



เทคนิคการก่อสร้างโครงการโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ
กรณีศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับลำตะคอง

Construction Techniques of the Pumped Storage Power Plant :
Case Study on the Lam Ta Khong Pumped Storage Project

นาย จักรกฤษณ์ กาลจักร

Mr. Jakrit Kalajak

นาย อัมรงค์ พันธุ์สุระ

Mr. Thamrong Phansura

วัน เดือน ปี..... 16.ธ.ค. 2541

เลขทะเบียน..... 039013

เลขเรียกหนังสือ..... T 40164 9 216 7

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุก 039013 ใช้

CONSTRUCTION TECHNIQUES OF THE PUMPED STORAGE POWER PLANT :
CASE STUDY ON THE LAM TA KHONG PUMPED STORAGE PROJECT



MR. JAKRIT KALAJAK
MR. THAMRONG PHANSURA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR
DEGREE OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

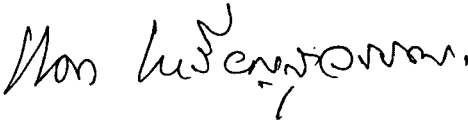
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ เทคนิคการก่อสร้างโครงการโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ
กรณีศึกษา โครงการโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับลำตะคอง
Construction Techniques of the Pumped Storage Power Plant:
Case Study on the Lam Ta Khong Pumped Storage Project

นักศึกษา นาย จักรกฤษณ์ กาลจักร รหัสประจำตัว 37014048
 นาย ธำรงค์ พันธุ์สุระ รหัสประจำตัว 37014170
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. สมชาย สำลีรางค์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ. อุเบ ศิริแก้ว

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. แดง เจริญสุวรรณ	
ดร. ศรีกริช หิรัญมาศ	
อ. สมชาย สำลีรางค์กุล	
อ. วิบูลย์ วุฒิญาณ	
อ. อุเบ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. แดง เจริญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ เดือน พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	เทคนิคการก่อสร้างโครงการโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ กรณีศึกษาโครงการ โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับลำตะคอง
นักศึกษา	นาย จักรกฤษณ์ กาลจักร นาย อารังค์ พันธุ์สุระ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. สมชาย ลำลีรางค์กุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อ. อุบล ศิริแก้ว
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2540

บทคัดย่อ

โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำไปผลิตกระแสไฟฟ้า โดยการสูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำตอนล่างขึ้นไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำตอนบนแล้วปล่อยให้น้ำไหลลงผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งติดตั้งในอุโมงค์โรงไฟฟ้าระดับล่าง ผลิตกระแสไฟฟ้าเมื่อมีความต้องการใช้ไฟมาก ดังนั้น โครงการจึงประกอบด้วย อ่างเก็บน้ำด้านบน อุโมงค์ด้านต้นน้ำ อุโมงค์โรงไฟฟ้า อุโมงค์ด้านท้ายน้ำ ทางออกของน้ำ และอ่างเก็บน้ำด้านล่าง การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำด้านบนเป็นการขุดเปิดและถมเขื่อนด้วยวิธีการใช้วัสดุให้สมดุลเพื่อประหยัดค่าวัสดุ มีการคาดผิวอ่างเก็บน้ำด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต งานก่อสร้างอุโมงค์ใช้เทคนิคการเจาะและระเบิด และใช้เครื่องเจาะอุโมงค์ในหินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.5 เมตร เพื่อเจาะปล่องในแนวตั้ง มีการขนย้ายเศษวัสดุด้วยรถบรรทุกในอุโมงค์ทั่วไป และระบบรางในอุโมงค์ที่มีแนวเอียง การค้ำยันในอุโมงค์ใช้วิธีการ Rockbolt Shotcrete และ Steel ribs ขณะก่อสร้างให้พลมระบายอากาศขนาด 60 – 100 Kw จำนวน 8 ตัว ติดตั้งตลอดแนวอุโมงค์ มีการตรวจวัดการยุบของผนังอุโมงค์ด้วยการวัดการเบนเข้าหากัน (Convergence) จากการศึกษาพบว่ามีอัตราการยุบเจาะอุโมงค์ 7 – 8 มม.ต่อวัน วิธีการขุดเปิดชั้นหินและการค้ำยันแตกต่างจากระบบ NATM ไม่มีการพังทลายของชั้นหินหลังจากการค้ำยัน โครงการในระยะแรก (ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 และ 2) มีระยะเวลาการก่อสร้างประมาณ 8 ปี ใช้งบประมาณการก่อสร้างประมาณ 4900 ล้านบาท คิดเป็น 32 % ของมูลค่าโครงการ ส่วนโครงการในระยะที่สองถูกระงับการก่อสร้างไว้โดยไม่มีกำหนด เนื่องจากสภาพทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Construction Techniques of the Pumped Storage Power Plant : Case Study on the Lam Ta Khong Pumped Storage Project
Student	Mr. Jakrit Kalajak Mr. Thamrong Phansura
Project Advisor	Mr. Somchai Samleerangkul
Project Co-Advisor	Ms. Uba Sirikaew
Level of Study	Bachelor Degree of Engineering
Department	Civil Engineering, Faculty of Engineering
Academic Year	1997

ABSTRACT

The Lam Ta Khong pumped storage project was developed by the concept of energy optimization. There were six components, namely, upper reservoir, penstock, hydropower plant (cavern), tailrace tunnel, outlet and lower reservoir. Most of the structures were constructed in rock. Therefore, this special project aims to study the construction technique performed in those hard grounds. The upper reservoir is a rock fill dam, squared shape, 0.34 km² area and 10.3 MCM capacity. Techniques of the construction are cut and fill for soil, drilling and blasting for rock and asphalt concrete pavement for the upper reservoir. Tunnels were constructed by drilling and blasting technique. The ground supports were rock bolt, shotcrete and steel ribs. Type of supporting was based on the ground condition classified by EPDC. Mucking is carried out by truck and conveyor. The tunnels were installed by the 60 – 100 Kw ventilation air fans. Monitoring for ground deformation is performed by convergence. This study reveals that the rate of drilling and blasting is 7 – 8 m/day. Technique of selection on the ground supports is quite different from NATM. Blasting caused overbreak in comparatively soft ground. There were no observed and reported of the rock failure and large amount of ground deformation. The project started on 1992 for 8 years duration of the construction. The budget of construction is about 4900 million baht. It is about 32 percent of the total cost.

กิตติกรรมประกาศ

ขออาราธนาคุณพระศรีรัตนตรัย จงดลบันดาลความสุข ความเจริญ และสุขภาพที่แข็งแรง แก่ทุกท่าน ที่ได้มีส่วนร่วมช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษขึ้นนี้จนประสบความสำเร็จได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบคุณบุคคล และหน่วยงานต่อไปนี้

อ. สมชาย ลำลีรางค์กุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้คอยให้คำแนะนำ คำวิจารณ์ และกำลังใจแก่พวกเราเสมอ

อ. อุบะ ศิริแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ให้แนวทางในการทำโครงการขึ้นนี้ และคอยช่วยเหลือตลอดเวลาการทำงาน

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษทุกท่าน ที่ช่วยชี้แนะถึงจุดบกพร่องของงานที่ทำในการ Present แต่ละครั้ง และเอาใจใส่ดูแลพวกเราเป็นอย่างดี

เจ้าหน้าที่ที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตทุกท่าน ในฝ่ายก่อสร้างพลังน้ำ กองโยธา และฝ่ายโครงการลำตะคอง ทั้งท่านที่ประจำอยู่ที่บางกรวย และที่ลำตะคอง ที่ได้ช่วยเหลือเพื่อข้อมูล และให้ความรู้เกี่ยวกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณพีทิตติศักดิ์ ผู้ช่วยหัวหน้าหน่วยโยธาโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

อ. แดง เจริญสุวรรณ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา ผู้เอื้อเฟื้ออนุญาตให้พวกเราได้ใช้ห้องประชุมเป็นห้องทำงานตลอด 24 ชม.

บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆทุกคน ที่ช่วยเป็นกำลังใจให้เสมอมา

สุดท้ายนี้ สำหรับทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษขึ้นนี้ พวกเราจะไม่มีบุญคุณเลย และจะระลึกถึงเสมอตลอดไป

จักรกฤษณ์ กาลจักร

ธำรงค์ พันธุ์สุระ

คำนำ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก โรงไฟฟ้าชนิดนี้มีคุณประโยชน์ต่อระบบไฟฟ้าของประเทศอย่างมากมาย เนื่องจากสามารถผลิตไฟฟ้ามารองรับกับช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด ช่วยเสริมกำลังการผลิตให้กับโรงไฟฟ้าพลังความร้อน ซึ่งกระทำได้โดยการดึงพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำมาสูบน้ำขึ้นไปเก็บไว้บนที่สูง และปล่อยน้ำลงมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยผ่านกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในยามที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโรงไฟฟ้าชนิดนี้

ดังนั้น ขั้นตอนและวิธีในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชนิดนี้ จึงมีเทคนิคแตกต่างออกไปจากการก่อสร้างทั่วไป สำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง เป็นโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับที่ปฏิบัติงานเต็มรูปแบบ (ใช้วิธีสูบกลับในการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว) แห่งแรกของประเทศไทย จึงถูกนำมาเป็นกรณีศึกษา สำหรับศึกษาเรื่องเทคนิคต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชนิดนี้

รายงานเล่มนี้จึงรวบรวมขั้นตอน และวิธีที่ใช้ในการก่อสร้างส่วนประกอบหลักต่างๆของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง โดยหวังว่าจะเป็นประโยชน์แม้เพียงน้อยนิดสำหรับผู้ที่จะศึกษาในเรื่องนี้ หรือเรื่องที่เกี่ยวข้องในภายภาคหน้า ถ้าหากผิดพลาดประการใดต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย โดยถือเป็นความผิดพลาดของผู้เขียนแต่เพียงผู้เดียว

จักรกฤษณ์ กาลจักร
ธำรงค์ พันธุ์สุระ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	II
กิตติกรรมประกาศ	III
คำนำ	IV
สารบัญ	V
สารบัญรูปและตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
- ความเป็นมา	1
- วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	2
- ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ	2
- ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
- วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ	2
- ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ระบบสูบกกลับโดยทั่วไป	3
- ทั่วไป	3
- ประเภทของโรงไฟฟ้าแบบสูบกกลับ	5
- อ่างเก็บน้ำสำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกกลับ	8
- โรงไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกกลับ	10
บทที่ 3 ลักษณะของโครงการที่ลำตะคอง	13
- ทั่วไป	13
- ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าแบบสูบกกลับ	13
- ราคาของโครงการ	17
- ระบบระบายอากาศ	19
- ระบบแสงสว่าง	20
- ระบบระบายน้ำ	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ลักษณะของโครงการที่ลำตะคอง (ต่อ)

- ระบบการตรวจวัด

22

บทที่ 4 อ่างเก็บน้ำด้านบน

23

- ท่อไป

23

- ขั้นตอนการก่อสร้าง

23

บทที่ 5 อุโมงค์ต่างๆในโครงการ

40

- ท่อไป

40

- งานก่อสร้างอุโมงค์

47

- Penstock

51

- Tailrace Tunnel

52

- โรงไฟฟ้าใต้ดิน

54

บทที่ 6 Outlet

56

- ท่อไป

56

- ขั้นตอนการก่อสร้าง

56

- หลักการลดความดันและความเร็วของน้ำบริเวณ Outlet

59

บทที่ 7 สรุปและผลที่ได้รับ

60

- สรุป

60

- ผลที่ได้รับ

61

ภาคผนวก

62

บรรณานุกรม

83

สารบัญรูปและตาราง

	หน้า
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆของโครงการ	14
รูปที่ 4.1 รูปตัดของตัวเขื่อน	25
รูปที่ 4.2 ภาพแสดงชั้นของ Asphalt Concrete	27
รูปที่ 4.3 การพ่น Prime Coat บนแนวลาดเอียง (Slope)	33
รูปที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์ของ Main Winch	33
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะเครื่องปู (Paver) ABG – Titan 325	34
รูปที่ 4.6 แบบแสดงแนวการปู Asphalt Concrete ในบริเวณโค้งมุมอ่า	36
รูปที่ 4.7 แสดงการปู Asphalt Concrete บริเวณมุมอ่า (Corner Area)	36
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของเครื่องมือสำหรับการทำ Joint Treatment (Infrared-Heater)	38
รูปที่ 5.1 ภาพอุโมงค์ต่างๆ	42
รูปที่ 5.2 เครื่องเจาะ Atlas Copco Simba	43
รูปที่ 5.3 รูปแบบการฝังระเบิด	44
รูปที่ 5.4 Caterpillar Wheel Loader Model 980 W / Libu Bucket	45
รูปที่ 5.5 Wagner Front End Loader Model MS – 2	46
รูปที่ 5.6 Rockbolt ชนิดใช้ resin เป็นตัวยึด	46
รูปที่ 6.1 รูปแปลนพร้อมรายละเอียดบริเวณ Outlet	57
รูปที่ 6.2 บริเวณ Cofferdam ของ Outlet	58
รูปที่ 6.3 บริเวณ Cofferdam ของ Outlet	58
รูปที่ A1 รถตักดินจำพวก Loader	69
รูปที่ A2 รถ Backhoe ใช้ในการตักดิน	69
รูปที่ A3 Full Face Down Equipment ใช้เจาะอุโมงค์เอียง	70
รูปที่ A4 Full Face Down Equipment ทางด้านหลัง	70
รูปที่ A5 รถสำหรับพ่น Shotcrete	71
รูปที่ A6 การพ่น Shotcrete	71
รูปที่ A7 เครื่องมือเจาะ Prestressed Rock Anchors	72
รูปที่ A8 ส่วนปลายของ Prestressed Rock Anchors ที่ยังไม่ได้ตัด	72
รูปที่ A9 รถเจาะ Jumbo Drill แบบ 3 Boom	73
รูปที่ A10 พัดลมระบายอากาศ	73
เอกสรูปที่ A11 การเจาะรูเพื่อติดตั้ง Rockbolt เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	74
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	

