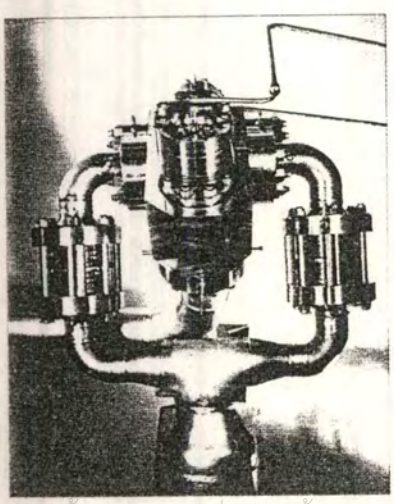
It comprises three discharge lines, each one equipped with two pilot-operated safety valves mounted in tandem ; the pilot fluid being the condensed steam of the pressurizer. The first pilot-operated safety valve remains closed at operating pressure and opens in the event of overpressure. The second pilot-operated safety valve which has two-way discharge, ensuring the isolation function, remains open at operating pressure, and closes if the reactor coolant system depressurizes.

All three lines participate in overpressure protection. These valves are qualified to discharge steam, mixed steam and water, and only water.

The specificity of the N4 is that, on each line, both safety valves are assembled in a common body.

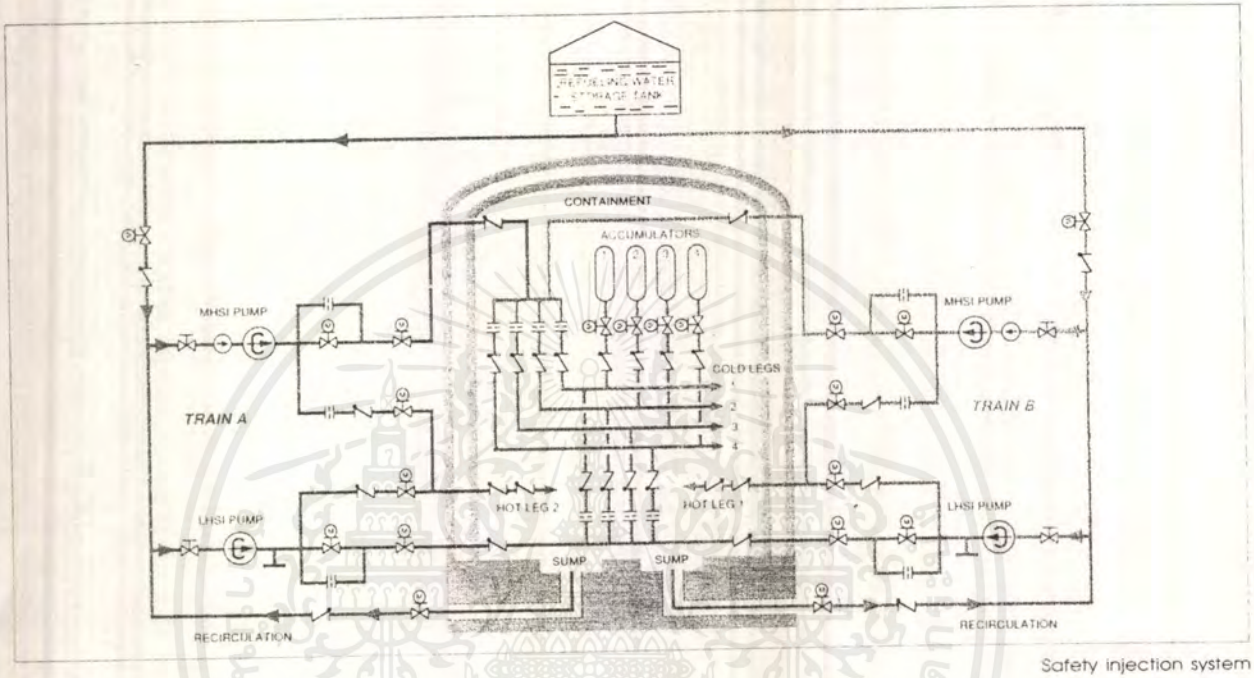


Overpressure protection using Pilot-Operated Safety Valves (POSVs)
Each line comprises :
- a tandem of POSVs. one for pressure release, the other for redundant isolation
- a water seal to ensure perfect valve leaktightness
- a pilot cabinet



Pilot-operated safety valves mounted on a test bench

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Safety injection system

SEPARATE AND REDUNDANT SAFETY SYSTEMS

The general organization and design of the safety systems adhere to both the "two-train" concept, (each system is composed of two totally separate redundant sub-systems or "trains") and complete separation of functions (each safety function being ensured by a dedicated system).

Safety Injection and Containment Spray Systems

The main function of the safety injection system is to cool the core in the event of a break in the reactor coolant system.
The system consists of two identical trains, each having one medium-head pump and one low-head pump, capable of injecting cold water into all four loops, together with four accumulators on the cold legs.
The containment spray system, which removes heat from the containment to the heat sink, consists of two identical trains, each having one pump, one heat exchanger, and two spray rings.
The safety injection and containment spray systems operate only in case of accident.
Planned maintenance can be performed during reactor shutdown. Repairs may be performed during reactor operation only for a limited period of time ; however, experience feedback shows that the unavailability due to safeguard system repair during operation is very low. Therefore, no additional redundancy is necessary.
The two systems are cross-connected to allow long-term mutual backup in case of total loss of either system. Moreover, specific equipment in the form of a pump and/or heat exchanger can be used in case of successive equipment failures.

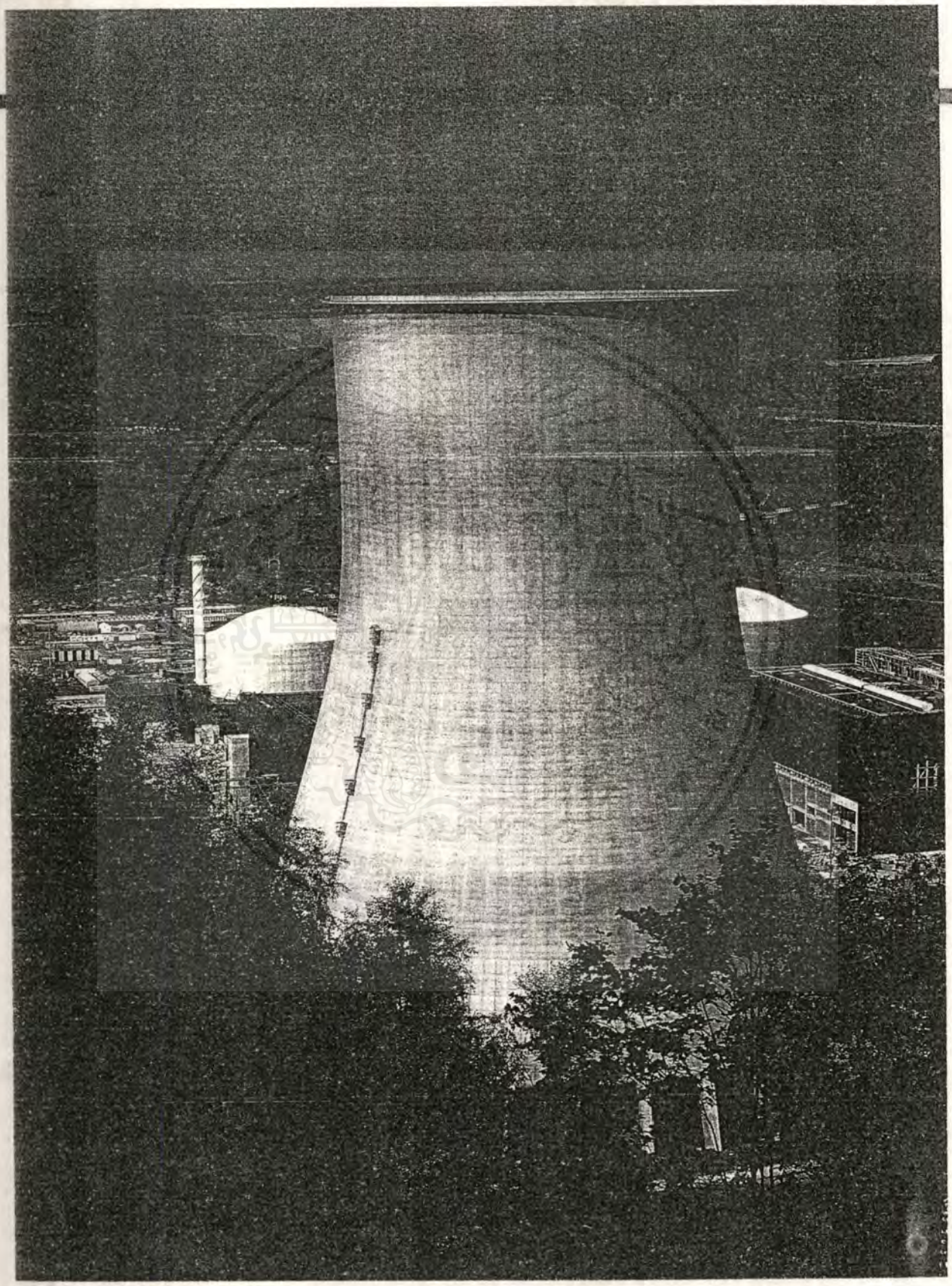
Auxiliary Feedwater System

The auxiliary feedwater system removes residual heat from the core through the steam generators, either during normal shutdown or after an accident when the reactor coolant system is at high pressure.

It consists of two independent and physically separated trains, each having one motor-driven pump and one turbine-driven pump.

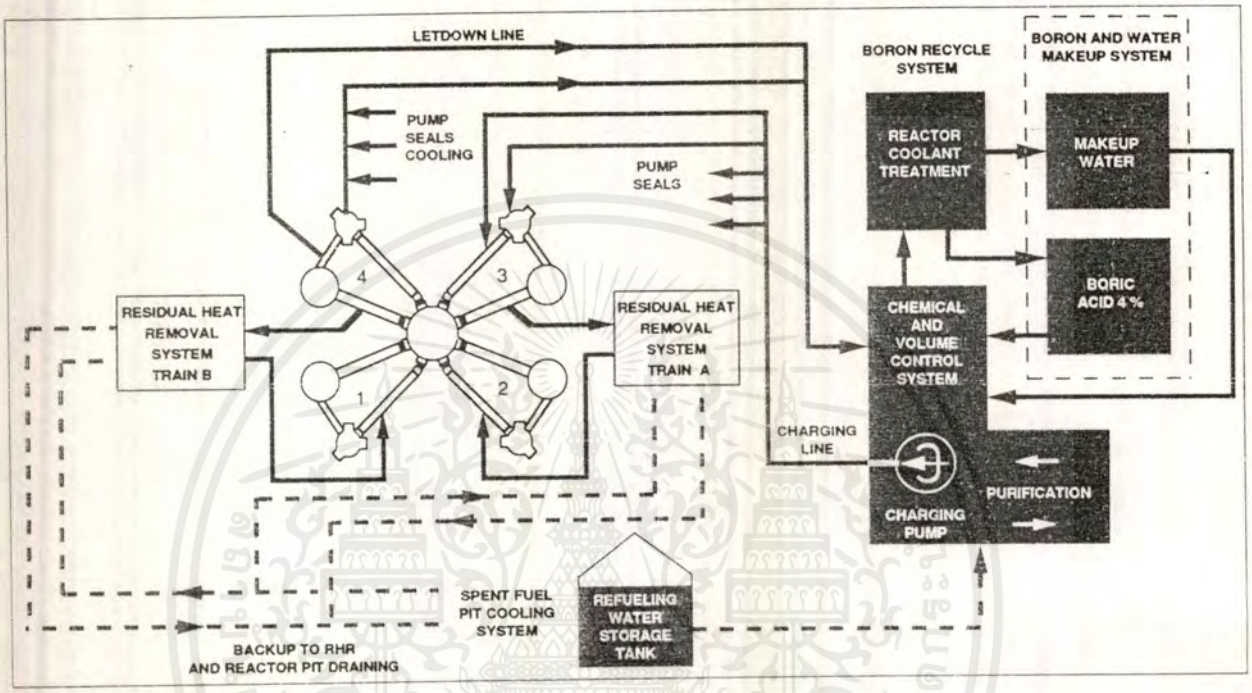
Should there be a total loss of feedwater to the steam generators, the pressurizer pilot-operated safety valves are used to bleed the reactor coolant system, which is fed by the chemical and volume control system, thus providing cooling of the reactor core. Heat is transferred via evaporation into the containment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CHOOZ (N4 Series : 2 units : 1500 MWe each)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Reactor auxiliary systems

IMPROVED REACTOR AUXILIARY SYSTEMS

Chemical and Volume Control System

The chemical and volume control system controls the reactor coolant volume, chemistry, and reactivity during normal operation.

The use of a high pressure control valve for letdown flow control (instead of the orifices of earlier designs), significantly decreases thermal shocks in the non-regenerative heat exchanger and charging line.

The hydrotest pump of the chemical and volume control system is also used to ensure continuous water injection to the reactor coolant pump seals in the event of a total loss of electrical power. The electrical supply to this pump is provided by a small turbine-generator set, fed from the steam generators.

The reactor boron and water makeup system supplies demineralized-deaerated water, boric acid solution, and chemicals for corrosion inhibition to the chemical and volume control system.

Residual Heat Removal System

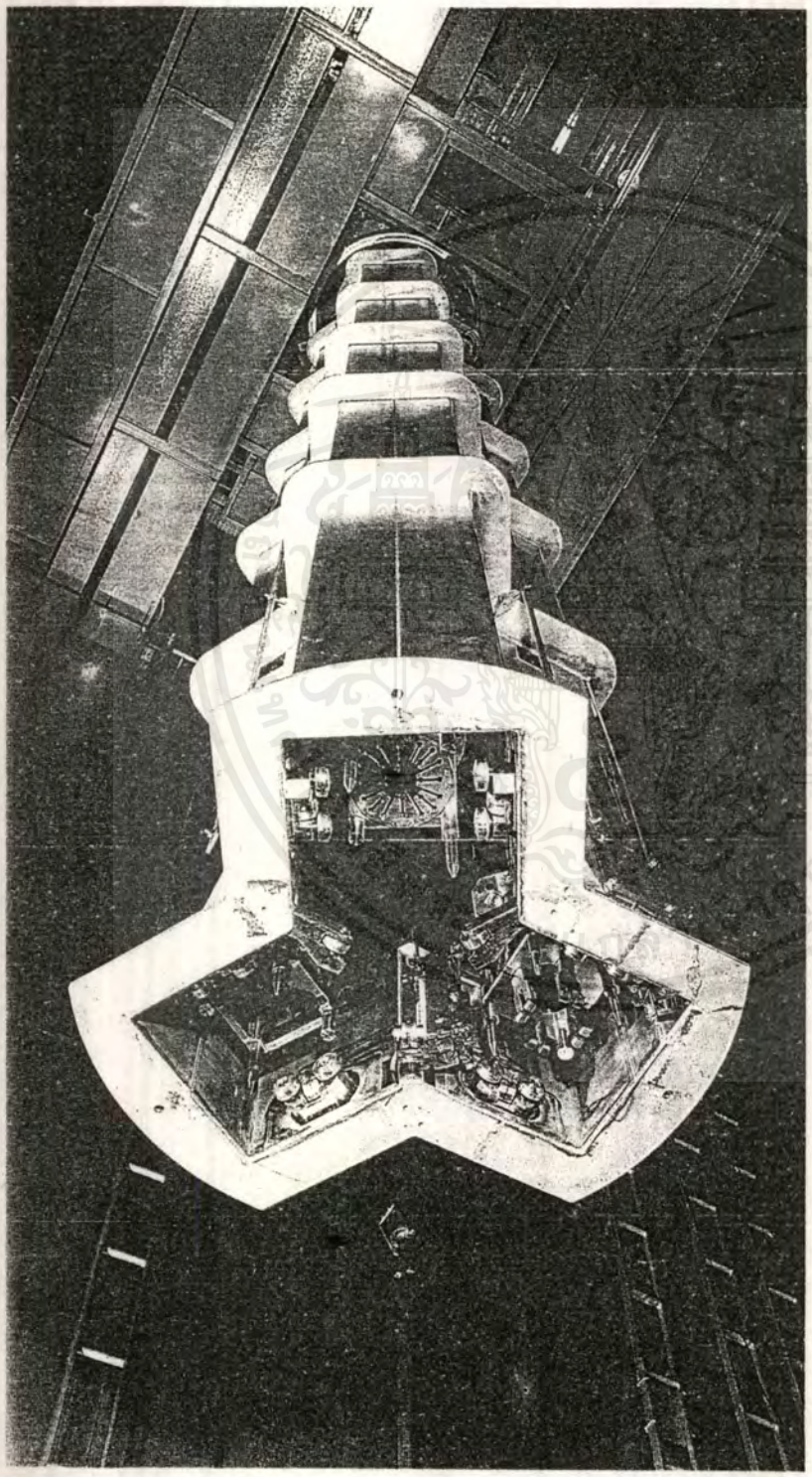
The residual heat removal system removes residual heat from the core during normal shutdown or under certain accident conditions, once a sufficiently low pressure is reached.

It consists of two identical independent trains, each having one pump and one heat exchanger, located inside the reactor containment.

Although the system only operates when the unit is shut down, it is not accessible for maintenance during unit operation, as it is installed inside the reactor containment. A functional redundancy is therefore provided in the form of the spent fuel pit cooling system.

Moreover, the total loss of the residual heat removal function is considered. In this case, heat is removed by the steam generators or by bleed and feed of the reactor coolant system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The triple-mast fuel manipulator crane, bottom view

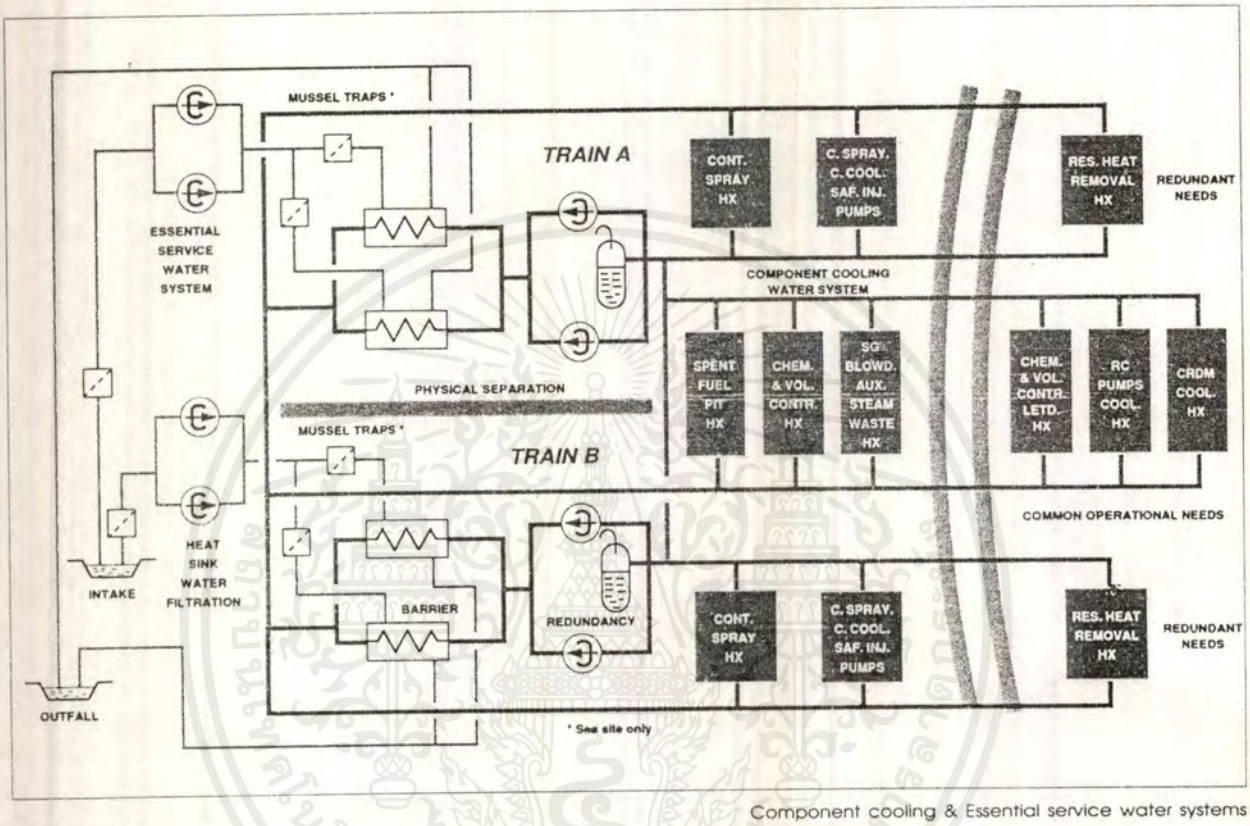
Fuel Handling and Storage System

The fuel handling equipment for the N4 units is the same as that used in the P4/P'4 series. The fuel manipulator crane includes three telescopic masts and a drum, which enables the fuel assemblies, the control rod clusters, and the thimble plug assemblies to be held separately. This device permits the changeover of the rod clusters directly in the reactor vessel and reduces the time for fuel reloading.

The N4 units are also equipped with high-density spent fuel storage racks. The pitch of the storage cells in each rack is reduced by incorporating a composite neutron absorbing material called "Cadminox"* in the rack structure. The N4 spent fuel pit can accommodate 612 fuel assemblies.

* Cadminox is a registered trade mark.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Component cooling & Essential service water systems

REDUNDANT AUXILIARY COOLING WATER SYSTEMS

Reactor Cavity and Spent Fuel Pit Cooling and Treatment System

The main function of this system is to remove residual heat from the spent fuel stored in the spent fuel pit.

As in all French PWR units, it comprises two redundant pumps and two redundant heat exchangers, which operate continuously.

The necessary redundancy in case of maintenance or repair is ensured by the considerable thermal inertia of the spent fuel pit water.
This system can also ensure the functional redundancy of the residual heat removal system under specific conditions.

Component Cooling and Essential Service Water Systems

The component cooling system removes heat from various heat exchangers (residual heat removal, containment spray, etc.) and components to the ultimate heat sink, via the essential service water system.

It consists of two independent safety trains and a set of common users, which can be supplied by either train. Each train includes two redundant pumps and two heat exchangers (between the component cooling system and the essential service water system).

This structure is used in all French PWR units.

Maintenance can therefore be performed on the active components at any time, since these systems operate continuously. Moreover, their possible total loss is taken into account.

In this case, reactor cooling is ensured by natural circulation of the reactor coolant through the steam generators. The auxiliary feedwater system transfers heat from the steam generators to the atmosphere, via the atmospheric steam dump.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STATE-OF-THE-ART I&C SYSTEMS

Over the last 10 years, Electricité de France (EDF) which is the French national electrical utility, Framatome, and Instrumentation and Control (I & C) equipment manufacturers have acquired vast experience in digital Instrumentation and Control systems.

This experience has been built up through the series of standardized 1300 MWe class PWR units and has enabled France's nuclear industry to specify and design the most modern Instrumentation and Control systems, to be installed in the new 1500 MWe N4 nuclear power units.

These systems represent a new standard of achievement in integrating microprocessor and local area network technologies for nuclear power applications.

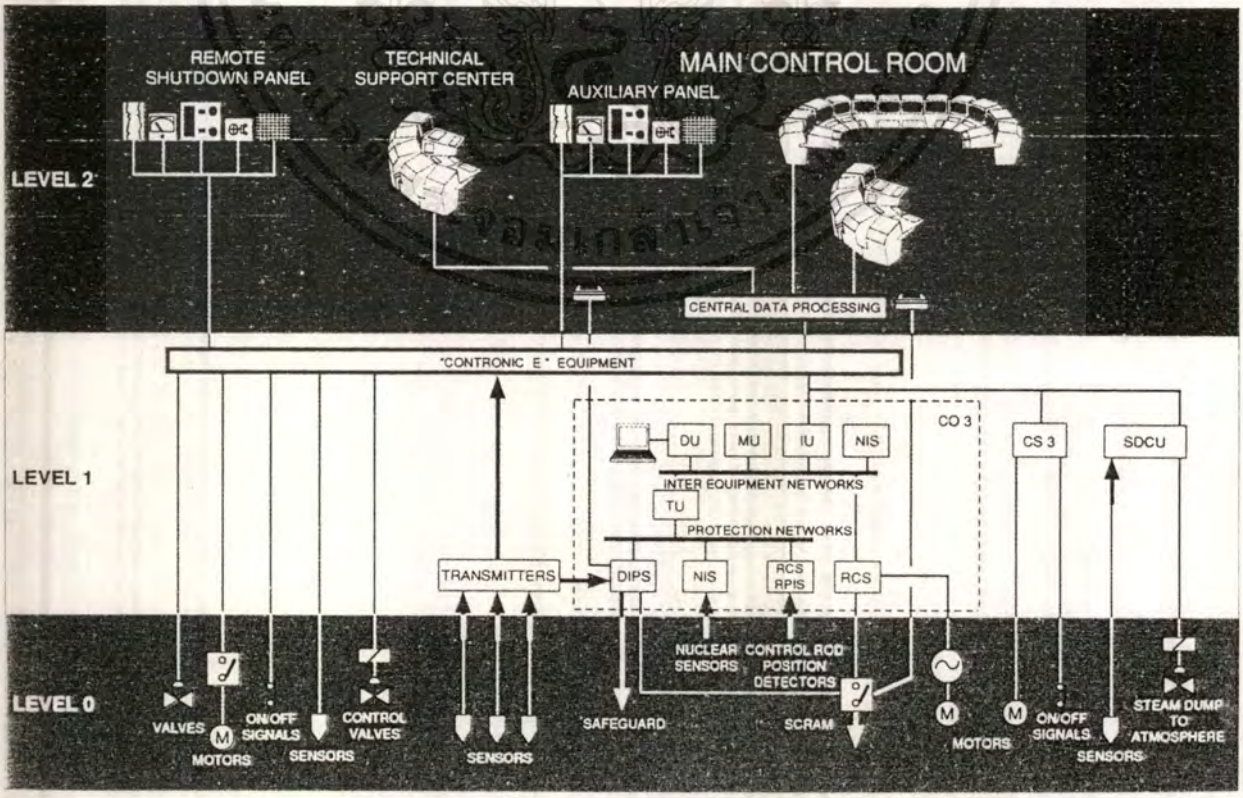
The I & C is organized into three distinct levels:
- Level 0: the sensors and actuators,
- Level 1: the devices controlling all the automatic actions of the systems (protection, logic sequences, analog control, etc.) and
- Level 2: the devices involved in unit operation and monitoring/ surveillance functions. All operator assistance, information storage, and similar functions are also performed at this level.

Level 2 includes the computer-based operator assistance system and the control room equipment : operator's workstations, wall-mounted mimic panel, auxiliary panel, and data-processing peripherals.

Level 1 is widely based on microprocessors and local area networks.

It consists of two parts:
- The first part, comprises three systems:
  . Core Control and Command (CO3) for reactor protection and core control,
  . Control of Safeguard Support Systems (CS3),
  . Steam dump control unit (SDCU).
- The second part comprises the so-called "Contronic E" on-off and analog control equipment.

I&C general organization



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Exchanges of data are handled by high-speed local area networks.

This has two main advantages:
• First, it considerably reduces the quantity of electronic equipment as well as the number of cables and connections in the electrical building,
• Secondly, it facilitates system evolution, since the interfaces are standardized.
To improve reliability, all the data networks and their interfaces are redundant.

Reactor Protection and Control System (CO3)

This system includes three main sub-systems:
• The reactor protection system,
• The nuclear instrumentation system, and
• The rod control system.

Reactor Protection System

The safety classified Digital Integrated Protection System (DIPS) automatically shuts the reactor down whenever conditions reach operational limits and actuates the engineered safety features to mitigate the consequences of accidents.
The N4 DIPS contains the following improvements to the version installed in the previous 1300 MWe class units:
• Use of Motorola 68000 microprocessors, which considerably improve performance and enable programming in a high-level language,
• Programmable Logic and Safeguard Processing Units, which allow internal inhibitions to be set up during periodic testing or in the event of failures,
• Use of local area networks to interconnect the different processing units, the Logic and Safeguard Units, and the rest of the I & C,
• Use of fiber optics where electronic insulation is necessary,
• Fault location and failure diagnosis assistance functions, and
• Remote loading of adjustable parameters.