สารบัญรูปและตาราง (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ A12 การเจาะช่องเพื่อฝังระเบิด	74
รูปที่ A13 Steel Ribs ทำจากเหล็กรูปตัว H ช่วยค้ำยัน	75
รูปที่ A14 การติดตั้งอุปกรณ์ Convergence Measurement	76
รูปที่ A15 ภาพแสดงอุโมงค์ต่างๆ บริเวณโรงไฟฟ้า	77
รูปที่ A16 อุปกรณ์การวัดแบบ Convergence	78
รูปที่ A17 รูปแบบของ MPBX ติดตั้งกับอุปกรณ์ของ Convergence Measurement	78
รูปที่ A18 Tape Extensometer	79
ตารางที่ 3.1 ราคาของโครงการในระยะแรก	18
ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของชั้น Asphalt Concrete	28
ตารางที่ 4.2 แสดง Mixes ที่มีคุณสมบัติตามต้องการในช่วง Details Design	29
ตารางที่ 4.3 ข้อกำหนดที่ใช้ในการทำงาน Asphalt Concrete	30
ตารางที่ 4.4 Mixes ที่อนุมัติให้ใช้งานในการก่อสร้างจริง	31
ตารางที่ 4.5 สรุปวิธีการ Placing และการบดอัด (Compaction) ของ Asphalt Concrete	37
ตารางที่ 5.1 ข้อกำหนดในการทำงานของ Shotcrete	41
ตารางที่ 5.2 ข้อกำหนดของ Rockbolt	41
ตารางที่ A1 List of Construction Equipment and Plant of the Joint Venture	63
ตารางที่ A2 Type of Shotcrete	67
ตารางที่ A3 Type of Rockbolt	67
ตารางที่ A4 Instrumentation Items	67
ตารางที่ A5 Embankment Standard	68
ตารางที่ A6 Construction Schedule	80

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมา

จากภาวะการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จึงได้มีการศึกษาและวางแผนพัฒนา กำลังผลิตรองรับไว้ล่วงหน้าตลอดเวลา

โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ เป็นอีกโครงการหนึ่งที่ได้บรรจุไว้ในแผนพัฒนา กำลังผลิตไฟฟ้าของ กฟผ. ปี 2533 – 2534 แต่ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้มาตั้งแต่ปี 2528 ต่อมาในปี 2532 องค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น (JICA) ได้ให้ความช่วยเหลือ กฟผ. ในการศึกษาความเหมาะสมโครงการ โดยศึกษาแล้วเสร็จในปี 2534 และในปีเดียวกันนี้ กฟผ. ได้ว่าจ้างมหาวิทยาลัยขอนแก่นศึกษาสำรวจรายละเอียด วิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อพิจารณากำหนดมาตรการและแนวทางแก้ไขปัญหาสีเขียวสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น ต่อจากนั้น กฟผ. ได้ว่าจ้างบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาจากประเทศญี่ปุ่น ทำการศึกษารายละเอียดโครงการ แล้วนำเสนอ ขออนุมัติก่อสร้างโครงการต่อไป

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (สผ.) สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการ เศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) และกระทรวงการคลัง ได้พิจารณาโครงการในส่วนที่เกี่ยวข้อง และมีมติเห็นชอบให้ดำเนินการก่อสร้างโครงการได้ ดังนั้น สศช. จึงเสนอขออนุมัติโครงการ จากคณะรัฐมนตรี (ครม.) และมีมติอนุมัติให้ดำเนินการก่อสร้างได้เมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2537

สำหรับโรงไฟฟ้าพลังน้ำระบบสูบกลับนี้ พัฒนามาจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบปกติ กล่าวคือ ในโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบปกติ นั้น เมื่อได้ใช้น้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว น้ำก็จะไหลออกไปโดยเปล่าประโยชน์ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก เป็นการสูญเสียทรัพยากรอย่างไร้ค่า แต่ในโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับนี้ สามารถจะนำน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วกลับมาใช้ได้อีก หมุนเวียนไปเรื่อยๆ โดยน้ำไม่สูญหายไปไหน นับเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

หลักในการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับคือ นำพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ ไฟฟ้าน้อยได้แก่ ช่วงเวลากลางคืนใกล้เช้าที่เป็นเวลาอนของผู้คนส่วนใหญ่ ไม่ค่อยมีการใช้ไฟฟ้า ทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตออกมาอย่างคงที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ จึงดึงไฟฟ้าส่วนนี้มาทำการสูบน้ำจากอ่างล่างขึ้นไปเก็บยังอ่างบน เพื่อปล่อยลงมาผลิตในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงได้แก่ ช่วงเวลากลางวันจนถึงหัวค่ำที่ตามห้างสรรพสินค้า บริษัท โรงงานอุตสาหกรรม มีการใช้ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา และการเปิดไฟตามบ้านเรือนในช่วงหัวค่ำ เพื่อช่วยให้มีปริมาณไฟฟ้าพอใช้โดยไม่ต้องเอกลำเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปเร่งกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่เป็นระบบหลัก จึงเกิดความคุ้มค่าในแง่ของการนำพลังงานไฟฟ้าที่จะเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงได้ โดยเก็บพลังงานส่วนนั้นไว้ในรูปของน้ำ

และจากหลักการทำงานที่ต่างออกไป แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับย่อมต้องมีส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งต้องอาศัยเทคนิคการก่อสร้างใหม่ๆ หรือเป็นวิธีเฉพาะ จึงน่าที่จะทำการศึกษาวาดต่างไปจากการก่อสร้างตามปกติอย่างไร

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

ต้องการจะศึกษาถึงเทคนิคการก่อสร้างที่ใช้ในโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในโครงการพิเศษ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับมีส่วนประกอบหลายส่วน สำหรับปฏิบัติหน้าที่ตามหลักของระบบสูบกลับได้แก่ อ่างเก็บน้ำด้านบน ท่อน้ำใต้ดิน โรงไฟฟ้าใต้ดิน Outlet ซึ่งได้รวบรวมเทคนิคการก่อสร้างที่ต่างไปจากโครงการก่อสร้างทั่วไป ซึ่งต้องใช้เทคโนโลยีการก่อสร้างให้เหมาะสมกับโครงการ จึงเป็นเหตุให้เกิดความน่าสนใจที่จะเข้าไปทำการศึกษาในส่วนของเทคนิคการก่อสร้างของโรงไฟฟ้าชนิดนี้

ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ทำการศึกษาเทคนิคการก่อสร้างของอ่างเก็บน้ำด้านบน อุโมงค์ต่างๆ ได้แก่ อุโมงค์ของท่อน้ำด้านบน (Penstock) อุโมงค์ด้านท้ายน้ำ (Tailrace Tunnel) อุโมงค์ของโรงไฟฟ้า (Powerhouse Cavern) และในส่วนทางออกของน้ำ (Outlet)

วิธีที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

ศึกษาข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยซึ่งเป็นเจ้าของโครงการ รวมทั้งหาข้อมูลเสริมจากแหล่งต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงเทคนิคของการก่อสร้างในทุกขั้นตอน

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ได้ทราบถึงเทคนิคการก่อสร้างส่วนต่างๆที่สำคัญของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ (กรณีศึกษาที่โครงการลำตะคอง)

บทที่ 2

ระบบสูบลับโดยทั่วไป

ทั่วไป

ในทุกวันนี้การผลิตพลังงานไฟฟ้าพื้นฐานมาจาก โรงไฟฟ้าแบบพลังความร้อนสูง หรือ พลังนิวเคลียร์ ที่มีประสิทธิภาพและให้ผลผลิตสูง ข้อดีของโรงไฟฟ้าเหล่านี้ คือ ราคาต่อหน่วย (ราคา/kW) ของการผลิตพลังงานจะถูกลง แต่ก็มีข้อเสียดังต่อไปนี้

1. ต้องปฏิบัติงานในช่วงจำกัด เพื่อที่จะได้ประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าเดินเครื่องด้วยกำลังสูง หรือต่ำกว่าช่วงจำกัดแล้ว การหมดเปลืองของเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ราคาต่อหน่วยของการผลิตสูงขึ้น
2. ขาดแคลนความยืดหยุ่นในการปฏิบัติงานที่จะปรับตัวกับการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน ดังนั้นจึงไม่สามารถจะปิดหรือเปิดเครื่องใหม่ได้ในเวลาสั้นๆ
3. ต้องการช่วงเวลาประมาณ 6 ชม. ในการที่จะเดินเครื่องได้อย่างเต็มที่จากตำแหน่งที่ปิดอยู่สนิท

ข้อเสียเปรียบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสูงจะหมดไปได้โดยการมีโรงไฟฟ้าสนับสนุน ซึ่งควรจะสามารถเหล่านี้

1. ผลิตกำลังสูงสุดได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง
2. สร้างพลังงานเสริมในระหว่างช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ และพัฒนาค่า Load Factor ของโรงไฟฟ้า
3. ปรับการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ เพื่อที่จะเหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆลงๆของ load ในระบบอย่างทันทีทันใด
4. สามารถที่จะผลิตอย่างเต็มกำลังได้อย่างรวดเร็วจากจุดหยุดนิ่ง หรือ ปิดเครื่องได้อย่างรวดเร็ว

ถึงแม้ว่า โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนสูงแบบใช้ฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงจะสามารถรองรับเงื่อนไขแรกได้ แต่มีเพียงโรงไฟฟ้าแบบสูบลับเท่านั้นที่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขได้ทั้ง 4 ข้อ

การทำงานของโรงไฟฟ้าแบบสูบลับ

ในโรงไฟฟ้าชนิดนี้ พลังงานจะถูกเก็บสะสมในทะเลสาบบนที่สูง โดยสูบน้ำขึ้นไปในช่วงเวลากลางคืน หรือระหว่างสลดสัปดาห์เมื่อความต้องการพลังงานต่ำ (เป็นที่มาของชื่อโรงไฟฟ้าชนิดนี้) น้ำที่ถูกเก็บไว้นี้จะใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการสูง

เอกสารนี้โรงไฟฟ้าแบบสูบลับได้ช่วยเหลือระบบใน 2 ทาง ได้แก่ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ได้ปรับปรุงค่า Load Factor ในช่วงความต้องการต่ำ ช่วยทำกำไรให้ระบบ
2. ได้ลดความต้องการให้โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนผลิตพลังงานสูงสุด ทำให้เป็นไปได้ที่จะใช้อุปกรณ์การผลิตที่มีขนาดต่ำลงในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน

โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เหมือนโรงไฟฟ้าพลังน้ำปกติ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำด้านบน ท่อส่งบน โรงไฟฟ้า และท่อด้านท้ายน้ำ ข้อแตกต่างเพียงอย่างเดียวคือ อ่างเก็บน้ำตรงด้านท้ายน้ำซึ่งจะอยู่ต่ำกว่า ซึ่งน้ำจากด้านนี้จะถูกใช้ในการสูบ มีการติดตั้งเครื่องยนต์เพิ่มเติมในโรงไฟฟ้าสำหรับการสูบน้ำ ระบบที่จะถูกออกแบบสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำแบบสองทาง สายส่งไฟฟ้าจะเชื่อมโรงไฟฟ้ากับสายไฟฟ้าซึ่งใช้ดึงกำลังไฟฟ้ามาในขณะที่ทำการสูบน้ำ

ประสิทธิภาพของกระบวนการสำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

กระบวนการสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ กระบวนการสูบ และกระบวนการผลิต ขณะสูบ การสูญเสียจะเกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์ ปัม และท่อด้านบน ส่วนขณะผลิต การสูญเสียจะเกิดขึ้นในท่อด้านบน กังหันน้ำ เครื่องผลิตไฟฟ้า และหม้อแปลงไฟฟ้า

ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ถูกให้ไว้ดังนี้

หม้อแปลงไฟฟ้า	98 %
มอเตอร์ – เจเนอเรเตอร์	96 %
กังหันน้ำ	92 %
ปัม	88 %
ท่อด้านบน	96 – 98 % (ขึ้นอยู่กับความยาวท่อ)

ประสิทธิภาพของกระบวนการทั้งหมดถูกกำหนดอยู่ในช่วง 65 – 75 % ซึ่งหมายความว่า ทุกๆ 3 – 4 MW ที่ดึงมาจากระบบระหว่างช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่สูงสุด จะมี 2 – 3 MW จะถูกส่งกลับไปยังระบบระหว่างช่วงที่ความต้องการสูง ขณะที่ประมาณ 1 MW จะสูญเสียไป

เหตุผลสนับสนุนทางเศรษฐกิจ

1. ระบบไฟฟ้าหลายแห่งมีราคาพิเศษสำหรับค่าไฟฟ้าช่วงที่ใช้ไฟฟ้าสูง ซึ่งจะแพงกว่าราคาปกติประมาณ 3 – 4 เท่า ดังนั้น แม้โรงไฟฟ้าประสิทธิภาพ 65 % ก็ยังทำรายได้เพิ่มขึ้นได้ เพราะมีการแปลงพลังงานไฟฟ้าช่วงความต้องการต่ำซึ่งราคาถูก ไปเป็นพลังไฟฟ้าช่วงความต้องการสูงและราคาแพง รายได้เหล่านี้ถูกจ่ายกลับไปให้กับการลงทุนที่กระทำในโรงไฟฟ้า

2. สำหรับโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำแบบใหม่ การสิ้นเปลืองถ่านหินมีค่าประมาณ 9.5×10^6 จูลต่อ kWh ที่การผลิตเต็มกำลัง ซึ่งอาจจะเพิ่มเป็น 12.5×10^6 จูลต่อ kWh สำหรับการผลิตที่ลดกำลังการผลิตลง จึงเป็นการพัฒนาค่า Load Factor ในช่วงที่มีความต้องการต่ำ ส่งผลต่อการประหยัดจำนวนของการสิ้นเปลืองถ่านหิน