The three basic options that determine the system structure are:
• Two safeguard trains, A and B,
• Fourth-order redundancy, and
• Use of 2/4 decision logic based on the implementation of eight reactor trip breakers.

The system therefore consists of four Data Acquisition and Processing Units (DAPU), one per protection channel. Each DAPU receives measurements via two redundant acquisition units, performs calculations in Functional Units (FU), and generates signals for protection local area networks. Two output logic processing units, one for train A and the other for train B, process information signals from the protection local area networks. They generate two sets of safeguard signals, one per train, and eight signals to the eight reactor trip breakers.

Nuclear Instrumentation System

This system, which generates and processes signals from ex-core neutron sensors, plays a role in both reactor protection and control. Protective functions are performed by four identical and separate protection cabinets. Signals from three different channels (source, intermediate, and power range) are processed.

Control functions aime is to handle neutron flux measurements, to provide operator assistance, and to generate the following alarms:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• Abnormal axial, radial, and azimutal power distribution.
• High power density peaking factor and low Departure from Nuclear Boiling Ratio (DNBR),
• Low reactivity shutdown margin and return to power capability, and
• Control rod misalignment.

Rod Control System

The rod control system includes the rod position indication system and the rod control system itself.
Rod position indication is used in the reactor protection system for the calculation of the DNBR and the linear power density, and also to monitor the actual control rod positions. The function of the rod control system is to provide programmed power to the control rod drive mechanisms as a function of the operating conditions: Mode A, Mode X, or manual mode.

In Mode A, the system controls only the average coolant temperature, employing constant overlaps between successive control rod banks.

In Mode X, the corresponding control system provides closed-loop control of both the average coolant temperature and the axial power distribution. The temperature control loop provides all the control rod clusters with the same movement signal. The axial offset is controlled by varying the relative overlap between control rod clusters, by means of an algorithm which initiates or inhibits the movement of selected rod cluster banks.

Control of Safeguard Support Systems (CS3)

The equipment of this system has the same technology as that of CO3 system.

The CS3 system is safety classified and performs the following functions:
• startup, load rejection, and loading sequence of diesel generators ensuring emergency power supply,
• isolation of air conditioning and ventilation systems.
The CS3 system comprises:
• six processing units similar to the protection system data acquisition and processing units (DAPU), and
• two processing units similar to the engineered safeguard logic units.

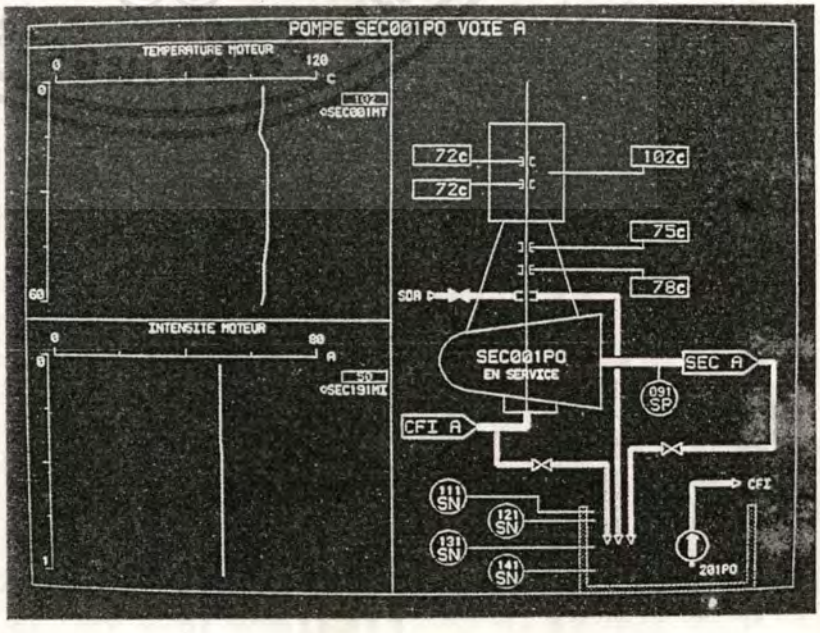
Steam Dump Control Unit (SDCU)

A safety-classified specific equipment ensures control of the steam dump to atmosphere.
The equipment is similar to that used for the CO3 system and comprises four identical units, each one controlling two valves.

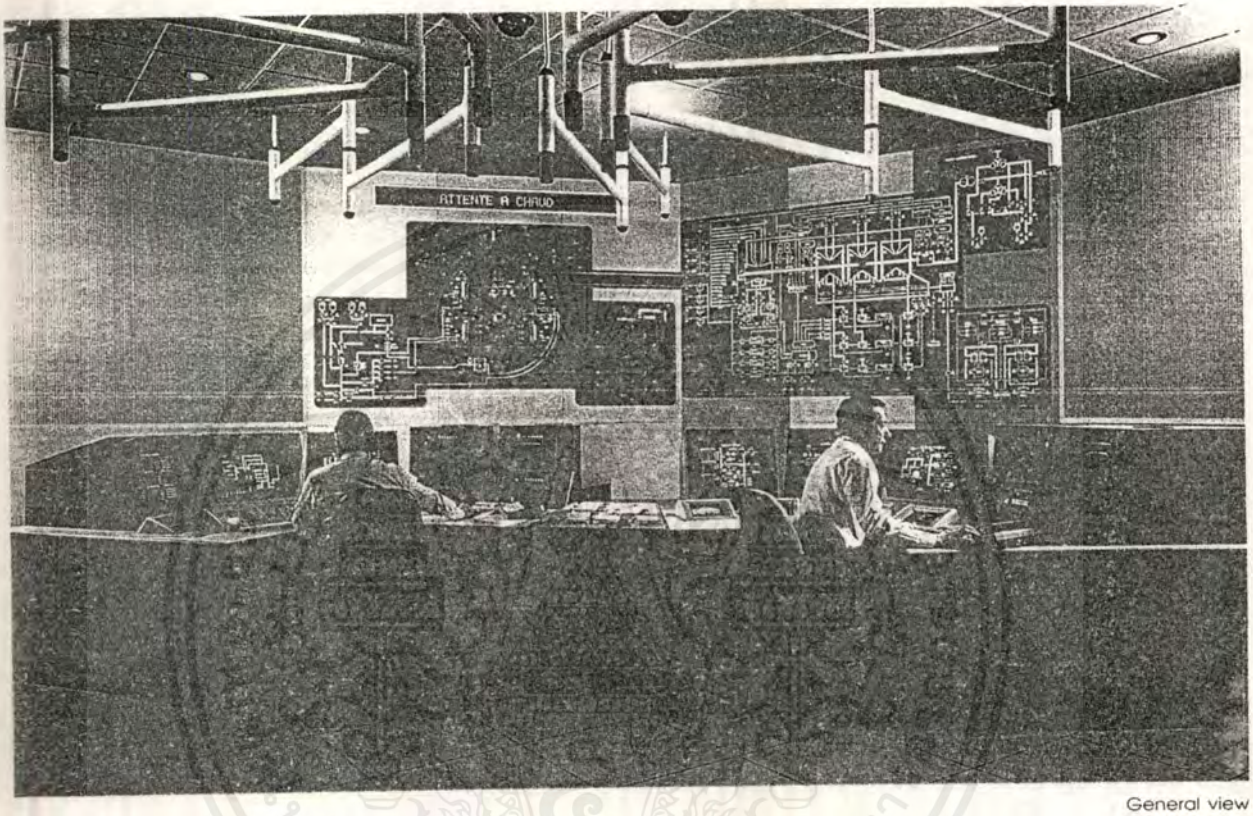
"Contronic E" Digital and Analog Control Equipment

The other nuclear island I & C systems are implemented in a programmable system called the "Contronic E". This is a standard distributed control system for data collection, transmission, and processing. It provides the following functions:
• Acquisition of process data and signal conditioning,
• Validation of the data,
• Analog signal conditioning and analog/digital conversion,
• Automatic function implementation (open-and-closed-loop control),
• Data transmission to the plant computer system in the control rooms, and
• Execution of control room orders (on/off, sequential, condition changes, signal adjustment).

Equipment monitoring in the control room



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



General view
of the N4 Simulator at Bugey

The "Contronic E" is composed of stations. Each station comprises central unit and peripheral units. All stations are linked via redundant bus networks.

Modernized Central Data Processing

The central data processing system has VAX system computers and is organized around local area networks (LANs), that are redundant and use an Ethernet protocol.

Four front-end computers (two for train A, and two for train B) interface the LANs and the various "Contronic E" clusters.
The below-listed computers are connected to the LANs:
- Four front-end computers,
- Four computers that serve the four "operator desks",
- Two processing computers, which contain all the data concerning unit operation and execute the necessary calculations,
- A set of computers for auxiliary tasks: data storage, aid for core control, and
- The computers that control the various printout and remote loading devices.

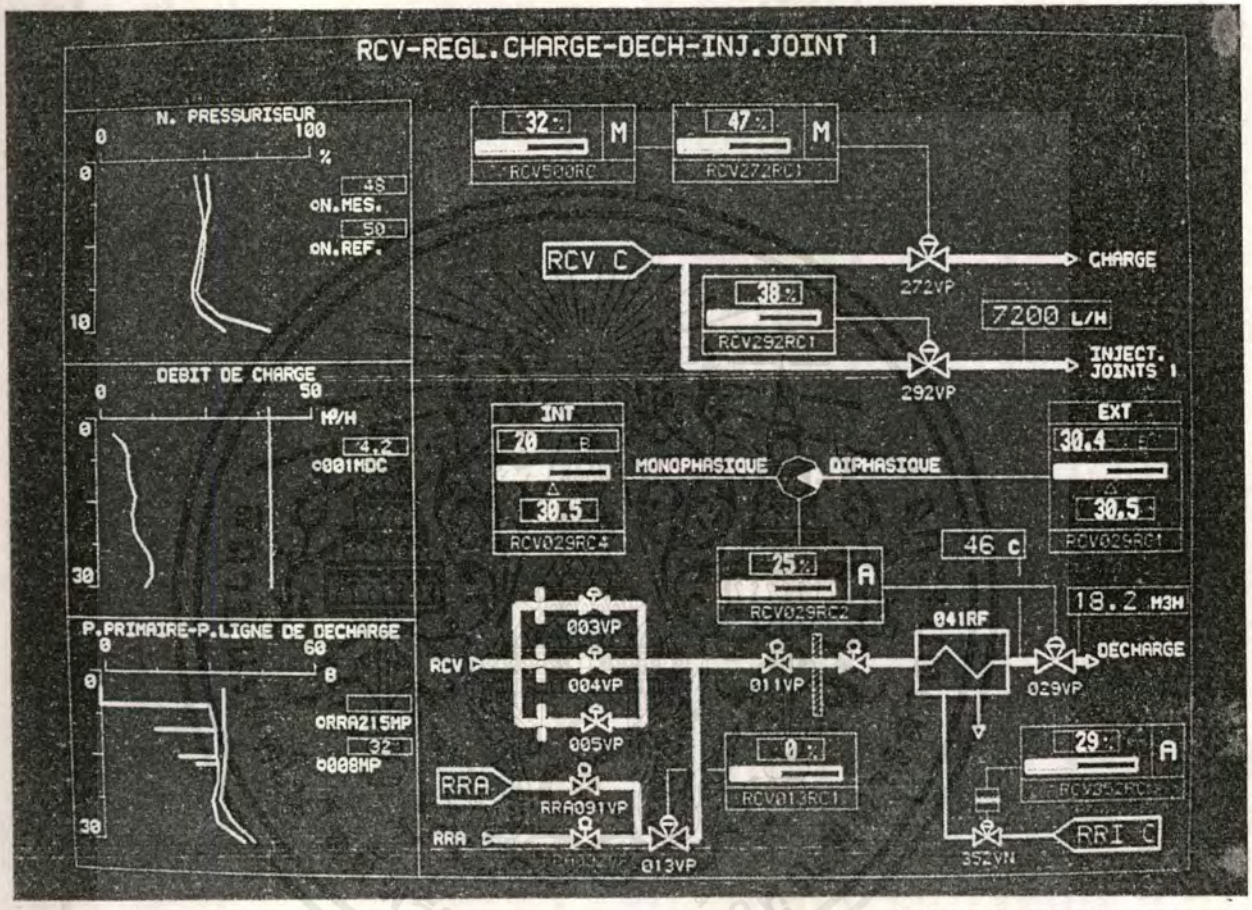
Ergonomic Control Facilities

The main control room is equipped with:
- Two operator work-stations, connected to a redundant computer system,
- One supervision workstations, used by the shift supervisor and the safety engineer,
- One wall-mounted mimic panel, directly connected to the "Contronic E" system, and
- One auxiliary panel, equipped with conventional individual controls, enabling safe operation of the unit even if the computerized control systems fail.

The Technical Support Center, which is located in a room near the main control room, is equipped with a supervision workstation. To account for possible unaccessibility of the main control room, a remote shutdown panel, equipped with individual controls, is also provided in another room.

The computerized control room exchanges information with the "Contronic E".

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



System monitoring in the control room

No direct communication exists with the reactor protection and control (CO3) equipment, to standardize the interfaces.

On both the auxiliary and remote shutdown panels, the operators are provided with conventional individual push buttons, setpoint adjustment controls, and auto/manual controls directly connected to the "Contronic E", which enable controlling only the actuators that are necessary to bring the unit to a safe shutdown status.

The design takes advantage of all the improvements implemented in the previous French PWR series, in particular the post-TMI improvements, and meets the most recent safety requirements. It has undergone an extensive operational and ergonomic validation program on a full-scale simulator installation at EDF's Bugey Training Center.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTIMIZED OVERALL ARCHITECTURE

The general layout the N4 nuclear island is derived from that of the twenty P4/P'4 1300 MWe class units. It is based on a "single unit" concept and features five main independent foundation rafts for the reactor building, the safety and electrical building, the fuel building, the nuclear auxiliary building, and the water and steam connecting building.