3. ทางเลือกของการผลิตพลังงานสูงสุด โดยใช้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ฟอสซิลเป็นเชื้อเพลิงมีราคาแพงมาก

4. ทางเลือกอื่นๆสำหรับการผลิตพลังงานสูงสุด โดยโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนก็พิสูจน์แล้วว่าไม่ประหยัด โดยปกติโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำที่เก่า และไม่มีประสิทธิภาพจะถูกใช้ทำหน้าที่นี้ และการหมดเปลืองด้านหินของมันเป็นค่า 1.5 – 2 เท่าของโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำที่มีประสิทธิภาพดี ข้อดีของโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

1. มีอายุการใช้งานนาน สามารถให้การทำงานที่มีประสิทธิภาพ แม้ผ่านการใช้งานมาแล้วถึง 25 ปี

2. มีความเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงาน ค่าใช้จ่ายต่ำ และค่าบำรุงรักษาก็น้อย

3. มีการปฏิบัติงานที่ยืดหยุ่นมาก เครื่องยนต์จะสามารถทำการผลิตได้อย่างเต็มที่จากจุดหยุดนิ่งภายใน 2 – 3 นาที และสามารถปิดเครื่องได้อย่างรวดเร็ว สามารถเปลี่ยนระบบการทำงานได้เร็วมาก ลักษณะสำคัญเหล่านี้ได้ช่วยเหลือระบบอย่างมีประสิทธิภาพในการเผชิญช่วงเวลาที่ต้องการไฟฟ้าสูงสุด หรือเกิดการกระตุกอย่างฉับพลัน

4. การปฏิบัติงานในระบบที่แตกต่างกันของโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับสามารถควบคุมได้อย่างง่ายดายโดยรีโมตคอนโทรล ผลจากจุดนี้ทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายแรงงานคนอย่างมาก

ด้วยข้อดีเหล่านี้ เมื่อมีการประมาณราคาเบื้องต้นที่โรงไฟฟ้า Ffestiniog ในสหราชอาณาจักร ได้เปรียบเทียบว่าหน่วยผลิตแบบสูบกลับ 100 MW มีค่าเท่ากับหน่วยผลิตพลังงานความร้อน 120 MW เพียงเดียว

ในปัจจุบันเมื่อโรงไฟฟ้าใหม่ ๆ ได้ถูกวางแผนขึ้น จะมีการจัดหาโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับด้วยปริมาณ 15 – 20 % ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เพราะพบว่าการทำงานร่วมกันของโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับขนาด 500 MW ทำงานร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาด 2000 MW ให้กำไรกับระบบมากกว่า โรงไฟฟ้าพลังความร้อนขนาด 2500 MW ดังนั้นโรงไฟฟ้าชนิดนี้จำนวนมากจึงถูกสร้างขึ้นในทั่วโลก

ประเภทของโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับสามารถจำแนกได้ 2 แบบ

1. จำแนกตามระยะเวลาของกระบวนการปฏิบัติงาน ได้แก่ ต่อวัน ต่อสัปดาห์ และต่อฤดู
2. จำแนกตามการไหลเข้าของน้ำ ได้แก่ แบบบริสุทธิ์ และแบบผสม

จำแนกตามพื้นฐานของกระบวนการ

1. ในโรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการประจำวัน น้ำจะถูกสูบขึ้นในช่วงที่มีความต้องการต่ำ โดย

ทั่วไปจะเป็นจากที่เขื่อนจนถึงเขื่อน เพื่อที่จะผลิตพลังงานในช่วงสูงสุดตอนช่วงสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- และ บ่าย การสูบน้ำจะทำในช่วงพักสั้นๆที่มีความต้องการต่ำในช่วงใกล้เที่ยง ขึ้นกับเงื่อนไขของระบบ ตัวอย่างของชนิดนี้คือ โรงไฟฟ้า Cruachan ในสหราชอาณาจักร
2. ในโรงไฟฟ้าที่มีการปฏิบัติงานประจำสัปดาห์ การสูบน้ำจะกระทำในระหว่างสัปดาห์ให้เวลาในช่วงความต้องการต่ำซึ่งยาวนาน 48 – 60 ชม. ในกรณีนี้อ่างเก็บน้ำด้านบนต้องมีขนาดความจุใหญ่มากเมื่อเทียบกับแบบที่ทำงานประจำวัน
 3. ในกรณีของโรงไฟฟ้าที่ใช้งานประจำปี จะกระทำการสูบน้ำในฤดูร้อนต่อเนื่องกันหลายวัน เพื่อที่จะถูกใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตพลังงานอย่างต่อเนื่องในช่วงที่มีความต้องการสูงในฤดูหนาว โรงไฟฟ้าชนิดนี้ต้องการอ่างเก็บน้ำด้านบนที่เหมาะสมคือ มีขนาดใหญ่พอที่จะเก็บน้ำเป็นเวลา 2 – 3 เดือน เทียบกับขนาดการเก็บสะสมสำหรับความต้องการ 2 – 3 ชม. ของโรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการประจำวัน การไหลเข้าของน้ำในอ่างเก็บน้ำด้านล่างต้องมีจำนวนของน้ำมากพอสำหรับการสูบน้ำ ถึงแม้ว่าขนาดของอ่างเก็บน้ำด้านล่างอาจจะไม่ใหญ่มากนัก

การจำแนกโรงไฟฟ้าด้วยวิธีนี้ไม่เคร่งครัดเสมอไป บ่อยครั้งที่กระบวนการประจำวันอาจถูกแทนที่เป็นกระบวนการประจำสัปดาห์ และทั้งสองกระบวนการข้างต้นก็อาจถูกแทนที่เป็นกระบวนการประจำปี

จำแนกตามชนิด

โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับสามารถแบ่งอีกอย่างตามการไหลเข้าของน้ำได้ดังนี้คือ แบบไหลกลับไปมาหรือแบบบริสุทธิ และแบบผสม

1. ในแบบไหลกลับไปมา มวลของน้ำจำนวนเดียวกันจะถูกย้ายขึ้นและลงซ้ำไปมา จำนวนของน้ำทั้งหมดที่ผ่านกังหันน้ำและผ่านปั๊มเป็นจำนวนเดียวกัน หัวน้ำโดยรวมของปั๊มและกังหันน้ำมีค่าเหมือนกัน จะไม่มีการไหลเข้าของน้ำสู่อ่างเก็บน้ำด้านบน และการไหลเข้าของน้ำในอ่างเก็บน้ำด้านล่างจะพอเหมาะกับการสูญเสียจากการระเหยและการไหลซึม ความจุของอ่างเก็บน้ำด้านบนและด้านล่างจะใกล้เคียงกัน ตัวอย่างได้แก่ Vianden (ลักเซมเบิร์ก), Ffestiniog (สหราชอาณาจักร) และ Taum Sauk (สหรัฐอเมริกา)

2. การสูบกลับที่เป็นแบบผสม คือ มีความเป็นไปได้ที่จะผลิตพลังงานเพิ่มเติมโดยมีการไหลเข้าของน้ำในอ่างเก็บน้ำด้านบนตามธรรมชาติ ในกรณีนี้ ปริมาณทั้งหมดของน้ำที่ไหลผ่านกังหันน้ำจะมากกว่าที่ไหลผ่านปั๊ม การผลิตพลังงานส่วนที่เพิ่มเติมนี้จะช่วยพัฒนาการเติบโตทางเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้า ตัวอย่างได้แก่ Roncoval – grande (อิตาลี), Cruachan (สหราชอาณาจักร), สถานีน้ำตก Niagara (แคนาดา)

บางครั้งน้ำส่วนที่เพิ่มขึ้นมานั้น อาจถูกสูบขึ้นไปยังอ่างเก็บน้ำด้านบนโดยนำมาจากอ่างเก็บน้ำด้านล่างแห่งที่สองก็เป็นได้ โรงไฟฟ้า Reisach ในเยอรมันซึ่งมี 3 อ่างเก็บน้ำเป็นตัวอย่างหนึ่ง

ได้มีโรงไฟฟ้าพลังน้ำขึ้นน้ำลงได้ถูกสร้างที่แม่น้ำ Rance ในฝรั่งเศสซึ่งรวมวิธีแบบสูบกลับและวิธีการผลิตด้วยพลังน้ำแบบปกติไว้ด้วยกัน ซึ่งสามารถเรียกได้ว่าเป็นโรงไฟฟ้าแบบผสม การเลือกสถานที่สำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

ในขณะที่ทำการค้นหาทำเลที่เหมาะสม ปัจจัยต่อไปนี้จะควรถูกพิจารณา

1. เนื่องจากโรงไฟฟ้าแบบนี้ทำงานเป็นตัวสนับสนุนกับโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่เป็นตัวหลัก จึงควรอยู่ใกล้โรงไฟฟ้าหลัก หรือใกล้ศูนย์กลางสายไฟฟ้าเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งจะลดความสูญเสียค่าสายส่งไฟฟ้า

2. อ่างเก็บน้ำด้านบนและด้านล่างควรจะอยู่ใกล้กันและกัน และมีความแตกต่างของระดับอย่างเพียงพอ ถ้าอ่างเก็บน้ำด้านบนถูกสร้างขวางแม่น้ำไว้ พลังงานเพิ่มเติมก็อาจถูกผลิตได้ โดยมาจากการไหลเข้าของน้ำตามธรรมชาติ อีกทางหนึ่งอ่างเก็บน้ำสามารถถูกสร้างขึ้นบนยอดเขาได้โดยก่อมูลดินขึ้นมาจากวัสดุที่มาจากการขุดซึ่งได้มาโดยการปรับระดับยอดเขา อ่างเก็บน้ำด้านล่างสามารถสร้างขวางแม่น้ำได้เหมือนกัน จะได้มีน้ำอยู่เสมอแม้ในฤดูแล้ง เพื่อชดเชยกับการสูญเสียจากการไหลซึมและการระเหย

ขนาดของอ่างเก็บน้ำที่สร้างต้องเพียงพอกับความต้องการของระบบ ควรมีการเตรียมสำหรับการขยายขนาดของอ่างเก็บน้ำเมื่อเวลาที่ขนาดของระบบเพิ่มขึ้นได้ด้วย ความแตกต่างของระดับระหว่างทั้งสองอ่างเก็บน้ำยิ่งมากเท่าไร ก็จะได้พลังงานที่เก็บสะสมจากปริมาณของน้ำที่มีมากขึ้นเท่านั้น

3. ความยาวของท่อประกอบด้วย ท่อด้านบนและท่อด้านล่างน้ำ ควรจะมีค่าต่ำสุด ถึงแม้ว่าการวางแผนท่อให้ตรงตลอดจะเป็นระยะทางสั้นที่สุด แต่อาจจะไม่ใช่วิธีที่ประหยัดที่สุด จึงต้องมีการตรวจสอบรายละเอียดในจุดนี้

4. โรงไฟฟ้าใต้ดินน่าจะเหมาะสมกว่าโรงไฟฟ้าบนดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าต้องการติดตั้งปั๊มในระดับลึก ควรจะมีชั้นของหินที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างโรงไฟฟ้า และการวางท่อใต้ดิน

5. การสร้างโรงไฟฟ้าควรจะผสมผสานไปกับสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ

6. สิ่งอำนวยความสะดวกทางการท่องเที่ยวมักจะถูกสร้างใกล้กับที่ตั้งของทะเลสาบ ซึ่งในเรื่องนี้ควรพิจารณาอย่างรอบคอบ และควรมีถนนทางเข้าที่เหมาะสม

อ่างเก็บน้ำสำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับทุกแห่งต้องการอ่างเก็บน้ำ 2 แห่งสำหรับการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของน้ำ จึงต้องมีความแตกต่างของระดับสำหรับอ่างเก็บน้ำทั้งสองอย่างเพียงพอ และระยะทางระหว่างอ่างเก็บน้ำด้านบน และด้านล่างควรจะน้อยเท่าที่จะเป็นไปได้

อ่างเก็บน้ำด้านบน

สามารถจะสร้างได้ดังต่อไปนี้

1. โดยการก่อสร้างเขื่อนกันน้ำรูปวงแหวนบนยอดเขา ดังเช่นใน โรงไฟฟ้า Vianden, Waldeck – II, Cootrois – ponts และ ภูเขา Racoon
2. โดยการก่อสร้างเขื่อนบนแม่น้ำ ดังเช่น โรงไฟฟ้า Cruachan ในสหราชอาณาจักร
3. สามารถใช้ทะเลสาบในระดับสูงที่มีอยู่แล้วสำหรับจุดประสงค์นี้ ซึ่งอาจเพิ่มขนาดได้ โดยก่อสร้างเขื่อนบนเส้นรอบนอกของทะเลสาบถ้าต้องการ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าเพิ่มเติมจากพื้นที่รับน้ำฝนข้างเคียงอาจจะเปลี่ยนทางสู่ทะเลสาบ เป็นการสร้างศักยภาพการผลิตเพิ่มเติมได้ ดังเช่น ในโรงไฟฟ้า S. Fiorgno และโรงไฟฟ้า Roncoval Grande ในอิตาลี
4. เมื่อโรงไฟฟ้าพลังน้ำแสดงหน้าที่สูบกลับ อ่างเก็บน้ำด้านบนน้ำที่มีอยู่จะทำหน้าที่เป็นอ่างเก็บน้ำด้านบน ดังเช่น โรงไฟฟ้า Tumut – III ในออสเตรเลีย
5. เมื่อโรงไฟฟ้าพลังน้ำขึ้นน้ำลงแสดงหน้าที่สูบกลับ ทะเล และลุ่มน้ำจะถูกเลือกเป็นอ่างเก็บน้ำด้านบน ดังเช่น โรงไฟฟ้า Rance ในฝรั่งเศส

โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับจำนวนมากเป็นชนิดบริสุทธิ์ ที่ซึ่งไม่มีการไหลเข้าของน้ำทางธรรมชาติในอ่างเก็บน้ำด้านบน อ่างเก็บน้ำชนิดนี้ถูกสร้างบนยอดเขาโดยก่อสร้างเขื่อนกันน้ำแบบวงแหวนปิดรอบตัวเอง โดยมีทั้งแบบเขื่อนดิน หรือเขื่อนหิน ตัวเขื่อนถูกสร้างจากดินและหินที่ได้ทั้งจากกันทะเลสาบ และจากการขุดบริเวณใกล้เคียง บางส่วนของหุบเขาอาจถูกยกระดับเพื่อที่จะรับวัสดุถมจากการขุด เพื่อหลีกเลี่ยงการขนส่งและการใช้วัสดุราคาแพงอย่างเช่น ซีเมนต์

เมื่อไรก็ตามที่เขื่อนถูกสร้างบนแม่น้ำตามธรรมชาติ การผลิตพลังงานต่างๆเนื่องจากการไหลเข้าของน้ำตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นเป็นของแถมพิเศษ และช่วยปรับปรุงเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าทำเลซึ่งไม่เหมาะสำหรับการสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำ อาจจะถูกอยู่ในขอบเขตความเป็นไปได้สำหรับการสร้างโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ และสามารถได้รับน้ำเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนทางการไหลของน้ำจากบริเวณรับน้ำฝนข้างเคียง ถ้าสามารถทำได้โดยการลงทุนที่สมเหตุสมผล โรงไฟฟ้าที่ใช้อ่างเก็บน้ำแบบนี้ ถูกเรียกว่า โรงไฟฟ้าแบบผสม

ขนาดของอ่างเก็บน้ำด้านบน

ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ต้องการจะเก็บ ซึ่งเท่ากับขนาดของกำลังสูงสุดคูณกับชั่วโมงของการผลิต ซึ่งมีช่วงเวลาดังนี้

1. โรงไฟฟ้าที่ทำงาน 4 – 6 ชม. ใน 1 วัน (Cruachan , Ffestiniog) หรือ 8 – 10 ชม. ถ้าการขยายขนาดติดตั้งถูกวางแผน (โรงไฟฟ้า Waldeck – II)
2. โรงไฟฟ้าที่ทำงานรอบสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับการทำงานของแต่ละระบบ อาจพูดได้ว่าสูงถึง 30 ชม.
3. โรงไฟฟ้าที่ทำงานในรอบปี มีความจุน้ำเป็นระยะเวลา 2 – 3 เดือน (Lunersee) ปริมาตรที่จะถูกเก็บ ถูกหาโดยสมการที่ 2.1 ต่อไปนี้

$$\text{พลังงานสุทธิที่ถูกเก็บ, kWh} = \frac{\text{ปริมาตรใช้ประโยชน์ที่ถูกเก็บ, ลบ.ม.} \times \text{หัวน้ำเฉลี่ย, ม.}}{367}$$

$$\text{ซึ่งควรจะเท่ากับสมการที่ 2.2} = \frac{\text{ขนาดของกำลังสูงสุด, kW} \times \text{ช่วงเวลาของกำลังสูงสุด, ชม.}}{N_{\text{overall}}}$$

ซึ่ง N_{overall} จะรวม ประสิทธิภาพของระบบท่อ กังหันกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และสายส่งไฟฟ้า

ขนาดของอ่างเก็บน้ำด้านบนควรจะเพียงพอสำหรับปริมาณการเก็บคงที่ รวมกับปริมาณการเก็บที่ขึ้นกับการไหลเข้าของน้ำตามธรรมชาติ รวมกับปริมาณการเก็บสำหรับน้ำที่สูบน้ำ

น้ำที่เก็บในอ่างเก็บน้ำด้านบนเปรียบเหมือนสินค้าที่มีราคาแพงมาก เพราะเป็นตัวแทนของพลังงานสูงสุดที่มีค่า ดังนั้นจึงไม่ควรจะปล่อยให้เสียเปล่าจากการไหลซึมหรือการรั่ว จึงควรมีชั้นกันน้ำไว้บนผิวด้านต้นน้ำของเขื่อน และบนกันของอ่างเก็บน้ำ ถ้าชั้นดินมีน้ำซึมได้

วัสดุกันน้ำที่ถูกเลือกต้องสามารถต้านทานต่อผลกระทบจากการเติมเต็มและว่างเปล่าในแต่ละวันของอ่างเก็บน้ำได้ อีกทั้งความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่หรือการทรุดตัวของส่วนของเขื่อน และการขุดสี และผลกระทบอื่นๆขึ้นกับการเคลื่อนที่ของมวลน้ำ

คอนกรีตและแอสฟัลต์ เป็นวัสดุ 2 ชนิดที่ตรงตามความต้องการด้านบน และมีการใช้งานกันแพร่หลาย

อ่างเก็บน้ำด้านล่าง

หน้าที่ของอ่างเก็บน้ำด้านล่าง คือเก็บน้ำสำหรับการสูบน้ำในช่วงชั่วโมงที่ไม่ได้ใช้ไฟสูงสุด และรับกระแสจากกังหันในช่วงการผลิตพลังงานสูงสุด มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่คงที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการสูบและปล่อยน้ำ

ในโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ ทะเลสาบ 1 ใน 2 แห่งต้องมีแหล่งที่มาของน้ำสำหรับไหลเข้าเพื่อรับกับการสูญเสียจากการไหลซึมและการระเหย ในโรงไฟฟ้าชนิดบริสุทธิ จะไม่มีการไหลเข้าของน้ำสู่อ่างเก็บน้ำด้านบน ดังนั้นอ่างเก็บน้ำด้านล่างจึงต้องทำหน้าที่นี้ ในกรณีส่วนใหญ่ อ่างเก็บน้ำด้านล่างจะถูกสร้างโดยก่อสร้างเขื่อนบนแม่น้ำ จากข้อเท็จจริงขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำด้านล่างเป็นตัวตัดสินถึงขนาดของโครงการอยู่บ่อยๆ สิ่งที่น่าสนใจคือ ในเรื่องเกี่ยวกับชลศาสตร์และเศรษฐกิจ ต้องมีน้ำเพียงพอเพื่อแน่ใจว่าจะไม่เป็นอุปสรรคต่อการทำงานของโรงไฟฟ้า อีกทั้งราคาของอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นควรจะต่ำด้วย หมายความว่าตัวเขื่อนควรถูกก่อสร้างอย่างไม่แพง และตัวอ่างเก็บน้ำก็ไม่ควรจะมีปัญหาเกี่ยวกับราคาแพงของที่ดิน สิ่งก่อสร้าง เส้นทางของถนน และวางรถไฟ ซึ่งจะเป็นผลให้ได้ราคาแพง

บางโอกาสก็เป็นไปได้ที่จะใช้ทะเลสาบที่มีอยู่แล้วเป็นอ่างเก็บน้ำด้านล่าง เช่น Delio ใช้ในโรงไฟฟ้า Roncoval Grande ในอิตาลี ทะเลสาบ Michigan ถูกใช้ในโรงไฟฟ้า Ludington ในอเมริกา

เมื่อไรก็ตามที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำที่มีสถานที่ตั้งอยู่ลดหลั่นกันไปตามแม่น้ำ ได้แสดงหน้าที่สูบกลับ ทะเลสาบที่มีอยู่แล้วก็จะทำหน้าที่เป็นอ่างเก็บน้ำด้านล่าง

ในกรณีของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขึ้นน้ำลงได้แสดงหน้าที่การสูบกลับ ทะเลและแอ่งน้ำจะกลายเป็นตัวเลือกสำหรับทำหน้าที่เป็นอ่างเก็บน้ำด้านบนและด้านล่าง ดังกรณีของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขึ้นน้ำลง Rance ในฝรั่งเศส และโรงไฟฟ้าในญี่ปุ่น ทะเลจะทำหน้าที่เป็นอ่างเก็บน้ำด้านล่าง

โรงไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

โรงไฟฟ้าสำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับสามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ โรงไฟฟ้าบนดิน โรงไฟฟ้าแบบปล่อง และโรงไฟฟ้าใต้ดิน

โรงไฟฟ้าบนดิน

จะตั้งอยู่บนตลิ่งของอ่างเก็บน้ำด้านล่าง ถ้าเป็นแบบชนิดเพลลาอยู่ในแนวนอน ความยาวทั้งหมดก็จะมากกว่าโรงไฟฟ้าปกติ แต่ถ้าเป็นแบบชนิดเพลลาอยู่ในแนวตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ด้านบน กังหันอยู่ตรงกลาง และปั๊มอยู่ด้านล่าง

ระดับของปั๊มถูกวางให้หลีกเลี่ยงการเกิด cavitation แม้แต่ขณะที่ระดับน้ำด้านท้ายน้ำอยู่ต่ำที่สุด และปั๊มจะต้องมีการจมน้อยที่สุดในสถานการณ์ที่รุนแรงนี้ ทำให้ความลึกของฐานรากเพิ่มขึ้นในกรณีของโรงไฟฟ้าบนดิน

ถ้าเครื่องจักรแบบ 3 เครื่องยนต์ต้องทำงานภายใต้หัวน้ำที่สูงมาก โดยทั่วไปจะประกอบด้วย มอเตอร์ - เจเนอเรเตอร์ กังหันแบบ Pelton และปั๊มแบบหลายขั้นตอนชนิด single suction กังหันแบบ Pelton จะติดตั้งอยู่เหนือระดับสูงสุดของน้ำด้านท้ายน้ำ ที่ซึ่งปั๊มจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านทำนน้ำต่ำสุดอย่างเพียงพอ ถ้าระดับขึ้นลงของน้ำด้านทำนน้ำเปลี่ยนแปลงมาก ยูนิตที่มีเพลา ยาวจะเป็นที่ต้องการ และต้องการโรงไฟฟ้าที่มีลักษณะสูง ควรจะมีหลายๆชั้นเอาไว้สำหรับ บั้ม ข้อ ต่อแบบถอดได้ กังหัน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องมีพื้นที่ว่างเพียงพอระหว่างยูนิตทั้งสองเพื่อที่จะ ทำให้ระดับของบั้มและส่วนประกอบของข้อต่อต่ำลง อาจจะมีคอนสูงเพิ่มเติมไว้เหนือบั้ม

โรงไฟฟ้าใต้ดิน

เป็นชนิดที่เหมาะสมมากสำหรับโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ เพราะค่าใช้จ่ายไม่มากเกินไป ถึง แม้ตำแหน่งของมันจะจำเป็นที่จะต้องอยู่ลึกลงไป โดยความต้องการที่จะจมน้อยที่สุดของบั้ม ใน กรณีของโรงไฟฟ้าบนดิน ราคาจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากในสัดส่วนของความลึกของฐานราก ดังนั้น โรงไฟฟ้าแบบใต้ดินจะนำมาใช้ถ้าเป็นไปได้

มีที่ตั้งที่เป็นไปได้ 3 แห่งสำหรับโรงไฟฟ้าใต้ดินได้แก่ ใต้ทะเลสาบด้านบน ใต้ทะเลสาบ ด้านล่าง หรืออยู่ระหว่างทะเลสาบด้านบนและด้านล่าง

ในกรณีแรก ท่อด้านบนจะสั้นมาก และมีอุโมงค์ด้านทำนน้ำที่ยาว ซึ่งเทียบกับแบบอื่นๆ แล้วถูกกว่า เพราะไม่ต้องการการวางแนวท่อที่มีราคาแพง ถึงลดความดันสามารถตั้งอยู่ที่ช่วงต้น ของอุโมงค์ทำนน้ำ เพื่อควบคุมการผันผวนของความดัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลง load กะทันหัน ตัวอย่างที่เด่นชัดของโรงไฟฟ้าชนิดนี้ได้แก่ โรงไฟฟ้า Cruachan ในสหราชอาณาจักร

ในกรณีที่สอง โรงไฟฟ้าจะตั้งอยู่ใกล้ทะเลสาบด้านล่างมาก การจัดเรียงแบบนี้เหมาะสม สำหรับโรงไฟฟ้าที่มีหัวน้ำสูงมาก ระบบท่อประกอบด้วยอุโมงค์ความดันในแนวนอน ถึงลดความ ดัน ท่อด้านบนเอียง และท่อด้านทำนน้ำสั้นๆ ตัวอย่างได้แก่ โรงไฟฟ้า Ffestiniog ในสหราชอาณาจักร

แบบชนิดที่สามถูกใช้สำหรับโรงไฟฟ้า Waldeck – II ในเยอรมัน โรงไฟฟ้า Vianden ในลัก เซมเบอร์ก และโรงไฟฟ้า Coo – trois – ponts ในเบลเยียม เป็นการรวมกันระหว่าง 2 ชนิดแรก

โรงไฟฟ้าแบบปล่อง

โรงไฟฟ้าชนิดนี้ประกอบด้วย ปล่องคอนกรีตทรงกระบอกในแนวตั้ง ตั้งอยู่ใต้ดิน โดยด้าน บนของมันจะอยู่ใกล้ระดับพื้นดินและจะมีทางเข้าอยู่บนผิวดิน การจัดเรียงแบบนี้เหมาะสำหรับ เครื่องยนต์ชนิดหมุนกลับได้ที่มีเพลาในแนวตั้งและมีขนาดความจุสูง ถูกใช้ในเครื่องที่สิบของโรงไฟ ฟ้า Vianden ซึ่งมียูนิตเดียว สำหรับโรงไฟฟ้า Rodund – II มี 1 ยูนิต และสำหรับโรงไฟฟ้า Ronkhuassen มี 2 ยูนิต

โรงไฟฟ้าชนิดนี้จะตั้งอยู่ใกล้ทะเลสาบด้านล่าง ความลึกของมันขึ้นอยู่กับการต้องการ ความลึกของระยะจมที่น้อยที่สุดของบั้ม ในปล่องจะเป็นที่ติดตั้งของบั้ม – กังหัน มอเตอร์ – เจเนเร เตอร์ และอุปกรณ์อื่นๆ อุปกรณ์ควบคุมอาจถูกติดตั้งไว้ในชั้นด้านบนของปล่อง ถ้ามีพื้นที่ว่างเพียง

พอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อด้านบนและวาล์วถูกติดตั้งในโครงสร้างได้ดินของปล่อง และก้อนของฐานรากจะใหญ่กว่าขนาดของปล่อง

ปล่องของโรงไฟฟ้าจะถูกออกแบบให้ต้านทานต่อความดันของดินโดยรอบ และรวมถึงแรงอัดด้วย ความหนาของปล่องมีค่าประมาณ 1 – 2 ม. โรงไฟฟ้านี้เป็นตัวเลือกที่ง่ายมากสำหรับความต้องการประหยัดในราคาเริ่มต้น

โรงไฟฟ้าได้ดินของโรงไฟฟ้า S. Fiorgno ในอิตาลี เป็นแบบผสม เป็นที่ที่การผลิตพลังงานแบบบริสุทธิ์มีความสำคัญเท่าเทียมกับการผลิตแบบสูบกลับ เพราะมีปริมาณน้ำไหลเข้าตามธรรมชาติมากในทะเลสาบด้านบน ในซีกซ้ายของโรงไฟฟ้าจะมีกังหันแบบ Pelton 2 ตัว แต่ละตัวสามารถทำงานภายใต้หัวน้ำสูงสุด 1403 ม. และให้ผลผลิต 140,000 KW กังหันเหล่านั้นเป็นตัวที่มีค่าหัวน้ำและผลผลิตสูงสุดในโลกเมื่อติดตั้ง

ในซีกขวาจะมีชุด 3 เครื่องยนต์ 2 ชุด หัวน้ำและผลผลิตของกังหันจะเหมือนกับทางด้านซ้าย บั๊มเป็นชนิด single suction 6 ขั้นตอน และสามารถทำงานกับหัวน้ำสูงสุดได้ถึง 1439 ม. และเก็บพลังงานไว้สูงสุดถึง 106,000 KW เป็นบั๊มที่มีหัวน้ำสูงสุดในโลก สิ่งที่น่าสนใจคือตัวหมุนกังหันจะติดตั้งอยู่เหนือระดับที่น้ำไม่เพียงพอสุงสุด และบั๊มจะถูกตั้งไว้ลึกหรือไม่ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาเรื่อง cavitation ทำให้ความยาวของชุด 3 เครื่องยนต์นี้ใหญ่มาก และต้องการฐานรากลึกมากด้วย

บทที่ 3

ลักษณะของโครงการที่ลำตะคอง

ทั่วไป

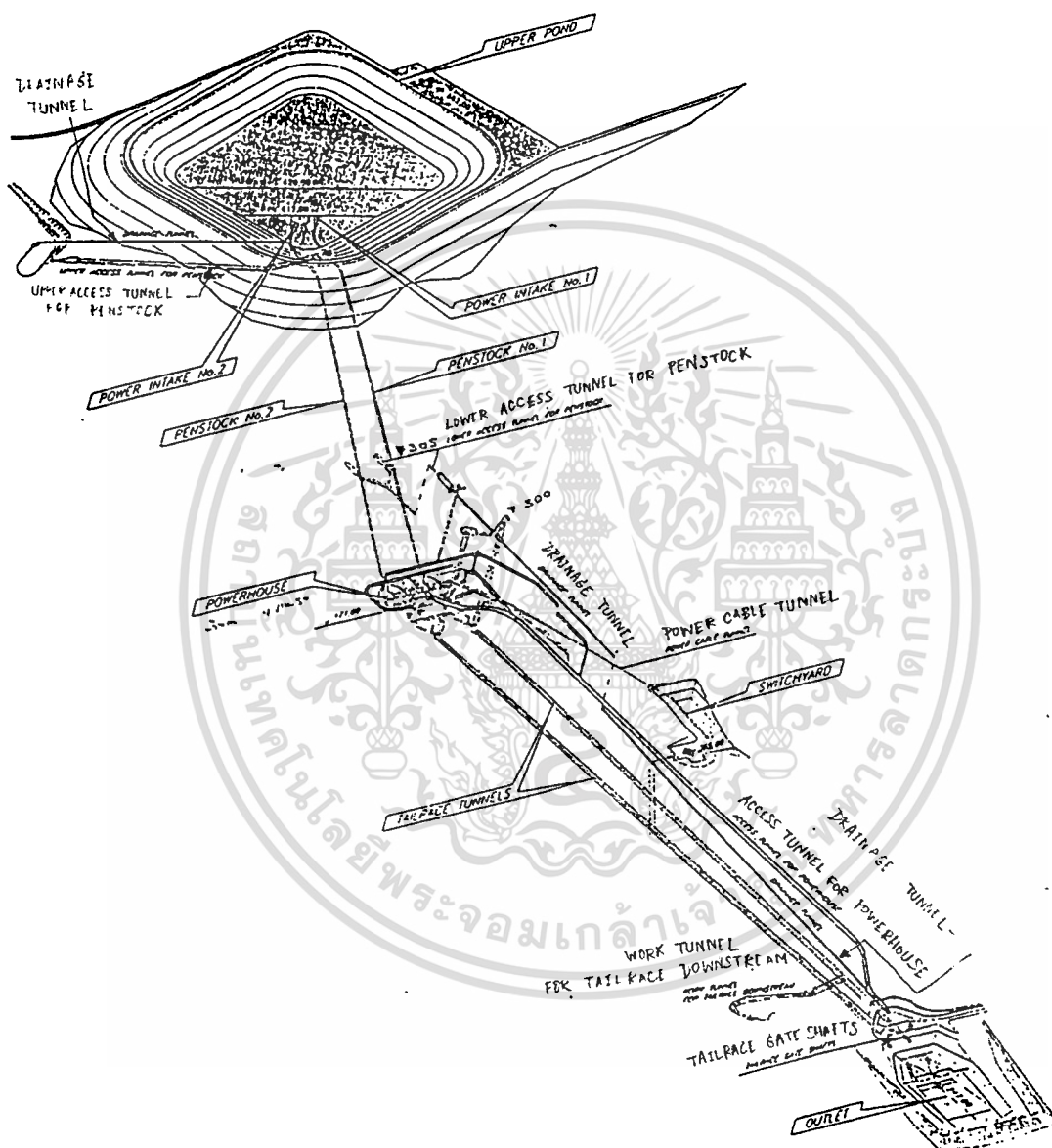
โรงไฟฟ้าพลังน้ำระบบสูบกลับเป็นโรงไฟฟ้าที่มีประโยชน์มาก ทั้งในแง่ของการใช้น้ำอย่างคุ้มค่า หรือในด้านความประหยัดเนื่องมาจากไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในส่วนของการซื้อเพลิงเหมือนกับในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนหรือแบบอื่นๆ จึงได้มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าชนิดนี้ขึ้นมากมาย ในหลายประเทศทั่วโลก เช่น สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา และอีกหลายประเทศในแถบยุโรป

สำหรับในประเทศไทย ถึงแม้ว่าจะยังมีโรงไฟฟ้าชนิดนี้เกิดขึ้นไม่มากนัก แต่ก็มีแนวโน้มว่าจะมีมากขึ้นในอนาคต และโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับเต็มรูปแบบแห่งแรกในประเทศไทยได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง ตั้งอยู่ที่เส้นแบ่งเขตระหว่างอำเภอปากช่องและอำเภอสี่คิ้ว จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งโรงไฟฟ้าแห่งนี้เป็นกรณีศึกษาของโครงการนี้

ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับ

โรงไฟฟ้าแบบสูบกลับมีส่วนประกอบต่างๆมากมาย สำหรับทำหน้าที่ตามกระบวนการของระบบสูบกลับ ในกรณีศึกษาที่โครงการลำตะคองมีส่วนประกอบสำคัญต่างๆดังนี้

- 1 อ่างเก็บน้ำด้านบน (Upper Reservoir)
- 2 ทางเข้าของน้ำ (Power Intake)
- 3 ท่อทางเดินของน้ำ (Penstock & Tailrace Tunnel)
- 4 โรงไฟฟ้า (Powerhouse)
- 5 ทางออกของน้ำ (Outlet)
- 6 อ่างเก็บน้ำด้านล่าง (Lower Reservoir)
- 7 ลานโกไฟฟ้า (Switchyard)



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบต่างๆของโครงการ

(ที่มา : EGAT, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อ่างเก็บน้ำด้านบน (Upper Reservoir)

โดยทั่วไปนั้นสามารถเป็นได้ทั้งทะเลสาบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเป็นอ่างเก็บน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นก็ได้ โดยมีเงื่อนไขคือ ขนาดของอ่างเก็บน้ำด้านบนนี้จะต้องเพียงพอต่อการกักเก็บน้ำที่จะใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งอาจจะเป็นกระบวนการผลิตประจำวัน ประจำสัปดาห์ หรือประจำปี ขึ้นกับการวางแผนในแต่ละโครงการ

แต่สำหรับอ่างเก็บน้ำด้านบนของโครงการโรงไฟฟ้าแบบสูบกลับลำตะคองนี้ ถูกสร้างขึ้นใหม่ เป็นอ่างเก็บน้ำแบบหินถม ดาดผิวด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต มีปริมาตรทั้งหมด 10.3 ลบ.ม. และดำเนินการกระบวนการผลิตเป็นแบบประจำวัน

2. ทางเข้าของน้ำ (Power Intake)

เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างอ่างเก็บน้ำด้านบนกับท่อด้านบน เป็นส่วนที่น้ำจะผ่านเข้าสู่อ่างเก็บน้ำด้านบนขณะทำการสูบ และผ่านลงไปสู่ท่อด้านบนเพื่อต่อไปยังโรงไฟฟ้าในขณะทำการผลิต

ที่ลำตะคอง ทางเข้าของน้ำเป็นแบบ morning glory มีลักษณะเป็นท่อในแนวตั้ง ยาวประมาณ 51 ม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในมีขนาดตั้งแต่ 17 ม.จนถึง 6 ม. และมี 2 ชุดด้วยกัน

3. ท่อทางเดินของน้ำ (Penstock & Tailrace Tunnel)

เป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่ง เพราะเป็นเส้นทางที่น้ำจะต้องผ่านไปมาอยู่เสมอ ในหัวข้อนี้ จะหมายความรวมถึงทั้งท่อด้านบน และท่อด้านล่างน้ำ ตามปกติแล้ว ท่อต่างๆนี้สามารถจะอยู่ได้ทั้งบนดินและใต้ดิน อาจจะถูกวางในแนวตรงหรือซิกแซกก็ได้ ขึ้นอยู่กับความประหยัด และความเหมาะสมที่สุดในแต่ละโครงการซึ่งต่างกันไป

ท่อทางเดินของน้ำในโครงการลำตะคองเป็นท่อที่ฝังอยู่ใต้ดิน เป็นท่อคูวางในแนวตรงโดยส่วนของท่อด้านบนซึ่งเชื่อมต่อระหว่างอ่างเก็บน้ำด้านบนกับโรงไฟฟ้า จะมีความลาดชันลงคือจะเอียงประมาณ 48° ยาวประมาณ 651 ม. สำหรับในส่วนของท่อด้านล่างน้ำซึ่งจะเชื่อมจากโรงไฟฟ้าไปถึงบริเวณอ่างเก็บน้ำด้านล่าง มีความยาวทั้งหมดประมาณ 1,430 ม.

4. โรงไฟฟ้า (Powerhouse)

ในโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ ชนิดของตัวโรงไฟฟ้าเป็นได้ทั้งแบบที่ตั้งอยู่บนดิน และแบบโรงไฟฟ้าใต้ดิน อาจจะถูกตั้งอยู่ใกล้อ่างเก็บน้ำด้านบน ตั้งอยู่ใกล้อ่างเก็บน้ำด้านล่าง หรือว่าตั้งอยู่ระหว่างทั้งสองอ่างเก็บน้ำดังกล่าวก็ได้ ตามแต่สถานที่และความเหมาะสมของแต่ละโครงการ ส่วนของโรงไฟฟ้านี้จะเป็นที่ตั้งของอุปกรณ์ทางไฮดรอลิค, อุปกรณ์ทางไฟฟ้า และเครื่องมือต่างๆ ที่

ใช้ในการควบคุมการทำงาน ทั้งในการสูบน้ำขึ้นไปเก็บไว้ที่อ่างเก็บน้ำด้านบน และการปล่อยน้ำลงมาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ที่โครงการลำตะคอง ตัวโรงไฟฟ้าจะเป็นแบบโรงไฟฟ้าได้ดิน ตั้งอยู่ระหว่างอ่างเก็บน้ำทั้งสองแห่ง โดยเอียงมาทางอ่างเก็บน้ำด้านบน ภายในจะติดตั้งเครื่องจักรได้แก่ motor-generator, reversible pump-turbine, transformer และอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ สำหรับการปฏิบัติงานในระบบสูบกกลับได้อย่างสมบูรณ์ จากที่ได้วางแผนไว้เมื่อเสร็จสมบูรณ์แล้ว จะมีหน่วยที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 4 หน่วย มีกำลังผลิตยูนิตละ 250 MW รวมทั้งหมดเป็น 1,000 MW แต่ในการก่อสร้างขั้นตอนแรกจะติดตั้งเพียง 2 ยูนิตก่อน แล้วภายหลังจึงทำการติดตั้งเพิ่มอีก 2 ยูนิต

5. ทางออกของน้ำ (Outlet)

อยู่บริเวณปลายสุดของท่อด้านท้ายน้ำ และอยู่ในบริเวณของอ่างเก็บน้ำด้านล่าง โดยจมอยู่ในน้ำเพื่อความสะดวกในการสูบน้ำเข้า และปล่อยน้ำออกสู่อ่างเก็บน้ำด้านล่าง จะทำให้ไม่เกิดคลื่นรบกวนผิวน้ำด้านบน ทำให้สูบน้ำได้จากกระดืบต่ำ และยังช่วยลดความดันของน้ำที่ถูกปล่อยลงมาจากอ่างเก็บน้ำด้านบนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีค่าน้อยลงจนไม่ทำลายผิวดินได้น้ำ

6. อ่างเก็บน้ำด้านล่าง (Lower Reservoir)

ไม่ว่าจะเป็นทะเลสาบขนาดใหญ่ตามธรรมชาติ การสร้างเขื่อนหรือทำนบขวางแม่น้ำเพื่อกักให้เป็นอ่างสำหรับเก็บน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ที่มนุษย์สร้างขึ้น ทั้งหมดสามารถจะทำหน้าที่เป็นอ่างเก็บน้ำด้านล่างได้ โดยมีเงื่อนไขเพียงว่าต้องมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อการสูบขึ้นไปยังอ่างเก็บน้ำด้านบน เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นอ่างเก็บน้ำด้านล่างอาจจะมีความที่ไม่ใหญ่โตมากมาย แต่มีน้ำไหลเข้าอยู่ตลอดเวลาก็เป็นได้

อ่างเก็บน้ำลำตะคองซึ่งถูกเก็บกักโดยเขื่อนลำตะคองของกรมชลประทานที่มีอยู่เดิมแล้ว ถูกใช้เป็นอ่างเก็บน้ำด้านล่างสำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกกลับลำตะคองนี้ เนื่องจากมีพื้นที่กว้างขวางมีปริมาณน้ำมากมาย หากน้ำเต็มอ่างจะมีปริมาตรถึง 310 ล้านลบ.ม. แต่ถึงอย่างไรก็ตาม สำหรับฤดูแล้ง ถ้าน้ำในอ่างเริ่มมีปริมาณน้อยก็จะมีข้อบังคับสำหรับการใช้น้ำดังนี้

ถ้าอ่างเก็บน้ำด้านล่างมีปริมาณน้ำ สูงกว่า 100 ล้านลบ.ม. ให้สูบน้ำได้เต็มที่

ถ้าอ่างเก็บน้ำด้านล่างมีปริมาณน้ำ อยู่ระหว่าง 100 – 30 ล้านลบ.ม. จะอนุญาตให้สูบน้ำได้ 10% ของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำด้านล่าง เช่น ถ้าน้ำ 70 ล้านลบ.ม. ให้สูบได้ 7 ล้านลบ.ม.