The vertical-axis, cylindrical reactor building has a double containment. The internal containment is made of prestressed concrete without a liner, and the external containment is made of reinforced concrete.

A cylindrical structure inside the containment supports the reactor coolant system, ensures protection and separation between redundant trains, and forms protective bunkers for equipment such as the steam generators, the reactor coolant pumps, the reactor pressure vessel, and the feedwater piping.

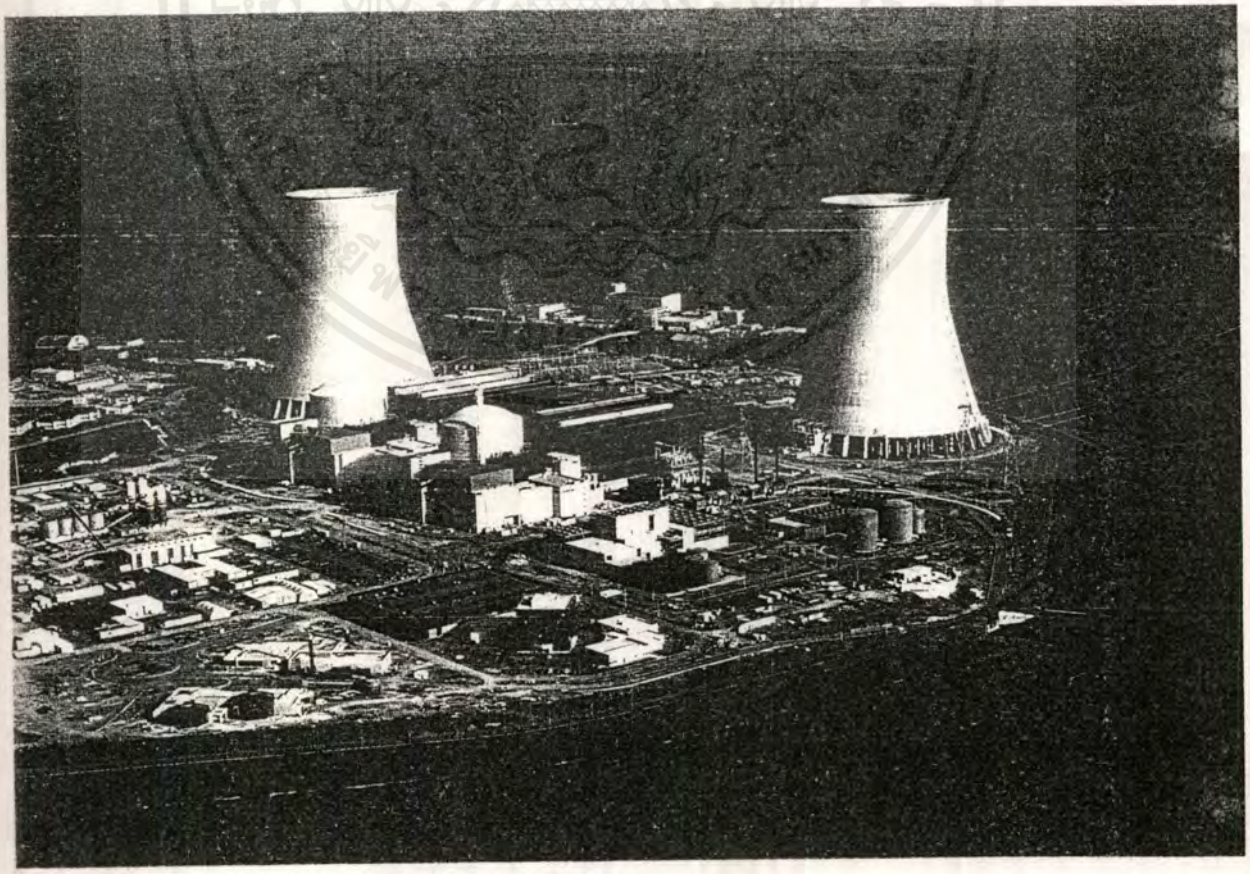
The design also includes recirculation sumps with a large filtration capacity.

The reactor building has an equipment hatch located at the heavy operating floor level (+24.85 m), used for bringing heavy components into the building during construction, once the polar crane is available.

The electrical building houses on its lower floor the safeguard auxiliaries and on its upper floor the electrical equipment and the main control room.

From a safety standpoint, the design of the entire nuclear island ensures physical separation between redundant trains, protection against internal flooding, division into fire protection areas, and protection against external explosion.

No pipes are located in the basemat below the reactor vessel.



CHOOZ (N4 series : 2 units : 1500 MWe each)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TECHNICAL DATA - CHOOZ B NUCLEAR POWER PLANT UNIT No. 1

Owner and operator, Electricité de France.

POWER

Net electrical output	1 470 MWe
Gross electrical output	1 530 MWe
Gross thermal output	4 270 MWth
Net efficiency	0.345
Turbine-generator speed	1500 rpm

CONTAINMENT BUILDING

Inner containment	
- Type	Prestressed concrete
- Inside diameter	43.80 m
- Wall thickness	1.20 m
- Internal volume	87 000 m^3
Outer containment	
- Type	Reinforced concrete
- Wall thickness	0.55 m
- Height at the center line	62.2 m

REACTOR COOLANT SYSTEM

Operating pressure	155 bar abs.
Reactor vessel inlet temperature	292.2°C
Reactor vessel outlet temperature	329.6°C
Number of reactor coolant pumps	4

REACTOR PRESSURE VESSEL

Inside diameter	4.5 m
Total height	13.64 m
Wall thickness	225 mm
Material	16 MND5
Design pressure	172 bar abs.
Design temperature	343°C

STEAM GENERATORS

Number	4
Steam pressure at SG outlet	72.3 bar abs.
Steam temperature at SG outlet	288 °C
Steam flow at SG outlet	2160 t/h

REACTOR CORE

Fuel material	Cylindrical UO2 pellets
Core active height	4.27 m
Pellet diameter	8.2 mm
Rod outer diameter	9.5 mm
Cladding material	Zircaloy
No. of rods per fuel asembly	264
Fuel assemblies in core	205
Average linear power density	179.6 W/cm
Initial enrichment	1.8/2.4/3.1% U-235
Enrichment at equilibrium	3.4 % U-235
Average fuel discharge burnup at equilibrium	39 000 MWd/tU

REACTIVITY CONTROL

Control rod assemblies	73
Absorber rods per assembly	24
Neutron absorber	Ag-In-Cd and/or B4 C
Cladding material	SS 304
Shape	Rod cluster

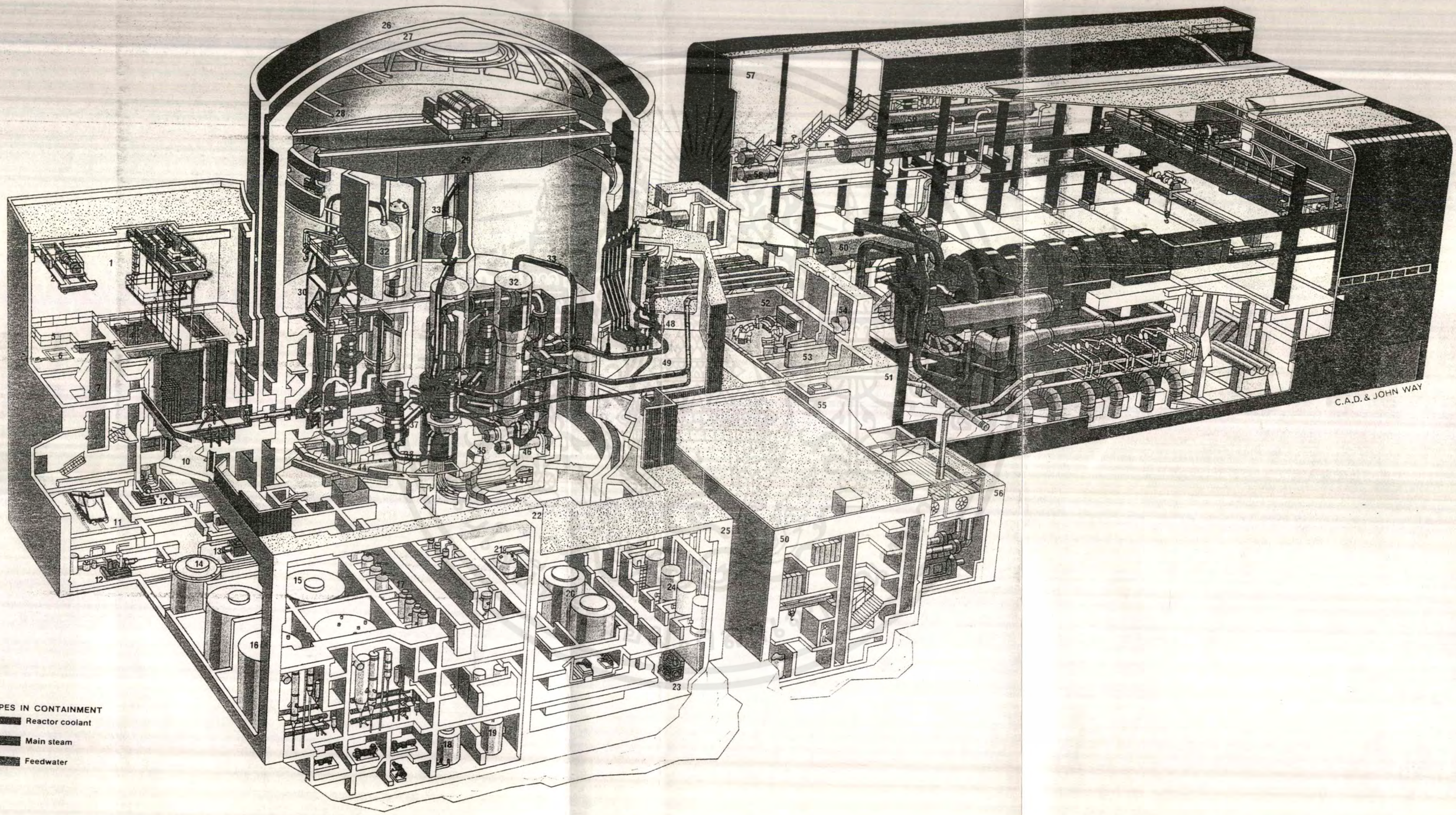
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FRENCH 1500 MWe N4 PWR UNIT
CHOOZ B1 (by courtesy of "Nuclear Engineering International")

POWER STATION KEY

1 Fuel building
2 Overhead crane
3 Spent fuel pit bridge
4 Spent fuel pit
5 Handling opening
6 New fuel storage
7 Shipping cask loading compartment
8 Fuel transfer canal upending mechanism
9 Fuel transfer tube
10 Equipment access
11 Fuel building access hall
12 Auxiliary feedwater turbine pumps
13 Auxiliary feedwater motor pumps
14 Fire fighting demineralized water storage tank
15 Makeup water storage tank
16 Surge tank
17 Demineralizers and filters
18 Concentrates holding monitor tank
19 Evaporator condensate tank
20 Boric acid storage tank
21 Volume control tank
22 Nuclear auxiliary building B
23 Test pump
24 Gas decay tank
25 Nuclear auxiliary building A
26 Outer containment
27 Inner containment
28 Spray headers
29 Polar crane
30 Refuelling machine
31 Pressurizer
32 Steam generators
33 Steam outlet
34 Feedwater inlet
35 Reactor coolant piping
36 Reactor coolant pumps
37 Cold leg
38 Crossover leg
39 Reactor
40 In-core instrumentation
41 Control rod drive mechanism ventilation system
42 Internals storage pit
43 Accumulators
44 Pressurizer relief tank
45 Containment ventilation system
46 Residual heat exchangers
47 In-core instrumentation
48 Main steam valves
49 Main steam valve bunker
50 Service building
51 Electrical building
52 Control room
53 Computer room
54 Component cooling system tanks
55 Access tower
56 Diesel generator building
57 Turbine building
58 Steam transformer tank
59 Deaerator and feedwater tanks
60 Moisture separators
61 Turbine HP cylinder
62 Turbine LP cylinders
63 Generator
64 Bridge crane
65 Auxiliary crane
66 Condenser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



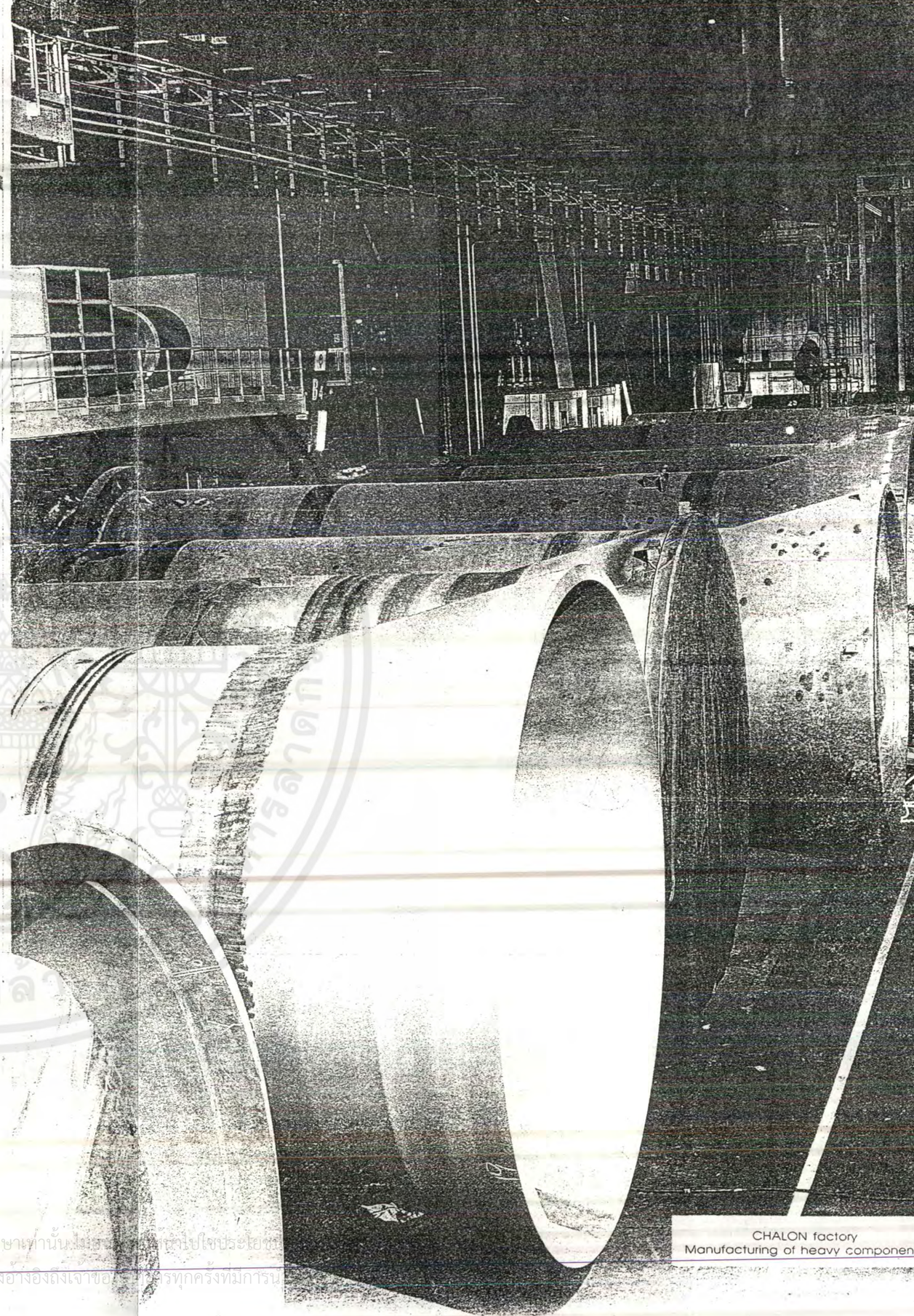
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FRENCH 1500 MWe N4 PWR UNIT CHOOZ B1