ถ้าอ่างเก็บน้ำด้านล่างมีปริมาณน้ำ ต่ำกว่า 30 ล้านลบ.ม. จะไม่อนุญาตให้สูบน้ำ ก็คือต้องงดการผลิตกระแสไฟฟ้าลงชั่วคราวจนกว่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำด้านล่างจะเพิ่มขึ้น

เหตุผลที่ต้องมีข้อบังคับในการใช้น้ำดังกล่าวเนื่องจาก น้ำในอ่างเก็บน้ำลำตะคองนั้นต้องใช้ในการอุปโภคบริโภค การชลประทาน และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆด้วย จึงต้องมีการรักษาปริมาณน้ำไว้ส่วนหนึ่งสำหรับการนี้

7. ลานไกวไฟฟ้า (Switchyard)

ทำหน้าที่ในการรับพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตอื่นๆในประเทศที่มีพลังงานไฟฟ้าเหลือใช้จากในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อย นำมาทำการเดินเครื่องปั๊มเพื่อสูบน้ำไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำด้านบน และเมื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ พลังงานไฟฟ้าก็จะถูกส่งเข้าสู่ระบบของประเทศโดยผ่านทางลานไกวไฟฟ้านี้

ลานไกวไฟฟ้าที่โครงการลำตะคองเป็นแบบ GIS (Gas Insulated Switchyard) โดยมีขนาดกว้าง 40 ม. และยาว 110 ม.

ราคาของโครงการ

มูลค่าทั้งหมดของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง เมื่อโครงการทั้งหมดเสร็จสมบูรณ์กล่าวคือ ได้ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 250 MW ครบทั้ง 4 ยูนิต มีกำลังผลิตรวมทั้งหมด 1,000 MW จะมีค่าประมาณ 21,700 ล้านบาท โดยแบ่งเป็นราคาของโครงการในระยะแรก 15,340 ล้านบาท และส่วนที่เหลือเป็นราคาในระยะที่สอง แต่จากสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันทำให้แผนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 และ 4 ถูกเลื่อนออกไปอย่างไม่มีกำหนด ส่วนในการก่อสร้างโครงการระยะแรกจะดำเนินต่อไปจนเสร็จ

สำหรับเงินลงทุนในระยะแรกมูลค่า 15,340 ล้านบาทนั้นแบ่งได้เป็น เงินกู้จากต่างประเทศ 7,030 ล้านบาท ซึ่งกู้มาจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

- IBRD	2,395.70	ล้านบาท
- OECF	2,801.71	ล้านบาท
- แหล่งอื่นๆ	1,832.59	ล้านบาท
รวม	7,030.00	ล้านบาท

และแหล่งเงินทุนในประเทศ 8,310 ล้านบาท ซึ่งมาจากเงินรายได้ของ กฟผ. และเงินกู้ภายในประเทศรวมกัน ค่าใช้จ่ายต่างๆ ของโครงการในระยะแรกดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ราคาของโครงการในระยะแรก

ลำดับที่	รายการ	ราคาโครงการ			
		FC	LC	รวม	%
1.	งานเตรียมการก่อสร้าง		216.40	216.40	1.41
2.	งานแก้ไขและพัฒนาสิ่งแวดล้อม		225.95	225.95	1.47
3.	งานก่อสร้างโยธา	2,306.37	2,606.07	4,932.44	32.15
4.	งานจัดซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ไฮดรอลิค	1,200.23	860.85	2,061.08	13.44
5.	งานจัดซื้อและติดตั้งอุปกรณ์ในการผลิตไฟฟ้า	2,685.93	481.04	3,166.97	20.65
6.	งานจัดซื้อและติดตั้งระบบส่งไฟฟ้า	598.74	142.51	741.25	4.83
7.	ค่าควบคุมดำเนินงานของ กฟผ.		344.86	344.86	2.25
8.	ค่าออกแบบ วางแผน และวิศวกรรม	238.73	100.33	339.06	2.21
9.	ภาษีขาเข้า – ภาษีมูลค่าเพิ่ม		881.99	881.99	5.75
10.	ค่าดอกเบี้ยเงินกู้ระหว่างก่อสร้าง		2,430.00	2,430.00	15.84
	รวมทั้งสิ้น	7,030.00	8,310.00	15,340.00	100.00

(ที่มา : EGAT, 1998)



ระบบระบายอากาศ

โดยปกติหรืออย่างน้อยบริเวณหน้างาน จะมีการใช้ลมเป่าระบายอากาศ ตัวพัดลมจะถูกติดตั้งด้านนอก โดยมีท่อพลาสติคนำอากาศเข้าไปยังจุดที่ต้องการการระบายอากาศ ระบบระบายอากาศจะใช้หลักการดังนี้

- แนวโน้มทางธรรมชาติของก๊าซที่มีความร้อนจะลอยตัวขึ้นสูง ดังนั้นหน้างานส่วนใหญ่ที่อยู่ต่ำกว่าทางเข้าของอุโมงค์ ทำให้สะดวกในการระบายอากาศ
- ความเป็นไปได้ที่จะนำอากาศบริสุทธิ์ตรงเข้าไปสู่จุดที่ต้องการอย่างแม่นยำ
- การระบายอากาศบริเวณหน้างานอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ
- พื้นฐานสำหรับกำหนดขนาดของอัตราการระบายอากาศเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

Air flow module สำหรับเครื่องจักรดีเซล (สมการที่ 3.1)

$$Q = 3.0 \text{ ลบ.ม. / นาที และแรงม้า ขณะปฏิบัติงาน}$$

Air flow module สำหรับจำนวนของคนงาน (สมการที่ 3.2)

$$Q = 2.4 \text{ ลบ.ม. / นาที และบุคคล}$$

Air flow module สำหรับการใช้ระเบิด (สมการที่ 3.3)

$$Q = 100 aA / 0.01t \text{ ลบ.ม. / นาที}$$

โดย A = ปริมาณของระเบิดต่อการจุดระเบิด ในหน่วย กก.

a = 0.040 ของปริมาณก๊าซพิษที่ปล่อยออกมา ต่อ กก. ของระเบิด

t = เวลาในการระบายอากาศ ในหน่วยนาที

การระบายอากาศจะต้องมีปริมาณอากาศบริสุทธิ์ต่ำสุด ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆดังนี้

Oxygen	>	17%
Carbon dioxide	<	5000 ppm
Carbon monoxide	<	50 ppm
Hydrogen sulfide	<	10 ppm
Nitrogen dioxide	<	5 ppm

ในส่วนเพิ่มเติม ปริมาณของระบบระบายอากาศจะต้องระบายก๊าซและฝุ่นทั้งหมดจากการระเบิดออกไปภายในเวลาไม่เกิน 15 นาที หลังจากนั้น การปฏิบัติงานจะดำเนินต่อไปได้

ระบบแสงสว่าง

ผู้รับเหมาจะต้องจัดเตรียมระบบแสงสว่าง สำหรับการปฏิบัติงานไว้ให้พร้อม ตามลำดับของงานในแต่ละส่วน

สายไฟฟ้าและฉนวนของมัน จะต้องถูกติดตั้งในสภาพที่เหมาะสมและปลอดภัย สายไฟฟ้าควรจะถูกติดตั้งอยู่ด้านหนึ่งของอุโมงค์ และสายขนวนระเบิดควรอยู่บนด้านตรงข้าม สำหรับสายขนวนระเบิดควรมีระยะห่างเพียงพอจากสายโทรศัพท์ หรือสายระบบสื่อสารด้วย

สายไฟฟ้าต่างๆจะต้องถูกติดตั้งอย่างแน่นหนาบนผนังอุโมงค์ และมีฉนวนที่เพียงพอทั้งด้านปริมาณ และการออกแบบ และการติดตั้งควรจะทำให้สายต่างๆไม่เกิดความเสียหายขณะทำการขุดอุโมงค์

ระบบแสงสว่างทั่วไป ควรจะมีความเข้มไม่น้อยกว่า

30 lux ในพื้นที่ขนส่ง

100 lux ในพื้นที่ทำงาน

แรงดันไฟฟ้าของระบบแสงสว่างไม่ควรจะสูงกว่า 220 V และถ้าเป็นไปได้ควรจะต่ำกว่าด้วย

ระบบระบายน้ำ

มีข้อกำหนดต่างๆดังนี้

1. ผู้รับเหมาควรจะมีการป้องกันการรั่วซึมของน้ำใต้ดิน หรือน้ำที่ซึบจากบริเวณรอบๆ ที่จะเข้ามาสู่บริเวณทำงาน
2. ผู้รับเหมาควรจัดเตรียม บ่อสูบลบ ปั๊ม ท่อน้ำ และอื่นๆ ไว้ในจำนวนและปริมาณที่เพียงพอ สำหรับการระบายน้ำระหว่างการก่อสร้าง เพื่อจะได้มีค่าเผื่อที่ปลอดภัยสำหรับสภาวะฉุกเฉิน
3. วิศวกรอาจสั่งให้ผู้รับเหมาจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆเพิ่มได้ ในกรณีที่มีปริมาณขาดแคลน โดยเป็นค่าใช้จ่ายของผู้รับเหมา
4. น้ำในอุโมงค์จะถูกเก็บรวบรวม สูบ และปล่อยออกจากอุโมงค์ ที่ใกล้ๆทางเข้าอุโมงค์ น้ำจะถูกส่งไปยังที่เก็บรวบรวม ซึ่งมีปริมาณเพียงพอ และถูกแยกสิ่งสกปรกออก
5. หลังทำการค้ำยันชั้นหิน จะต้องทำการระบายน้ำอย่างเป็นระบบ เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไม่คาดคิดอาจจะออกมาจาก faults หรือรอยแตกของหิน อาจจำเป็นที่จะต้องติดตั้งปั๊มระบายน้ำให้เพียงพอ หรือใช้วิธีระบายน้ำอื่นๆ โดยเป็นค่าใช้จ่ายของผู้รับเหมา
6. วิธีสำหรับควบคุมน้ำใต้ดินในทุกๆส่วน และในขณะขั้นตอนของการขุดอุโมงค์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่วมถึง การลดระดับน้ำใต้ดิน การรักษาพื้นดิน หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน ระเบียบด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. หลุมระบายน้ำอาจถูกเจาะบนผิวของการขุด โดยค่าใช้จ่ายของผู้รับเหมา เพื่อจะอำนวยความสะดวกในการทำให้การขุดก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว
8. เทคนิคที่นำมาใช้ควรจะทำให้แน่ใจในเรื่องความมั่นคงของอุโมงค์ และผิวที่ขุด ในระหว่าง และภายหลังการก่อสร้าง และควรจะทำให้แน่ใจว่าจะไม่มีการชะล้างวัสดุที่ดีเกิดขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การทรุดตัวที่เพิ่มขึ้น หรือการสูญเสียความมั่นคง
9. การระบายน้ำควรจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จนกว่างานจะเสร็จ ซึ่งผ่านการยอมรับโดยวิศวกร

ขนาดของระบบระบายน้ำต่อไปนี้จะถูกกำหนดสำหรับปริมาณการไหลสูงสุด

- | | |
|--|----------|
| - จาก ทางเข้า ไปถึง ส่วนด้านบนของ Penstock | 12 l/sec |
| - จาก ทางเข้า ไปถึง ส่วนด้านล่างของ Drainage Tunnels | 16 l/sec |
| - จาก ทางเข้า ไปถึง อุโมงค์โรงไฟฟ้า | 32 l/sec |

ระบบความปลอดภัย

การจัดเตรียมสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัยสำหรับการทำงาน และสุขภาพอนามัยที่ดีสำหรับคนงาน กระทำได้ดังนี้

1. อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัย ต้องมีพร้อมตลอดเวลา เช่น หมวกนิรภัย ถุงมือ รองเท้า อุปกรณ์ป้องกันเสียงและฝุ่น ขณะทำการขุดได้ดิน ระบบระบายอากาศจะต้องมีเพียงพอ คนงานต้องมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัย และการใช้เครื่องมือต่างๆ