(by courtesy of "Nuclear Engineering International")

POWER STATION KEY

1 Fuel building
2 Overhead crane
3 Spent fuel pit bridge
4 Spent fuel pit
5 Handling opening
6 New fuel storage
7 Shipping cask loading compartment
8 Fuel transfer canal upending mechanism
9 Fuel transfer tube
10 Equipment access
11 Fuel building access hall
12 Auxiliary feedwater turbine pumps
13 Auxiliary feedwater motor pumps
14 Fire fighting demineralized water storage tank
15 Makeup water storage tank
16 Surge tank
17 Demineralizers and filters
18 Concentrates holding monitor tank
19 Evaporator condensate tank
20 Boric acid storage tank
21 Volume control tank
22 Nuclear auxiliary building B
23 Test pump
24 Gas decay tank
25 Nuclear auxiliary building A
26 Outer containment
27 Inner containment
28 Spray headers
29 Polar crane
30 Refuelling machine
31 Pressurizer
32 Steam generators
33 Steam outlet
34 Feedwater inlet
35 Reactor coolant piping
36 Reactor coolant pumps
37 Cold leg
38 Crossover leg
39 Reactor
40 In-core instrumentation
41 Control rod drive mechanism ventilation system
42 Internals storage pit
43 Accumulators
44 Pressurizer relief tank
45 Containment ventilation system
46 Residual heat exchangers
47 In-core instrumentation
48 Main steam valves
49 Main steam valve bunker
50 Service building
51 Electrical building
52 Control room
53 Computer room
54 Component cooling system tanks
55 Access tower
56 Diesel generator building
57 Turbine building
58 Steam transformer tank
59 Deaerator and feedwater tanks
60 Moisture separators
61 Turbine HP cylinder
62 Turbine LP cylinders
63 Generator
64 Bridge crane
65 Auxiliary crane
66 Condenser



CHALON factory
Manufacturing of heavy componen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดค่าลงทุนสำหรับการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์

1.ค่าใช้จ่ายทางตรง

1.1 ค่าที่ดิน และสิทธิในที่ดิน(Land and land rights)

1.1.1 การได้มาซึ่งกรรมสิทธิ์ในที่ดิน(Land and privilege acquistion)

ค่าจัดซื้อและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นระหว่างการเข้าถือสิทธิ์ในที่ดิน อันประกอบด้วย ค่าสำรวจกรรมสิทธิ์ที่ดิน ค่าสิทธิ ค่าเวนคืน ดอกเบี้ย และการได้มาซึ่งกรรมสิทธิ์ในที่ดินซึ่งเป็นของผู้อื่น ค่าปรับพื้นที่เนื่องจาก ต้นไม้ เศษขยะที่รกรุงรัง รวมทั้งค่ารื้อถอนสิ่งก่อสร้างและอื่นๆ ที่ได้มาพร้อมกับที่ดิน แต่ไม่มีประโยชน์ ก่อนที่จะเริ่มทำการก่อสร้าง

1.1.2 การโยกย้ายสิ่งก่อสร้าง สาธารณประโยชน์ ถนน และการบริการอื่นๆ(Relocation of buildings, utilities, highways and services)

มีความจำเป็นสำหรับการก่อสร้างสถานีโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ประกอบด้วย

- สิ่งก่อสร้าง
- สายโทรศัพท์
- สายไฟฟ้า
- ท่อน้ำและรางน้ำ
- ท่อแก๊ส
- ถนน
- รางรถไฟ
- อื่นๆ

1.2 ค่าโครงสร้างและสิ่งอำนวยความสะดวก(Stuctures and site facilities)

1.2.1 การปรับปรุงพื้นที่และสิ่งอำนวยความสะดวก(Site improvements and facilities)

1.2.1.1 ปรับพื้นที่ทั่วๆไป

- ปรับระดับ ขุด และ/หรือ ถม และตบแต่งภูมิประเทศ
- ถนนภายใน ทางเดิน และที่จอดรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Retaining walls
- เครื่องกั้นและประตู
- ระบบระบายน้ำเสียจากสุขภัณฑ์ ประกอบด้วย การเชื่อมต่อกับระบบที่มีอยู่เดิม ถังส้วมซึม ท่อ ฝาท่อ และรางน้ำ
- ระบบระบายน้ำเสียจากสนาม ประกอบด้วย การเชื่อมต่อกับระบบที่มีอยู่เดิม ฝาท่อระบายน้ำขนาดใหญ่ บ่อพัก ท่อน้ำ และรางน้ำ
- ถนนภายใน และแสงสว่าง(ประกอบด้วย แสงสว่างสำหรับรั้ว ถนน ที่จอดรถ ทางเดิน แทงค์น้ำ สนาม และอื่นๆ)
- Cathodic protection

1.2.1.2 การปรับปรุงเขื่อนกั้นน้ำ(Waterfront improvements)

- Revetment
- ตัวเขื่อน
- เครื่องกั้นน้ำ

1.2.1.3 ถนนทางเข้า(Highway access)

ก่อสร้างถนนเชื่อมโครงการ เข้ากับถนนสาธารณะ โดยที่สิทธิและความรับผิดชอบ ภายหลังเสร็จโครงการ ตกเป็นของเจ้าของ ประกอบด้วย

- การปรับระดับ
- การทำพื้นผิว
- ทางระบายน้ำ
- สะพาน
- เครื่องป้องกัน และเครื่องหมายต่างๆ
- แสงสว่าง

1.2.1.4 รางรถไฟ(Railway access)

สร้างรางเชื่อมต่อโครงการกับขนส่งสาธารณะ โดยถาวร

- การปรับระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สะพาน และทางระบายน้ำ
- หินโรยทาง รถไฟ ไม้หมอน เหล็กยึด และส่วนเพิ่มเติม
- เครื่องหมาย สัญญาณ
- เครื่องควบคุม ทางแยก และปั๊ม

1.2.1.5 การเข้าถึงทางน้ำ(Water access facilities)

- การขุดลอก
- ตอม่อ ท่าเรือ หรือโครงสร้างที่คล้ายๆกัน

1.2.1.6 การเข้าถึงทางอากาศ(air access facilities)

1.2.2 ค่าก่อสร้างเตาปฏิกรณ์(Reactor building)

วัสดุทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเตาปฏิกรณ์ ยกเว้นส่วนฐานราก ซึ่งแยกออกจากส่วนโครงสร้าง และรวมอยู่ในรายการอุปกรณ์เฉพาะอย่าง

1.2.2.1 โครงสร้างพื้นฐาน(ยกเว้นโครงสร้างที่รวมอยู่กับระบบบรรจุปฏิกรณ์เบื้องต้น)

- การขุดและถมกลับ (รวมถึง sheeting shoring และ dewatering)
- Bearing piles and caissons
- โครงสร้างใต้ดิน

  -ไม้แบบ

  -เหล็กเสริม

  -คอนกรีต

  -กันซึม

  -กันรั่ว

  -ลวดรับแรงดึง(สำหรับ prestressed concrete design)
- โครงสร้างเหนือดิน

  -คอนกรีต

  -เหล็กโครงสร้าง และอื่นๆ

โครงสร้างเหล็ก(พื้น และพื้นชั่วคราว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันได

ทางเดิน

การทาสี

- เกราะป้องกันพิเศษอื่นๆ(Special shielding)

-High-density concrete

-Ordinary concrete

-Lead sheets or plates

-Steel sheets or plates

-sand or earth

-Water tanks

-Removable blocks or plugs(lead,steel,concrete,etc.)

1.2.2.2 ส่วนบริการต่างๆ

- ระบบปั๊มและการระบายน้ำ

-Floor drainage(includes sump pumps)

-Roof drainage

-Plumbing fixtures(sink, toilets, etc.)

-Piping, valves and fittings

- ระบบระบายความร้อน, อากาศ, และของเสีย

-Boiler or connection to central heaating source

-Convectors and/or unit heaters

-Fan, blowers, and drives

-Air cooling equipment snd heat exchangers

-Pipe or duct connection to gaseous waste and off-gas system or to stack

-Ventilation duct isolation valves

-Ductwork (includes registers, grilles, dampers, louvers, gilters, insulation, and roof exhausters)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Piping, valves, gittings and insulation;miscelianeous pumps and tanks

-instrumentation and controls

- ระบบป้องกันอัคคีภัย

-Spinklers

-Piping

-Hose reels and cabinets

-Alarm systems(portion within building)

- แสงสว่าง

-Fixtures, panels, outlets and switches

-Conduit and wiring

- ลิฟท์

1.2.2.3 โรงกังหันไอน้ำ (Turbine building)

โครงสร้างซึ่งครอบคลุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยไอน้ำ (turbo-generator) และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง(ประกอบด้วย ห้องควบคุม หรือโครงสร้างซึ่งจำเป็น ที่ออกแบบให้อยู่ภายในโครงสร้าง เพิ่มเติมจาก 1.2.2.2 งานใต้ดิน:งานคอนกรีต (รวมทั้งเหล็กเสริม) และเหล็กอื่นๆ โครงสร้างเหนือดิน: แผ่นพื้นคอนกรีต(รวมทั้งเหล็กเสริม) โครงสร้างเหล็ก เหล็กอื่นๆ ผนังภายนอก โครงหลังคาและวัสดุมุงหลังคา ผนังกั้นภายใน ประตู กรอบหน้าต่าง อื่นๆ ส่วนตบแต่งพิเศษ ส่วนให้บริการ ปั๊ม และการระบายน้ำ เครื่องทำความร้อน และป้องกันไฟไหม้ แสงสว่างและสายไฟต่างๆ ลิฟท์

1.2.2.4 โครงสร้างส่วนที่เป็นทางน้ำเข้า และส่วนกักเก็บน้ำ ประกอบด้วย

(1) โครงสร้างซึ่งรวมเอาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการนำน้ำเข้าสู่โรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ฝายกักเก็บน้ำ และโครงสร้างที่เกี่ยวข้องการการผ่านของส่วนที่อยู่ในระบบปิด(มีความดัน) ไปยังส่วนที่อยู่ในระบบเปิด(ไม่มีความดัน) และ

(3) ทางเดินน้ำ (เช่น ร่องน้ำเปิด ท่อ หรืออุโมงค์) ซึ่งแบ่งน้ำที่ใช้ระบายความร้อน ออกเป็นส่วนๆดังนี้

-ส่วนที่นำน้ำจากแหล่งน้ำที่ใช้ระบายความร้อนเข้ามา (เช่น แม่น้ำ ทะเล หรือทะเลสาป)

-ขับน้ำออกสู่แม่น้ำ ทะเล หรือทะเลสาป

รวมทั้งโครงสร้างพิเศษอื่นๆ มีรายละเอียดดังนี้

- ห้องปั๊มน้ำ
- ส่วนกักเก็บน้ำ
- ส่วนที่ปราศจากแรงดัน

-การขุด(รวมทั้งกำแพงกันดิน กันซึม การถมกลับและการปรับระดับ

-การขุดลอกคูคลอง

-ส่วนป้องกันการไหลย้อนกลับ

-อุโมงค์ และ/หรือ ท่อระบายน้ำ ทั้งท่อเหล็ก-คอนกรีต

-Skimmer wall

1.2.2.5 อาคารสนับสนุนเตาปฏิกรณ์

อาคารซึ่งรวมเอาระบบช่วยเหลือต่างๆ ซึ่งสัมพันธ์กับเตาปฏิกรณ์ ยกเว้นระบบที่เกี่ยวกับกากก้มมันตรังสี และกระบวนการของเชื้อเพลิง ซึ่งอยู่ใน 1.2.2.2

1.2.2.6 อาคารจัดการกากก้มมันตรังสี

1.2.2.7 อาคารเก็บเชื้อเพลิง

1.2.2.8 อาคารอื่นๆ

- อาคารศูนย์กลาง
- อาคารเครื่องปั่นไฟด้วยน้ำมันดีเซล
- อาคารสำหรับฝ่ายบริหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อาคารบริการ
- ห้องพัดลม
- ปั้มสำรอง

1.2.2.9 Stacks (when separable from buildings)

Ventilation exhaust, off-gass and flue stacks. Present a separate account for each individual stack