2. ก่อนจะเข้าร่วมทำงานก่อสร้าง คนงานใหม่ควรถูกตรวจสอบสุขภาพก่อน และคนงานที่มีสุขภาพดีเท่านั้นจึงสามารถทำงานได้

3. ขณะทำการก่อสร้าง คนงานที่มีปัญหาสุขภาพ หรือได้รับเชื้อโรคติดต่อ จะถูกพักงานจนกว่าจะทำการรักษาหาย

4. บริเวณที่พักของการก่อสร้าง จะต้องมียาพยาบาลเบื้องต้น (First aid services) และรถพยาบาลควรมีพร้อมไว้สำหรับเหตุฉุกเฉิน หรืออุบัติเหตุ ซึ่งต้องการการรักษาจากโรงพยาบาล

5. ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์การสื่อสารอย่างเพียงพอ เพื่ออำนวยความสะดวกในการติดต่อไปยังทุกๆ ที่ในบริเวณก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการติดต่อระหว่างอุโมงค์ และภายนอก

6. บริเวณงานก่อสร้าง และที่พักคนงาน ควรจะรักษาให้อยู่ในสภาพการสุขาภิบาลและสิ่งแวดล้อมที่ดีตลอดเวลา ระบบขยะของเสียควรถูกจัดการอย่างดี ในเรื่องการเก็บขยะ และที่ทิ้งขยะ ห้องสุขาควรถูกจัดเตรียมไว้ตามกฎหมายผู้ใช้งาน และสุขาเคลื่อนที่สำหรับการก่อสร้างบริเวณ

โรงไฟฟ้าได้ดิน ต้องมีอย่างเพียงพอ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มีแหล่งน้ำดื่มสะอาดอย่างเพียงพอ ควรมีการตรวจสอบคุณภาพตัวอย่างน้ำดื่มเป็นระยะ ตามมาตรฐานน้ำดื่ม

ระบบการตรวจวัด

หมายถึง การติดตามตรวจสอบสภาพการเปลี่ยนแปลงของชั้นหินภายในอุโมงค์ โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในการตรวจสอบ จุดประสงค์ของการใช้เครื่องมือตรวจสอบมีดังนี้

- เพื่อสังเกตพฤติกรรมของพื้นดินและน้ำใต้ดิน เพื่อยืนยันสมมติฐานของการออกแบบ
- เพื่อจัดเตรียมเอกสารเกี่ยวกับความปลอดภัยของวิธีที่ใช้ในการก่อสร้าง และสามารถจะเตือนถึงพฤติกรรมที่ผิดปกติได้แต่เนิ่นๆ .
- เพื่อจัดเตรียมข้อมูลที่ชี้สาเหตุของพฤติกรรมที่ผิดปกติ ดังนั้นอาจต้องมีการวัดแก้ไขเพิ่มขึ้น
- เพื่อจัดเตรียมข้อมูล ที่จะให้กับเจ้าของโครงการ และประชาชนทั่วไป ในเรื่องพฤติกรรมการก่อสร้างที่น่าพอใจ
- เพื่อยืนยันถึงความปลอดภัยของการเปลี่ยนแปลงวิธีการก่อสร้าง
- เพื่อหาข้อเท็จจริง ที่ใช้ในการออกแบบในอนาคต ให้มีพื้นฐานในด้านความปลอดภัยและราคาที่เหมาะสม
- เพื่อจัดเตรียมข้อมูลจริง สำหรับการวางแผนช่วงเวลาในอนาคต การเพิ่มผลผลิต หรือการเตรียมทิศทางสำหรับการวิจัย
- เพื่อจัดเตรียมข้อมูลจริง สำหรับการจัดการ Claim ตามกฎหมาย
- เพื่อควบคุมงานก่อสร้าง เช่น สำหรับ NATM

(ที่มา : Bickel, Kuesel, King, 1996)

สำหรับที่โรงไฟฟ้าของโครงการลำตะคองนั้นก็มี การตรวจวัดอยู่หลายชนิดได้แก่ การวัด Convergence ซึ่งเป็นการวัดการเคลื่อนที่เข้าหากันของผนังอุโมงค์ที่เป็นหิน โดยนำตัววัดไปติดกับทั้ง 2 จุดที่จะวัดแบบ fixed และการใช้ Extensometer วัดการเคลื่อนตัวของชั้นหิน โดยต้องนำไปไว้ในหลุมเจาะ ที่บริเวณโรงไฟฟ้าได้มีการติดตั้ง Multiple – Point Borehole Extensometers (MPBX) ก็คือ Extensometer ที่ใน 1 หลุมมีหัววัดหลายหัว สามารถอ่านค่าได้ในหลายจุดพร้อมๆ กัน มีการติดรอบโรงไฟฟ้าถึง 9 จุด โดยเจาะหลุมวัดลงมาจาก Top Gallery 3 จุด และด้านข้างของโรงไฟฟ้าอีกฝั่งละ 3 จุด ทั้งฝั่งต้นน้ำและท้ายน้ำ แต่ในปัจจุบันการเคลื่อนตัวได้หยุดนิ่งแล้ว แต่ก็ยังทั้งอุปกรณ์ไว้ตรวจสอบต่ออีกสักระยะเพื่อความแน่ใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

อ่างเก็บน้ำด้านบน

ทั่วไป

อ่างเก็บน้ำด้านบนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง ตั้งอยู่บนยอดเขา ยายเที่ยง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา ซึ่งมีลักษณะทางธรณีสัณฐานเป็นภูเขาหินทรายยอดตัดแบน เรียบมีระดับความสูง +640 ม.รทก. ซึ่งอยู่เหนือระดับของ Lower Horizontal Penstock (ท่อแนวนอนช่วงล่างของ Penstock ที่จะส่งน้ำเข้าสู่โรงไฟฟ้า) ประมาณ 443 ม. ในการออกแบบอ่างเก็บน้ำจะใช้หลักการของการใช้วัสดุให้สมดุลย์ (Balanced Materials) กล่าวคือ นำวัสดุจากการขุดมาใช้ในการถมตัวเขื่อน โดยวัสดุเป็นหินถม ตัวเขื่อนหรือคันดินมีความลาดของ slope ด้านใน 1:2 และความลาดของ slope ด้านนอก 1: 2.5 และมีการตัดผิวด้วยยางมะตอย (แอสฟัลต์คอนกรีต) เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมออกจากอ่าง ตัวอ่างเก็บน้ำมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส และโค้งตรงมุม อ่างแต่ละมุม มีความลึกประมาณ 50 ม. ความยาวของสันอ่าง 2,170 ม. มีปริมาตรกักเก็บน้ำทั้งหมด 10.3 ล้านลบ.ม. แต่จะใช้ในการเก็บจริง 9.9 ล้านลบ.ม.เท่านั้น และพื้นที่ของผิวน้ำเมื่อน้ำถูกกักเก็บตามปกติจะมีค่า 0.34 ตร.กม. (85 เอเคอร์)

ขั้นตอนการก่อสร้าง

สามารถจะแบ่งขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำด้านบนได้ดังนี้

1. การขุด
2. การถม
3. การตัดผิวด้วยแอสฟัลต์
4. อุโมงค์ระบายน้ำของอ่างบน

1. การขุด

แบ่งย่อยได้เป็น 2 ประเภทคือ

- การขุดทั่วไป หมายถึง การขุดที่กระทำในบริเวณที่เป็นดิน หรือหินที่ไม่แข็งมากนัก ตามปกติการขุดในลักษณะนี้เริ่มจากการ Clear พื้นที่ก่อน แล้วจึงเริ่มต้นขุดโดยใช้รถขุดจำพวก Dozer แล้วจึงทำการขนวัสดุที่ได้จากการขุดออกไปยังบริเวณที่ได้จัดเตรียมไว้โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ วัสดุที่ได้จากการขุดนี้จะไม่นำไปทิ้ง เพราะว่าจะอาจต้องนำกลับมาใช้อีกในขั้นตอนการถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การระเบิดหินและขุดขนย้าย หมายถึง การเจาะหินเพื่อบรรจุวัตถุระเบิด ให้แรงระเบิดสามารถย่อยขนาดของมวลหินให้แยกจากกัน และสามารถขนย้ายได้โดยง่าย สำหรับหินที่ได้จากการระเบิด ก็จะนำไปถูกคัดแยกชนิดเพื่อใช้เป็นวัสดุในการถมต่อไป เรียกกระบวนการนี้ว่า เทคนิค Drilling and Blasting ซึ่งสรุปได้ดังนี้

Drilling and Blasting หมายถึง การเจาะ และการระเบิด เป็นชื่อที่ได้มาจากหลักการทำงานของวิธีนี้ กล่าวคือ ใช้วิธีการเจาะเข้าไปในชั้นหินเป็นช่องสำหรับติดตั้งระเบิด กระทำการติดตั้งระเบิด ซึ่งจำนวนของช่องที่เจาะและปริมาณของระเบิดที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณในแต่ละส่วนของแต่ละโครงการ รูปแบบของการเจาะจะขึ้นอยู่กับลักษณะหน้าตัดที่จะระเบิด

สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับที่ลำนาคองนี้ ชนิดของระเบิดที่ใช้เป็นตัวหลักคือ A.N.F.O. (Ammonium Nitrate Fuel Oil) และ Emulite ซึ่งเป็น Gel Explosive ทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มปฏิบัติงาน ปริมาณระเบิดที่ใช้ประมาณ 0.30 – 0.40 กก./ลบ.ม. โดยแบ่งเป็น Gel Explosive 10% และ ANFO 90% และหลุมที่เจาะสำหรับติดตั้งระเบิดลึกประมาณ 3.0 – 3.5 ม. (สำหรับอ่างเก็บน้ำด้านบน) ชนิดของการระเบิดมีทั้งแบบใช้ชนวนไฟฟ้า หรือแบบใช้จุดไฟบนเชือกที่เป็นชนวน การหน่วงของระยะเวลาการระเบิดจะอยู่ที่ 25 หรือ 50 msec

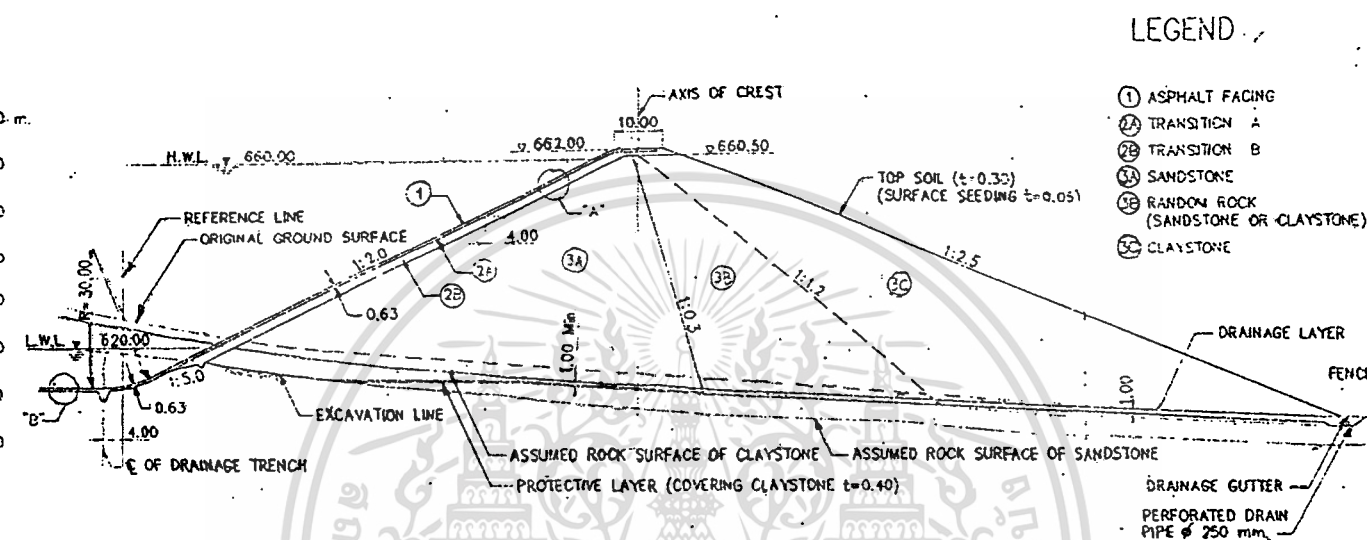
ในขั้นตอนของการระเบิด (Blasting) ยังมีรายละเอียดในเรื่องของการระเบิดแบบควบคุม ซึ่งหมายถึง การระเบิดที่ต้องการวิธีในการเจาะและการระเบิดแบบพิเศษ เพื่อให้ได้ผิวที่ราบเรียบของหินที่ระเบิดตามเส้นขอบของหน้าตัดที่ต้องการ และช่วยลดรอยแตกที่เกิดจากการระเบิดของหินที่อยู่ภายนอกเส้นขอบของหน้าตัด วิธีที่นิยมได้แก่ Pre-splitting และ Smooth Blasting วิธีที่มีการใช้ในการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำด้านบน เป็นแบบ Pre-splitting ซึ่งกระทำโดย เจาะช่องสำหรับฝังระเบิดใกล้ๆกับช่องฝังระเบิดตรงบริเวณขอบของหน้าตัดขึ้นมา 1 แถว ติดตั้งระเบิดในทุกช่องของแถวด้วยปริมาณน้อยและต่อเนื่อง แล้วทำการขุดตลอดความยาวของแต่ละหลุม และทำการระเบิดก่อนที่บริเวณหลักใกล้ๆกันจะถูกระเบิด เพื่อสร้างรอยแตกตามแนวของหลุมที่เจาะขึ้นมาเพิ่ม ซึ่งการระเบิดที่ตามมาจะสามารถทำลายได้อย่างดี การระเบิดเพื่อย้ายหินในตำแหน่งติดๆกันนี้จะสมบูรณ์ได้โดยขึ้นอยู่กับ อัตราของปริมาณระเบิด ต่อระยะห่างที่ยอมรับได้ ปริมาณที่ลดลงของระเบิดในแถวที่อยู่ใกล้กับแถวหลักที่จะทำการระเบิด และขอบเขตของระยะห่างระหว่างแถวเหล่านี้