- Excavation and backfill
- Foundation (includes bearing piles and caissons)
- Stack structure (concrete, brick, steel, etc.;also guy lines if used)
- Linings, painting and protective coatings
- Accessory items (includes ladders and walkways, lighting protection, aircraft raming lighting and general lighting)

1.3 ค่าอุปกรณ์ในโรงปฏิกรณ์(Reactor plant equipment)

1.3.1 อุปกรณ์เกี่ยวกับเตาปฏิกรณ์

1.3.1.1 หม้อปฏิกรณ์และส่วนเพิ่มเติม (Reactor vessel and accessories) ชนิดและวัสดุที่ใช้ รวมทั้งหม้ออัดความดัน (reactor vessel) และท่อความดันชนิดที่เป็นเหล็กคอนกรีตอัดแรง และ zirconium (วัสดุทนไฟ, อื่นๆ)

- ฐานรองรับเตาปฏิกรณ์

  -คอนกรีต

  -โครงสร้างเหล็ก (วงแหวนรองรับเตาปฏิกรณ์, seal ring, adapter, dry box)

- โครงสร้างของหม้อปฏิกรณ์

  -ตัวหม้อ(Body) และอุปกรณ์ที่นำมาติด(Attachments)

  -ฝาหม้อ(Closure head) และอุปกรณ์ที่นำมาติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Sluds, fasteners, seals and gaskets

-Calandria tubes and fettings

-Presure tubes and fittings

-Insulation

- Vassel internals (excludes fuel, reflector, moderator and reactivity control components)

-Core tank or container (for fluid-fuel systems)

-Core support structures

-Core shroud

-Reactor coolant flow baffles, fuel assembly shrouds, distributors, orifices and strainers

-Feedwater distributor, core spray distributor, liquid poison distributor

-Steam separators, driers and baffles

-Internal insulation

-Internal thermal shields

-Guides, shrouds, holders, housings, etc. for instrumentation and irradiation samples

- อุปกรณ์ที่จำเป็นในการขนส่งทางเรือ (includes covers, skids and lifting beams)

1.3.1.2 อุปกรณ์ควบคุมปฏิกรณ์ ทั้งกรณีปกติและกรณีฉุกเฉิน

- Absorber/fuel positioning

-Control element assemolies (type is optional : absorber or special fueled section):

Control rods or blades (linear motion : includes followers, extension rods and connection pieces)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Control blades or sheets (hinged for rotary motion)

Control drums (rotary motion ; includes solid or partially voided reflector drums)

Control balls

Control tapes or wires

- Controlelement drive mechanisms (type is optional ; includes motors, pumps, tanks, coolers, housings, guide tubes, shrouds, supports, seals, position transmitter and electrical devices):

  Hydraulic

  Magnetic-jack

  Rack-and-pinion

  Geared motor drum

  Drum or reel

  Pneumatic

  Other

- Moderator characteristics varying (specific type is optional: includes injection pumps, 'fuse' systems, tanks reconcentrator systems, heaters, piping, supports, hangers, etc.):

  Vary nuetron capture (e.g.boric acid in H_2O)

  Vary moderating ratio (e.g. H_2O)

- Moderator/reflector level varying
- Reactor coolant recirculation flow varying control
- Neutron source
- 1.3.1.3 Moderator/reflector systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Circulating pumps, drives and controls
- Tanks (storage, dump, head, etc.)
- Heat excahngers
- Piping, valves, girrings (includes calandria and other relief valves)
- Insulation
- Purification, chemical treatment and recovery systems

  Ion-exchange systems

  D_2O upgrading column and accessories

  Chemical treatment systems

  Atmospheric and drain recovery systems

  Piping, valves, fittings and insulation
- Transportation and handling systems

  Transportation charges (inirial supply)

  Receiving and storage charges (initial supply)

  Pumps and compressors, drives and controls

  Piping, calces, girrings

  Insulation
- Foundations, supports, bases, hangers, insert and screens

1.3.1.4 เกราะป้องกันปฏิกรณ์ (Rreactor shielding)

- Extanal thermal and neutron shielding (exclude shielding that also serves as a structural material and materials to shield other components in addition to the reactor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Neutron shield tank system (includes tanks, pimps, cleanup system)

Ordinary or heavy concrete

Graphite, borated graphite, etc.

Metallic shields

- Shield cooling system (includes a separate gas system or embedded or submerged cooling coils)
- Blast or missile shields

1.3.2 ระบบถ่ายเทและส่งผ่านความร้อน

1.3.2.1 ระบบระบายความร้อนจากแกนปฏิกรณ์ (Reactor core coolant systems)

- Fluid circulation druving systems (portions external to reactor vessel)

  - Main pumps; fans; compressors, drives and controls (including auxiliary (pony motor) and variable-speed drive equipment, flywheils, seals and coolers)

  - Auxiliary pumps, fans, compressors; drives and controls

  - Insulation

  - Foundstions, supports, beses, inserts and screens

- Piping system (reactor coolant, pressure surge line and pressurizer relief line)

  - Piping

  - Valves and fittings (includes loop and plant isolation valves, ef ptrssent, if present)

  - Insulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Hangers, supports, bases, inserts, and screens, preheating, sterss relieving, radiographing)

- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange equipment)

  - Heat exchangers (if present; type and presence is optional and is a function of the type of plant: direct cycle; indirect cycle, with or without an intermediate loop; dual cycle)

    Steam (or other vapour) generator

    Superheater

    Regenerator

    Reheater

    Preheater or economizer

  - Steam drums and/or external steam separators (if present)

  - Steam (or other vapour) lines interconnecting heat exchange equipment or drums, and connection to final plant isolation vllves if present, or to T-G unit if isolation valves are not present

  - Other piping, valves, and fittings for heat exchange equipment (includes feed piping connection to loop or plant isolation valves, if present, or to feed-heating equipment if esolation valves are not present)

  - Insulation, supports, bases, inserts, screens and missile shields

- ระบบอัดความดัน (Pressurizing system)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pressurizingvessel and accessories (includes electric heaters and power supply, spray nozzles, relief valves foundations, supports inserts and missile shield)

- Pumping system

Pumps (with drives and control), valves, surge tanks. and piping (includes associated fittings, insulation, supports, bases)

- Expansion (relief) ranks and accessories (includes support)

1.3.2.2 Reactor blanket coolant systems

1.3.2.3 Intermediate (isolating) loop coolant systems

1.3.3 ระบบความปลอดภัยสำหรับระบบน้ำหล่อเย็น (Safehuards cooling systems)

ได้แก่ระบบที่จำเป็นในการ นำความร้อนออกจากระบบปฏิกรณ์เมื่อระบบถ่ายเทความร้อนหลักไม่ทำงาน

1.3.3.1 ระบบกำจัดความร้อนที่เหลือ (Residual heat removal sysrem)

- Pumps, gans, or compressors; drives and controls
- Head exvhamgers, includein condensers and boilers
- Tanks, incleding accumulators
- Piping, valves and fettings: including headers and spray nozzles
- Insulation
- Foundations, supports, hangers, bases, hangers, bases inserts and screens

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3.2 ระบบหล่อเย็นหรือปิดฉุกเฉิน (Emergency shut-down or core isolation cooling system)

1.3.3.3 Coolant injection and core spray/flooding systems (includes high-pressure and low-pressure inhection system)

1.3.3.4 Containment heat absorption/rehection systems (include equipment and components which absorb thermal energy from the containment atmospher, such as sprays, foams and ice beds)

- Chemical storage and inhection systems (includes equipment for addding boron or iodine-retaining substances)
- Ice beds and containing chambers, including special doors
- Refrigeration equipment, including cooling duct system

1.3.4 การย้ายและการเก็บรักษากากกัมมันตรังสี (Radioactive waste treatment and disposal)

1.3.4.1 อุปกรณ์สำหรับกระบวนการเก็บกากไว้ในของเหลว (Liquid waste processing equipment)

- Storage tanks, including fittings and agitators:
  - Spent resin, spent chemical, and filter sludge
  - High-level drains collection and primary coolant drain
  - Low-level drains colliction and primaty coolant drain
  - Concentrered wastes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Processes waste hold-up

- Pumps and compressors (includes drives and controls)
- Heaters and heat exchangers (includes condensers and gas strippers)
- Evaporator systems (includes controls and accessories)
- Ion exchange systems (includes regeneration equipment)
- Filters, traps, and separators (inclueds centrifuges)
- Insulation
- Foundations, supports, bases, hangers, inserts and screens

1.3.4.2 Gaseous wastes and off-gas processing system (includes handling of gases from condenser and T-G units and special feltering systems which remoce air vorne contaminents, excludes stack)

- Storage ranks
- Process columns and towers;
  - Absorbers
  - Scrubbers
  - Degasifiers
- Filters, separators, and pumps (includes drivers and controls)
- Heat exchanges and gas coolers
- compressors, blowers, and pumps (includes druves and controls)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chemical reactors (includes accessory systems and gas analyser):
  - Recombiners
  - Activated charcoal beds
  - Cold traps
- Pipe or duct connections to stack (includes large-volume duvts for radioactive decay)
- Other piping, ducts, valves, fittings and insulation including by-pass from condenser system)
- Foundation, supports, bases, hangers, inserts and scteens

1.3.4.3 Solid wasres processing equipment (excludes hoists, monorials, trucks, etc)

- Storage tanks
- Filters, centrifuges and separators
- Pumps and compressors (includes dtives and controls)
- Incinerator
- Hydraulic baler
- Cement mixeng and handling equipment
- Drumming station equipment (includes conveyors)
- Piping, valves and fittings, insulation, tubing, ducting, louvers
- Foundations, supports, bases, hangers, inserts and screens.

1.3.5 ระบบเก็บและควบคุมเชื้อเพลิงนิวเคลียร์

1.3.5.1 ระบบ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ (Fuel handling tools, equipment and systems)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cranes and hoists
- Manually operated tools for remoning, assembling/ disassembling, and handling fuel assemblies ansd /or control elements)
- Transfer systems (includes chutes, rail transport systems, tilting mechanisms and cans for golding fuel during transfer)
- Refuelling machines and accessories
- Facelities for pre-shipment encapsulation of spent fuel

1.3.5.2 อุปกรณ์ในการมองระยะไกล (Remote viewing equipment)

- Electronic systems (e.g. television)
- Optical systems
- Special lighting equipment

1.3.5.3 พื้นชั่วคราว (Service platforms includes automatic positioning equipment)

- Reactor (cavity mainpulates crane)
- Fuel storage pool (manipulates crane)

1.3.5.4 อุปกรณ์ในการเก็บเชื้อเพลิง ทำความสะอาดและตรวจสอบเชื้อเพลิง (Fuel storage, cleaning and inspection equipment)

- New fuel storage vontainers and/or racks
- Spent fuel storage vontainers and/or racks
- Spent fuel storage pool cooling and cleaning system
  - Pumps, drives and controls
  - Heat exchangers
  - Demineralizers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Filters
- Precoat filter systems
- Piping, valbes, gittings and insulation
- Refuelling water storage and/or cleanup

- Spent fuel cleaning equipment
  - Cleanup cells
  - Storage tanks
  - Purification equipment
  - Pumps and drives
  - Piping, balbes, gittings and insulation
- Inspection equipment (includes moderator lighting)

1.3.5.5 ตู้บรรจุเชื้อเพลิงในการขนส่งทางเรือ (Fuel shipping containers)

1.3.6 อุปกรณ์อื่นๆสำหรับโรงปฏิกรณ์ (Other reactor plant equipment)

1.3.6.1 ระบบก๊าซเฉื่อย (Inert gas systems)

- Common gas supply and storage facilities
  - Pump and compressors, dribes and controls
  - gassupply and/or storoge systems (includes storage tanks, on-site generating plant, etc.)
  - Gas purification sustems
  - Heat exchangers
  - Piping, valves, firrings
  - Insulation
  - Foundation, supports, basrs, hangers, inserts and screens
- Reactor core coolant cover gas system
- Reactor blanket coolant cover gas system
- Intermediate loop coolant cover gas system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Moderator cover gas system
- Containment inerting system

1.3.6.2 ระบบความร้อนพิเศษ (Special heating systems include those for heating and/or preheating plant componects and also for producing steam as an emergency or auxiliary power source driving)

- Electrical heating elements and power supply
- Steam or hot water cheases
- Heat exchanger, piping, valves and fettings
- Closed gas loop
- Feater or boiler and accessories (if separate from building heating boiler)

1.3.6.3 Coolant recieving, storage, and makeup systems (excludes cost of initial supply)

- Common facilities
  - Transporation charges (initial supply)
  - Recieving and storage charges (initial supply)
  - Storage tanks
  - On-site generation or new makeup purification faacility
  - Pumps, drives and controls
  - Coolant heating and preheating system
  - Piping, valves, fittings
  - Insulation
  - Foundations, supports, vases, hangers, inserts, screens
- System for reactor core coolant
- System for reactor blanket coolant

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Syatem for intermediate loop coolant

1.3.6.4 Coolant charge, volume control, relief, drain and recovery systems

- Common facilities

  - Tanks (storage, dump or head)

  - Charging pumps, drives and controls

  - Piping, valves, fittings (includes relief valves, ruprure discs, and special atmospheric and drain systems)

  - Insulation

  - Foundation, supports, bases, hangers, inserts and screens

- System for reactor core coolant
- System for reactor blanket coolant
- System for intermediate loop coolant

1.3.6.5 Coolant purification and chemical treatment systems

- Common facilities

  - Pump, fan, compressors; drives and controls

  - Miscellaneous tanks (mixing, surge, head, resin, coolant, chemical storage, etc.), piping, valves, fittings and insulation

  - Heat exchanger, including both regenerative and non-regenerative types

  - Ion-exvhange systems

  - Filter systems (including cold and freeze traps)

  - Chemical treatment and degasifier systems

  - Fractionation tower and catalytic hydro-cracker

  - Sampling and blowdown systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Foundations, supports, vases, hangers, inserts and screens

- System for reactor core coolant
- System for reactor blanker coolant
- System for intermediate loop coolant

1.3.6.6 Fluid leak detection systems (type is optional, and includes systems for detecting leakage at components, such as reactor vessel closure, and in the vicimity of pipes and equipment)

- Moderator
- Reactor core coolant
- Reactor blanket coolant
- Intermediate loop coolant
- Cover gas
- Steam or other vapour
- Other

1.3.6.7 Auxiliaries cooling systems

- Pumps, druves and controls]
- Storage, surge and head tanks
- Piping, valves and fittings
- Insulation
- Foundations, supports, bases, hangers, inserts and screens
- Component cooling heat exchangers

1.3.6.8 Maintenance equipment

- Remotely controlled tools
- Radioactive maintenance facilities

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Portable shielding
- Tools and equipment for reactor vessel
  - Closure stud rensioners, elongation measuring devices, stud handling tool, mut wrench and head guide studs
  - seal weld cutting and welding machine
  - Lifting fixtures
  - Other
- Tool and fixtures for reactor core
  - Lifting devices and fixtures
  - Special equipment for removing pressure tubes/calandria tubes
  - Other
- Decontamination equipment

1.3.6.9 Miscellaneous suspense items

- Final alignment and checking
- Field painting
- Qualificarion of welders
- Preliminary operating (stanby labour)

1.3.7 เครื่องมือและการควบคุม (Instrumentation and control)

1.3.7.1 Reactor and process I&C equipment

- Operator bench and control boards in control room (includes instruments. indicators. alarms. recorders. and control thereon)
- Local control boards (includes instruments, indicators. alarms. recorders. and control thereon)
- Reactor power control system (includes associated cabinets and power suppplies)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Inter lock logic
- Analog computation devices and function generators
- Actuators and controllers

- Reactor radiation detechion equipment:
  - Electronic sysrems (in-core and/or out-of-core)
  - Passive flux integrating systems (e.g. flux wire)
- Reactor coolant property sensing equipment (includes sensors and transmitters):
  - Temperature
  - Pressure
  - Flow rate
  - Density (or void)
- Other sensing systems associated with reactor control
  - Control element position
  - Moderator level
  - Moderator composition
- Control systems for all other ather process and auxiliary sysrems (includes specifically boiler feed flow controller and generally all other level. flow. temperature, etc. controls and regulators)
  - Moderator/reflector systems
  - Main heat transfer and transport systems
  - Safeguards cooling systems
  - Radioactive waste teratment and disposal
  - Nuclear fuel handling and storage systems
  - Miscellaneous reactor olant equipment systems
  - Fossil-fuelled boiler superheater systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Irradiation facilities systems

- Automatic monitoring and computation equipment
  - Automatic scanning systems
  - Print-out, plotting and data-logging equipment
  - Analog and/or digiral equipment for data processing and/or computation
- Monitoring systems
  - Heat transport/transfer system and other process systems radiation monitors (include those for coolants, steam, off-gas and liquid waste discharges)
  - Personnel and area radiation monitors within buildings and portable survey instruments
  - Primary system integrity monitors (includes strain sensing systems and acoustic sensing systems)
  - Equipment operational surveillance systems (includes vibrarion/acoustic, temperature and pressure monitors)
  - In-core fuel and/or core structure monetors (includes temperature, strain and vibration monitors)
  - Valve position sensors
  - Failed fuel element detection equipment
  - Containment lackage moniroring systems includes gauges, valves, piping, hangers, instrument rack, tanks, manifolds, vottles)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Containmint closure position sensors (includes valves and access door position sensors)

- Isolated indicating and recording gauges, meters and instruments
- Control and instrument piping, tubing and wiring

1.3.8 Fossil-fuelled boilers and superheaters

To cover fossil-fuelled boiler and superheating equipment used to add energy to the turbine-cycle working flued, supplimenting the energy transferred directly or inderectly from the nuclear reactor.

1.3.8.1 Boiler and/or superheaters

- Structural steel
- Boiler/superheater unit (includes vapour druin, furnace, heat transfer surfaces, insulation, tiring equipment, and directly associated instrumentation and controls)

1.3.8.2 Draft systems

- Air preheaters and accessories
- Induced and gorced draft fans (includes druves and controls)
- Air ducts (inclludes connections to stack and furnace)
- Insulation
- Precipitator syatems
- supports, hangers inserts and screens

1.3.8.3 Fuel-handling systems (type of fuel is optional)

- Gas-fired units

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Gas holders (includes protective coatings and fittings)
- Burner equipment
- Piping, valves and fittings
- Controls and instrumentation
- Foundations, hangers, supports, bases, inserts and screens

- Oil-fired units
  - Storage tanks (includes protective coatings and fittings)
  - Preheating equipment
  - Burner equipment
  - Pumps, drives and controls
  - Piping, valves and fittings
  - Controls and instrumentation
  - Foundations, hangers, supports, bases, inserts and screens
- Coal-fire units
  - Unloading and stacking equipment
  - Conveying equipment and systems
  - Pulverizing and refining equipment
  - Fuel bins and hoppers
  - Burner equipment
  - Sroker systems
  - Piping, valves and fittings
  - Controls and instrumentation
  - Foundations, hangers, supports, bases, inserts and screens

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.8.4 Ashhandling systems

- Soot and fly-ash flowers, drives and controls
- Sluicing equipment and systems
- Conveying equipment and systems
- Ash bins, hoppers and truck/railcar/berge loading facilities
- Foundations, supports, bases, inserts and screens

1.3.9 Irradiation facilities

Includes all in-plant equipment utilized specifically for the irradiation of materials, where irradiation is a by-product of plant operations and the eqquipment is part of the overall plant complex.

1.3.9.1 Special structures

1.3.9.2 Material handling equipment

- Cranes. hoists, monorials, conveyors, etc.
- Fluid transport systems (includes all teated subsystems)

1.3.9.3 Materials receiving and storage systems (includes all reated subsystems)

1.4 ค่าอุปกรณ์ในโรงกังหันไอน้ำ(Turbine plant equipment)

1.4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ (Terbo-generators)

1.4.1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ และส่วนประกอบ (Turbo-generator and accessories)

Turbo-generator units and related equipment supplied with T-G units such as speed controllers: main stop. trottle and intercept valves: generator coolers: main pilot exciter: moisture separators: gland seals. turning gear: crossover piping: insulation: panel boards:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

instrumentation; protective devices, special tools and rotor lifting slings; and special extractions.

1.4.1.2 ฐานราก (Foundation includes turbo-generator pedestals and moisture separator supports)

- งานคอนกรีต (Concrete; including excavation forms, deviators, reinforcing and embedded items)
- โครงสร้างเหล็ก (Structural steel)

1.4.1.3 Standby exciters

1.4.1.4 Lubricating system

- Lube oil condetioning equipping
- Storage tanks, piping, valves and fittings
- Fire protection equipment

1.4.1.5 ระบบก๊าซ (Gas systems)

- Hydregen racks, borrles, manifolds and piping
- Carbon dioxide racks. bottles. manifolds and piping

1.4.1.6 Reheaters (if steam or other turbine-driving vapour is used as heat sources: if reactor coolant or intermediate heat transport heat transport fluid is heat source)

1.4.1.7 Shielding

1.4.1.8 Weather-proof housing (for outdoor-type installations)

1.4.2 ระบบระบายความร้อน (Heat rejection systems)

1.4.2.1 Water intake common facilities

- Travelling scteens,. drives and controls
- Screen wash pumps. drives and controls
- Trash rake (bar screen, trash rake fine screens, including drives and controls)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Piping,valve and fittings (includes lines for flow recirculation, de-icing, dewatering or draining, makeup and screen washing)
- water treatment systems
  - Chlorine injection system (includes storage tanks and piping)
  - Water treatment systems

1.4.2.2 Circulating water systems (pressurized portions to and from heat exchanger equipment)

- Condenser cooling water supply circuit (including warming lines)
  - Pumps, drives and controls
  - Valves, fittings and expansion units
  - Lines:
    Metal pipe
    Concrete (pipe or tunnel)
    Excavation, back-fill, dewatering, framework, teinforcing steel, insulatione
- Condenser cooling water discharge circuit
  - Valves, fittings and expansion units
  - Lines:
    Metal pipe
    Concrete (pipe or tunnel)
    Excavation, back-fill, etc.
- Auxiliary cooling water circuit
  - Pumps, drives and controls
  - Valves, fittings and expansion units
  - Lines:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Metal pipe

Concrete (pipe or tunnel)

Excavation, back-fill, etc.

- Heat exchangers

1.4.2.3 Cooling towers (includes both dry and evaporative types)

- Foundation and basin
- Piping, valves and fittings
- Heat exchangers
- Tower superstructure
- Fans, drives and controls

1.4.2.4 Other systems that reject heat tothe atmosphere (includes those using air to supplement, or to replace, circulating water systems)

- Fan, drives and controls
- Ducts
- Fooundations, supports and inserts

1.4.3 ระบบกลั่นไอน้ำ (Condensing systems)

1.4.3.1 Condensers

- Condenser shells and associated compponents (includes flexible connection to turbine exhausts, protective coatings, and internals to be compatible with turbine)
- Tubing
- Special duct connections to turbine exhaust
- Special exchaust valves or other turbine isolating means
- Insulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Foundations, supports, bases, inserts and screens

1.4.3.2 Condensate syatem

- Pumps, druves and controls
  - Main condensate
  - Condensate booster
  - Condensate transfer
- Condensate storage tanks (includes protective coatings and fitttings)
- Piping, valves and fittings (main condensate piping segments between condenser hotwell and final condensate pump and vent piping)
- Insulation
- Foundations, supports, hangers, bases, inserts and screen

1.4.3.3 Gas removal system

- Steam-jet ejectors, with inter- and after-condensers
- Priming ejectors
- Vacuum pumps, drices and controls
- Piping, valves and fittings
- Insulation
- Foundations, supports, hangers bases, inserts and screens

1.4.3.4 Turbine bypass system

- Actuating valves
- Pressure-reducing assimblies
- Piping, mainfolds and fittings
- Desuperheating system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Insulation
- Hangers, foundations, supports, bases, inserts and screens

1.4.4 ระบบป้อนความร้อน (Feed-heating system)

1.4.4.1 Regenerative heat exchangers

- Closed heaters
- Open heaters (includes deaeration type)
- Insulation
- Foundation, supports, bases, inserts and screens

1.4.4.2 Pumps

- Main feed pumps, drives and controls
- Auxiliary (startup, emergency, and reserve) feed pumps, drives and controls
- Drains pumps, drives and control
- Insulation
- Foundation, supports, bases, inserts and screens

1.4.4.3 Piping and tanks

- Feed piping (segments between heaters and pumps, and segment leading to containment or reactor isolatino valves, stress relief, radiograpgs, etc.)
- Drains coolers
- Drains and flash tanks
- Extraction, drain and vent piping: valves and fittings
- Insulation
- Hangers, supports and inserts

1.4.5 อุปกรณ์อื่นๆสำหรับโรงกังหันไอน้ำ

1.4.5.1 ท่อไอน้ำหลัก (Main stram or other vapour piping)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Main steam piping (between reactor, boiler, containment or plant isolation valves and turbine stop valves)
- Reheat and separator piping, valves and fittings includes steam piping, relief valves and drain control valves)
- Insulation
- Hangers, supports, foundations. bases. inserts and screens

1.4.5.2 Turbine auxiliaties

- Drains collers
- Drains and flash tanks
- Gland steam condensers
- Gland seal water syatem
- Drip. drains and vent iping, balbes and fittings
- Insulation
- Hangers, supports, foundations. bases. inserts and screens

1.4.5.3 Auxiliaries cooling system

Circuits for colling various turbine plant and electric plant components and HVAC systems in all structures except reactor containment. Such components typically include T-G unit lube oil, generator hydrogen and stator cooling systems. air compressors. feed pumps. etc.

- Pumps. drives and controls
- Storage. surge and head tanks
- Piping. valves and fittings
- Insulation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Hangers, supports, foundations, bases, inserts and screens
- Chemical feed equipment

1.4.5.4 Make-up treatment system

- Evaporator system
- Ion exchange system
- Filter and separator systems
- Pumps, drives and controls
- Piping, valves and fittings
- Storage tanks (includes protective coatings and fittings)
- Hangers, foundations, supports, bases, inserts and screens

1.4.5.5 Chemical treatment and condensate purification systems

- Chemical storage and addition equipment (for boiler treatment)
- Condensate demineralizer and filter system
- Condensate and demineralizer stored water treatment system
- Resin sutorge, regeneration and addition systems
- Boiler blowdown and fluid sampling systems
- Pumps, drives and controls
- Piping, valves and fittings
- Insulation
- Hangers, foundations, supports, vases, inserts and screens

1.4.5.6 Central lubrication service sysstem

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Central system with stores, transfers, purifies and cools lubrication oil for more than one equipment item, sush as a syatem that serves various plant auxiliary turbine drives (and perhaps also the main T-G units).

Lubrication systems that serve only single equipment items exclusively

1.4.5.7 Miscellaneous dispersive items

- Field painting of turbine plant equipment and piping
- Qualification of welders
- Standby labour during startup

1.4.6 Instrumentation and control

Turbine plant control systems (includes panel mounted supervisory instruments and controls located in the control room or locally, control boards, isolated controllers, and isolated recording gauges, meters and instruments)

1.4.6.1 Process I&C equipment

- Operator bench and control room (includes instruments, indicators, alarms, reccoders and controls thereon)
- Local control boards (includes instruments, recorders, indicators, alarms and controls thereon)
- Control systems for process

1.4.6.2 Automatic monitoring and control equipment

- Automatic scaning systems
- Printout and data-logging equipment
- Analog and digital equipment for plant or system control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.6.3 Isolate indicating and recording gauges, meters and instruments

1.4.6.4 Control and instrument piping, tubbing and wiring

1.5 ค่าอุปกรณ์ในโรงผลิตไฟฟ้า(Electric plant equipment)

1.6 ค่าอุปกรณ์อื่นๆในโรงไฟฟ้า(Miscellaneous plant equipment)

1.7 ค่าวัสดุพิเศษ(Special materials)

2.ค่าใช้จ่ายทางอ้อม

2.1 สิ่งอำนวยความสะดวก อุปกรณ์ที่จำเป็น และค่าบริการต่างๆสำหรับการก่อสร้าง(Construction facilities, equipment and services)

2.1.1 สิ่งอำนวยความสะดวกในการก่อสร้าง(Construction facilities)

2.1.2 อุปกรณ์ที่จำเป็นในการก่อสร้าง(Construction equipment)

2.1.3 ค่าบริการสำหรับการก่อสร้าง(Construction services)

2.1.4 (Commissioning and consumable materials)

2.1.4.1 (Commissioning materials and special tools)

2.1.4.2 (Consumable operating materials until commercial operation begines)

2.1.5 ที่พักหน้างาน(Housing for site staff)

2.1.5.1 สำหรับชาวต่างชาติ(Housing - foreign staff)

2.1.5.2 สำหรับคนไทย(Housing - national staff)

2.2 ค่าบริการด้านวิศวกรรม และการบริหาร(Engineering and management services)

2.2.1 วิศวกรณ์ระบบปฏิกรณ์(Reactor systems engineering)

2.2.2 วิศวกรณ์โรงไฟฟ้า(Plant engineering)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ผู้บริหารโครงการ(Project management)

2.2.4 ผู้อำนวยการก่อสร้าง(Construction site supervision)

2.2.5 ผู้ควบคุมประจำหน้างาน(Commissioning site supervision)

2.3 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ(Other costs)

2.3.1 ภาษีและค่าประกัน(Taxes and insurance)

2.3.1.1 ค่าภาษีภายในประเทศ(Taxes(national))

2.3.1.2 ค่าประกันโครงงาน(Project insurance)

2.3.1.3 ค่าธรรมเนียมและการขออนุญาต(Permits and fees(national))

2.3.1.4 ค่าประกันภัยจากนิวเคลียร์ จนกระทั่งเริ่มดำเนินการ(Nuclear hazard insusance)

2.3.2 ค่าฝึกอบรมพนักงาน(Staff training)

2.4 ดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง(Interest during construction)

2.4.1 ดอกเบี้ยเนื่องจากโรงไฟฟ้ารวมทั้งค่าใช้จ่ายทางอ้อม(interest on physical plant and associated indirect costs)

2.4.2 ดอกเบี้ยเนื่องจากค่าที่ดิน(Interest on land and land rights)

2.4.3 ดอกเบี้ยเนื่องจากวัสดุพิเศษ(Interest on special materials)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.6.3 Isolate indicating and recording gauges, meters and instruments

1.4.6.4 Control and instrument piping, tubing and wiring

1.5 ค่าอุปกรณ์ในโรงผลิตไฟฟ้า(Electric plant equipment)

ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็น

1.5.1 สวิทช์กียร์

1.5.1.1 วงจรกำเนิดไฟฟ้า (Generator circuuits)

- Generator switchgear (includes circuit breakers, disconnecting switches, operating mechanisms and interlocks, integral metering and protective equipment and accessories and enclosure for this equipment)
- Generator neutral gounding equipment
- Generator current and potential transformers (includes housings)
- Generator surge arresters or other protective equipment (includes housings)
- Excitation switchgear for main generators (includes voltage regulators, rheostats, discharge resistors, instruments, control devices and housings)
- Special screens, bases, foundations, inserts, or supports for above-listed equipment)

1.5.1.2 สถานีบริการ (Station service)

- Station switchgear for all types of service and all voltage classes (includes circuit breaker, disconnecting switches, operating mechanisms and interlocks, integral metering and protective equipment, current limiting reactors, current and potential transformers, voltage regulators,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

compensators, fault ground buses and accessories and enclosures for this equipment)

- Station motor control centres (centrally located; locally mounted, isolated motor control units are included with the motor being controlled)
- System neutral grounding devices
- Separately mounted station service devices, sush as instrument transformers and surge arresters
- Special screens, bases, foundations, inserts, or supports for above-listed equipment

1.5.2 Station service equipment

อุปกรณ์ในการแปลงแรงดัน สำหรับ Station service equipment แสงสว่าง และ แหล่งกำเนิดพลังงานฉุกเฉิน

1.5.2.1 Station service and startup transformers

- Station service transformers
- Station startup transformers
- Foundations, walls and related structures
- Voltage regulation equipment
- Insulating oil storage and treating equipment (excludes such equipment serveng only the tramsmission plant substation equipment)

1.5.2.2 Low volate unit substations and lighting transformers

- Unit substations and transformers
- Special screens, base, foundations, inserts or supports

1.5.2.3 Auxiliary power sources

- Bateries systems
  - Batteries and chargers
- Auxiliary generators (type is optional)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Moter-generator sets and inverters with switchgear, etc.

1.5.3 แผงสวิทช์ (Switchboard)

Bench, relay and recording and indicating instrument and supervisory control boards installed in the control room (includes deveces mounted on the coards; auxiliary power, battery, and signal system boards)

1.5.3.1 Main control board for electric systems (includes main generators)

- Operator's benchboard and control board
- Protective relay panels
- Recording and indicating instrument panels
- Special screens, bases, insert or supports

1.5.3.2 Auxiliary power and signal boards

- Power distribution panels
- Battery control and d.c. distribution panels
- Separately mounted annunciator panels
- Diesel or gas-turbine auxiliary generator control panels
- Motor-generator ser control panels
- Special screens, bases, inserts or supports

1.5.4 อุปกรณ์ในการป้องกัน (Protective equipment)

1.5.4.1 General station grounding system

- Ground conductors and connectors for equipment, piping and structural members (includes cathodic protection. lighting masts in containment and automatic fire protectors for transformers)
- Ground wells, mats and rods (includes excavation and backfill)

1.5.4.2 Fire protection systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

special fire-extinguishing systems exclusively for electrical equipment, including generator (e.g. CO_2 systems)

1.5.5 Electrical structures and wiring containers

1.5.5.1 Concrete cable tunnels, trenches and envlopes

Tunnels and/or trenches for main generator circuit extending into the switchyard, or for station service circuits between buildings. (When tunnels are part of a building or serve a dusl purpose, electrical and non-electrical)

- Excavation and backfill
- Forms, reinforcing and concrete
- Hangers, cable racks, etc.
- Tunnel lighting, ventilation and location markers
- Manholes

1.5.5.2 Cable trays and supports

1.5.5.3 Conduit

1.5.5.4 Other structures

Pipe and steel frames and supports, concrete footings, barries, compartments, and structures for housing and supporting cable, bus and electrical equipment, other than that already specified

1.5.6 Power and control wiring

1.5.6.1 Generator circuits wiring

Bus (and enclosure) or cable between generator and switching equipment, between switching equipment and terminals (at generator voltafe) of transmission system equipment or station serveces equipment, and between generator and generator neutral grouding equipment

1.5.6.2 Station service power wiring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

all power cables and bus to and from service equipment, switchgear and switchboards

- High voltage cable and bus (1 kV and above)
- Low voltage cable and vus (below 1 kV)

1.5.6.3 Control wiring

All control cables for accessory electric equipment, motor control circuits, and associated protectige and monitoring devices

1.5.6.4 Instrument wiring (twisted pair, thermocouple leads, coaxial, tuaxial and other special instrument cables)

1.5.6.5 Containment penetration (canisters and connection)

1.6 ค่าอุปกรณ์อื่นๆในโรงไฟฟ้า(Miscellaneous plant equipment)

1.6.1 อุปกรณ์ในการยกและขนส่ง (Transportation and lifting equipment)

1.6.1.1 เครน, ตะขอ, รางเดี่ยว และสายพาน

- Turbine builsing crane
  - Bridge and trolley
  - Crane rails and special supports
  - Trolley conductors or trail cable anc all supporting hardware
  - Electrical connections from extremity of feeder circuit (includes any special junction boxes)
- Main reactor building crane
- Other cranes, hoists, monorials and conveyers

1.6.1.2 อุปกรณ์สำหรับรางรถไฟ (Railway equipment)

- Locomotives
- Rolling stock

1.6.1.3 อุปกรณ์สำหรับถนน (Roadway equipment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Trucks
- Cranes
- Fork-lift trucks and pallet trucks
- Tractors
- Trailers
- Automobiles

1.6.1.4 พาหนะทางน้ำ (Water craft)

- Motorized boats
- Barges and other unpowered craft

1.6.1.5 Fuel storage and vehicle maintenance equipment

1.6.2 ระบบบริการด้านน้ำใช้และอากาศ

1.6.2.1 ระบบอากาศ (Air systems)

Compressed-air and vacuum cleaning systems for general station use (includes service air and instrument air; compressed air systems exclusevely serving substation switchgear breakers are included in the transmission plant)

- Compressed air

  - Compressors and drives, dryers, filters, recievers and other compressed-air system accessories

- Subatmopheric air

  - Vacuum cleaning blowers, dust catchers and other vacuum cleaning system accessories

  - Piping and fittings

1.6.2.2 ระบบน้ำ (Water systems)

Service, domestic, and fire protection water systems

- Water supply pumps, including drives and controls (type is optional and may include river, lake or sea water pumps; or deep wells and pumps)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Fire pumps, drives and accessories
  - Main system
  - Auxiliary or jockey system
- Weter cvnditioning system (includes filter bed, coagulator, etc.)
- Storage ranks and/or reservoirs
  - Raw water
  - Treater water
  - Domestic water
- Station service pumps, drives and accessories
- Domestic water treating equipment
- Water heating equipment
- Water distribution systems, indoor and outdoor (includes fire hydrants; all piping, valves, and fittings, and connection to an existing system, if made)

1.6.2.3 Auxiliary heating system (oil-fired boiler units complete with fuel storage facilites, fuel and steam piping, electrical controls, voiler enclosure, etc.)

1.6.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร (Communications equipment)

1.6.3.1 ระบบติดต่อภายในพื้นที่ (Local communication systems)

- General purposr telephone system (includes connection to commercial system)
- Special telephone circuits (includes sound powered systems)
- Wireless facilities (microwave and radio)
- Telegraph and telex facilities
- Public address systems and inter-communication systems (vand sers, speaker, wireless and telex facilites)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6.3.2 ระบบส่งสัญญาณ (Signal systems)

- Fire alarm system
- Security alarm and watchman tour systems
- Evacuation alarm system
- Coded-type call systems
- Other signal systems (noise monitoring)

1.6.4 Furnishing and fixtures

1.6.4.1 Safety equipment

- Fire trucks and accessories
- Portable fire extinguishers
- Respirators and other rescue equipment
- First aid stations
- Hospotal or infirmary equipment

1.6.4.2 ห้องทดลอง (Shop. laboratory and test equipment)

- Mechanical
  - Portable and hand tools
  - Mechine shop
  - Welding shop
  - Pipe shop
  - Sheer metal shop
- Electrical
  - Electrical shop
  - Instrument shop
  - Portable and hand tools
- Chemical laboratory

1.6.4.3 ffice equipment and furnishings

1.6.4.4 Changing-room equipment

- Lockers. shelves. benches. etc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Laundry facilities

1.6.4.5 Environmental monitoring equipment

- Radiological:

  - Airborne or direct-tranmitted

  - Waterborne

- Meteorological

- Other (includes thermal and/or biological polution of groundwaters)

1.6.4.6 ห้องอาหาร (Dining facilities)

- Kitchen equipment

- Dining-room furnishings

1.6.4.7 อุปกรณ์ในการทำความสะอาด (Cleaning equipment)

- Cleaners. mops. polishers. etc.

- Janitorial supplies

1.7 ค่าวัสดุพิเศษ(Special materials)

Inicial supply of special (non-fuel and nonstructural) moderator and/or reflector materials and special (those other than natural water) heat transfer fluids, gases or liquids (includes reactor coolant. intermediate-loop heat transport fluid. and turbine-cycle working fluids)

1.7.1 oderator

1.7.2 Reflector

1.7.3 Reactor coolant

1.7.4 Intermediate coolant

1.7.5 Turbine-cycle working fluids

1.7.5.1 Top cycle fluid

1.7.5.2 Bottom cycle fluid

1.7.6 Other materials

<u>2.ค่าใช้จ่ายทางอ้อม</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 สิ่งอำนวยความสะดวก อุปกรณ์ที่จำเป็น และค่าบริการต่างๆสำหรับการก่อสร้าง(Construction facilities, equipment and services)

2.1.1 สิ่งอำนวยความสะดวกในการก่อสร้าง(Construction facilities)

2.1.2 อุปกรณ์ที่จำเป็นในการก่อสร้าง(Construction equipment)

2.1.3 ค่าบริการสำหรับการก่อสร้าง(Construction services)

2.1.4 (Commissioning and consumable materials)

2.1.4.1 (Commissioning materials and special tools)

2.1.4.2 (Consumable operating materials until commercial opertion begines)

2.1.5 ที่พักหน้างาน(Housing for site staff)

2.1.5.1 สำหรับชาวต่างชาติ(Housing - foreign staff)

2.1.5.2 สำหรับคนไทย(Housing - national staff)

2.2 ค่าบริการด้านวิศวกรรม และการบริหาร(Engineering and management services)

2.2.1 วิศวกรณ์ระบบปฏิกรณ์(Reactor systems engineering)

2.2.2 วิศวกรณ์โรงไฟฟ้า(Plant engineering)

2.2.3 ผู้บริหารโครงการ(Project management)

2.2.4 ผู้อำนวยการก่อสร้าง(Construction site supervision)

2.2.5 ผู้ควบคุมประจำหน้างาน(Commissioning site supervision)

2.3 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ(Other costs)

2.3.1 ภาษีและค่าประกัน(Taxes and insurance)

2.3.1.1 ค่าภาษีภายในประเทศ(Taxes(national))

2.3.1.2 ค่าประกันโครงงาน(Project insurance)

2.3.1.3 ค่าธรรมเนียมและการขออนุญาต(Permits and fees(national))

2.3.1.4 ค่าประกันภัยจากนิวเคลียร์ จนกระทั่งเริ่มดำเนินการ(Nuclear hazard insusance)

2.3.2 ค่าฝึกอบรมพนักงาน(Staff training)

2.4 ดอกเบี้ยที่เกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้าง(Interest during construction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ดอกเบี้ยเนื่องจากโรงไฟฟ้ารวมทั้งค่าใช้จ่ายทางอ้อม(interest on physical plant and associated indirect costs)

2.4.2 ดอกเบี้ยเนื่องจากค่าที่ดิน(Interest on land and land rights)

2.4.3 ดอกเบี้ยเนื่องจากวัสดุพิเศษ(Interest on special materials)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้