2. การถม

วัสดุที่ใช้ในการถมส่วนใหญ่มาจากวัสดุที่ได้จากการขุด และการระเบิด เนื่องจากใช้หลักการ Balanced Materials กล่าวคือ เป็นการพยายามใช้วัสดุที่มีอยู่ในพื้นที่ (ได้มาจากการขุด) ให้เป็นประโยชน์มากที่สุด ไม่จำเป็นต้องหาซื้อวัสดุเพิ่มเติมจากภายนอก โดยนำวัสดุจากการขุดไป

ถม และทำให้อัตราส่วนของวัสดุจากการขุดกับวัสดุที่นำไปถมมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

ในขั้นตอนการถมมีการแบ่งพื้นที่ของสันอ่างเก็บน้ำออกเป็นส่วนๆ ตามชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ถมในส่วนนั้นๆ มีลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูป 4.1 รูปตัดของตัวเขื่อน
(ที่มา : EGAT, 1996)

พื้นที่ในส่วนต่างๆ ที่ถูกกำหนดโดยหมายเลข เป็นวัสดุที่นำมาถมและบดอัด ดังนี้

หมายเลข 1 (Asphalt Facing); หมายถึง ชั้นผิวหน้าของสันอ่างเก็บน้ำที่ลาดด้วยยางมะตอย ซึ่งสำหรับในชั้นนี้จะได้ถูกกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

หมายเลข 2A (Transition A); เป็นชั้นที่ถูกถมด้วยวัสดุจำพวก Sandstone ที่ถูกคัดเลือกจากการขุด หรือ Limestone ที่ถูกคัดเลือกแล้ว

ความหนาของชั้น 2A นี้ที่ด้านเอียงมีค่า 38 ซม. โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นย่อย (Layer) สำหรับ 1st Layer หนา 30 ซม. จากการบดอัด 4 เทียว โดยรบบดสั่นสะเทือนขนาด 8.0 ตัน และ 2nd Layer หนา 8 ซม. จากการบดอัด 4 เทียว โดยรบบดสั่นสะเทือนขนาด 1.4 ตัน

ส่วนความหนาที่ด้านกันอ่างมีค่า 30 ซม. มี 2 Layer เช่นกัน โดย 1st Layer หนา 20 ซม. จากการบดอัด 4 เทียว และ 2nd Layer หนา 10 ซม. จากการบดอัด 4 เทียวเช่นกัน และทั้งสอง Layer ถูกบดอัดโดยรบบดสั่นสะเทือนขนาด 13.5 ตัน ด้วยความเร็วน้อยกว่า 4 กม./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 2B (Transition B); วัสดุที่นำมาถมเหมือนกับในชั้น 2A ได้แก่ Sandstone ที่ถูกคัดเลือกจากการขุด หรือ Limestone ที่ถูกคัดเลือก ในชั้นนี้มีความหนาถึง 400 ซม. (วัดความกว้าง) แต่มีความหนาลงหลังจากการบดอัดเพียง 50 ซม. โดยถูกบดอัด 4 เทียวยกรบดสั่นสะเทือน ขนาด 13.5 ตัน

หมายเลข 3A (Rockfill); วัสดุที่ใช้ในการถมคือ Sandstone ที่ได้มาจากการขุด ชั้น 3A มีความหนาส่วนที่โดนบดอัด 100 ซม. จากการบดอัด 4 เทียวยกรบดสั่นสะเทือนขนาด 13.5 ตัน

หมายเลข 3B (Random Rock); Sandstone และ Claystone ที่ได้จากการขุด ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับถมในชั้นนี้ มีความหนาในส่วนที่โดนบดอัด 120 ซม. จากการบดอัด 4 เทียวยกรบดสั่นสะเทือนขนาด 13.5 ตัน

หมายเลข 3C (Random Fill); หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าชั้น Claystone เนื่องจาก วัสดุที่นำมาถมจะเป็นพวก Claystone และดินเดิมที่ได้จากการขุด ความหนาของส่วนที่โดนบดอัดมีค่า 120 ซม. จากการบดอัด 4 เทียวยกรบดแบบ Pneumatic ขนาด 30 ตัน

Protective Layer; วัสดุที่นำมาถมได้แก่ Sandstone ที่ถูกคัดเลือกจากการขุด หรือเป็น Limestone ที่ถูกคัดเลือก ในชั้น Protective Layer นี้จะอยู่บริเวณด้านล่างของสันอ่างเก็บน้ำ และมีความหนา 40 ซม. จากการบดอัด 4 เทียวยกรบดสั่นสะเทือนขนาด 13.5 ตัน

Drainage Layer; จะอยู่บริเวณใต้สันอ่างเช่นกัน แต่อยู่เหนือชั้น Protective Layer วัสดุที่นำมาใช้ถมได้แก่ Sandstone ที่ได้จากการขุด มีความหนา 100 ซม. จากการบดอัด 4 เทียวยกรบดสั่นสะเทือนขนาด 13.5 ตัน

3. การลาดผิวด้วยแอสฟัลต์

อ่างเก็บน้ำด้านบนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง เป็นอ่างหินถมลาดหน้าด้วยยางมะตอยผสมเสริม (Asphalt Concrete) ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำแห่งแรกในประเทศไทยที่มีการลาดหน้าผิวของอ่างเก็บน้ำด้วยแอสฟัลต์ โดยการก่อสร้างลักษณะนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นและแนวทางปฏิบัติในการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำอื่นๆในประเทศต่อไป

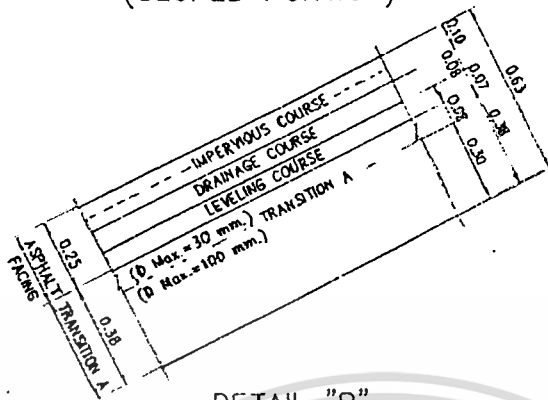
3.1 วัตถุประสงค์

การก่อสร้างอ่างพักน้ำตอนบน เป็นการก่อสร้างแบบหินถม ซึ่งมีเหตุผลมาจากความต้องการนำวัสดุจากงานขุดมาใช้ให้มากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่เป็น Sandstone และมี Claystone รวมทั้ง Residual Soil เป็นบางส่วน ดังนั้นการลาดผิวกันน้ำจึงจำเป็นสำหรับการออกแบบ การลาดผิวสามารถทำได้ทั้งการใช้ Concrete และ Asphalt Concrete หรือใช้ทั้งสองอย่างก็ได้ โดยวิศวกรผู้ออกแบบได้เลือก Asphalt Concrete ซึ่งมีการตอบสนองต่อการทรุดตัวที่ดีกว่า Concrete

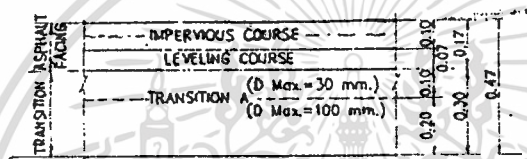
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETAIL "A"
(SLOPED PORTION)



DETAIL "B"
(BOTTOM PORTION)



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงชั้นของ Asphalt Concrete
(ที่มา : EGAT, 1996)

ในส่วนของ Slope ประกอบด้วยชั้นของ Asphalt Concrete 3 ชั้น ได้แก่ ชั้น Leveling Course หนา 7 ซม. เพื่อเป็นการปรับระดับผิวอ่างให้เรียบ ชั้น Drainage Course หนา 8 ซม. เพื่อระบายน้ำที่อาจจะเกิดจากการรั่วซึม และชั้น Impervious Course หนา 10 ซม. เพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำในอ่าง จากนั้นจะลง Protective Course บนผิว Impervious Course เป็นชั้นสุดท้าย เพื่อเป็นการ seal รอยแตกและรอยรั่วครั้งสุดท้าย โดยการใช้ Cold Mastic Asphalt Emulsion (Weather Coat Type M) พ่น Spray ในปริมาณ 2 ลิตร/ตร.ม. สำหรับ Bottom Area ไม่มีความจำเป็นในการระบายน้ำออกจากโครงสร้าง เนื่องจากอยู่ในส่วนล่างของโครงสร้างอยู่แล้ว (ได้ Asphalt Pavement มีระบบ Drain อยู่แล้ว) จึงไม่มี Drainage Course ส่วนชั้นอื่นยังคงเหมือนกับในส่วนแนวเอียงทั้งหมด

3.2 การทดลองหาสัดส่วนผสม (Trial Mixes Design)

ในช่วง Detailed Design ได้มีการทดสอบหาความเหมาะสม และความเป็นไปได้ของ Mixes ต่างๆ ที่ต้องการโดยมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ต้องการดังตารางที่ 4.1 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของชั้น Asphalt Concrete

Impervious Course	Air Void 2 – 3 %, Permeability $< 10^{-8}$ cm./sec., %AC 60/70 ~ 6.5 – 8.5 %, Flexibility, Durability, Economical and Easy to be Placed and Repaired, Good Slope Stability
Drainage Course	Air Void ~ 16 %, Permeability $10^{-2} - 10^{-1}$ cm./sec., %AC60/70 ~ 3.5 – 4.5 %, Stability > 300 kg และมีคุณสมบัติต่างๆดีเหมือน Impervious Course
Leveling Course	Air Void 6 %, Permeability $< 10^{-4}$ cm./sec., %AC 60/70 ~ 4.8 % และมีคุณสมบัติต่างๆดีเหมือน Impervious Course เช่นกัน

(ที่มา : EGAT, 1998)

จากข้อกำหนดพื้นฐาน ได้มีการทดสอบ Trial Mixes Design โดยใช้อุณหภูมิการทดสอบที่ 60° (Estimate of Internal Temperature Following AASHTO) ในห้องปฏิบัติการโดยใช้วัสดุที่สามารถ Supply ได้ในบริเวณโครงการ คือ Aggregate จากอ.ปากช่อง (บ.ศิลาสากลพัฒนา) ยาง AC 60/70 จากบ.ทูปโก้ โดยทดลองปรับสัดส่วนทั้ง Gradation และ Percent ยาง AC ตามวิธี Marshall Method (25 Blows) รวมทั้งการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยมีบางส่วนทดสอบที่สถาบัน AIT เพื่อให้ได้ค่า Parameter ต่างๆ ตามต้องการดังตารางที่ 4.2

จากผลการทดลอง ทางผู้ออกแบบ คือ วิศวกรที่ปรึกษา (EPDC) ร่วมกับทางรถไฟฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้จัดทำข้อกำหนดสำหรับการทำงาน (Specification) โดยใช้ผลที่ได้จากการทดลองในช่วง Detail Design เป็นแนวทางในการจัดทำข้อกำหนดคุณสมบัติต่างๆ

เมื่อผู้รับเหมาเริ่มทำงานจริง ได้มีการลองทำ Trial Mixes เพื่อหาสัดส่วนผสมให้ได้ค่า Parameter ต่างๆตามที่ได้กำหนดไว้ใน Specification ดังตารางที่ 4.3 ทั้งนี้วัสดุที่ใช้งานทาง วิศวกรที่ปรึกษาให้ใช้ หิน Limestone $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ " และ Limestone Dust ของแหล่งชุมชนชุมทอง อ.ปากช่อง และทรายจาก อ. สีคิ้ว ซึ่งจากการทดลอง Trial Mixes โดยวิธี Marshall Method ASTM D1559-25 Blows โดยการเปลี่ยน Percentage of Asphalt รวมทั้ง Combine Grading ต่างๆ ทำให้ได้ Hot Bin Mixes Design ซึ่งยอมรับให้ใช้งานได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดง Mixes ที่มีคุณสมบัติตามต้องการในช่วง Details Design

Property	Impervious Course		Drainage Course		Leveling Course	
	Spec.	Testing	Spec.	Testing	Spec.	Testing
%Passing Sieve of Aggregate						
3/4"	100	100	100	100	100	100
1/2"	100	100	85	85.2	80	80
3/8"	-	95.2	-	68.2	-	49.7
#4	70	71.1	55	55.1	30	26.2
#8	55	55.6	37.5	37.7	20	16.1
#30	-	39.7	-	24	-	8.2
#200	10	10	8	8.2	4	4
Asphalt Content (%)		7.5		4		4.7
Density (g./cm. ³)		2.37		2.152		2.388
Void Ratio (%)		2.4		16.2		5.9
Stability (kg.)		770		580		820
Flow Value (mm.)		5.5		3.8		3.4
Saturation (%)		87.9		34.4		65.5

(ที่มา : EGAT, 1998)

ตารางที่ 4.3 ข้อกำหนดที่ใช้ในการทำงาน Asphalt Concrete

Property	Impervious Course (10 cm)	Drainage Course (8 cm)	Leveling Course (7 cm)
Standard Bitumen Content	7.2%	4.0%	5.0%
Aggregate			
- Nominal Max. Size	1/2"	3/4"	3/4"
- Grading (Sieving Passing (%))			
#200	8 – 12	2 – 6	4 – 8
#30	25 – 40		18 – 29
#8	50 – 65	10 – 25	35 – 55
#4	65 – 80	20 – 40	50 – 70
1/2"	95 – 100	70 – 95	80 – 95
3/4"	100	95 – 100	95 – 100
1"		100	100
Placing Temperature	not less than 150°C	not less than 130°C	not less than 150°C
Compaction Temperature	not less than 130°C	not less than 100°C	not less than 130°C
Thickness	2 x 5 cm or 10 cm	8 cm	7 cm
Pass of Compaction	4 or more	4	4 or 5
Coefficient of Permeability	Not more than 1 x 10 ⁻⁸ cm/sec	1 x 10 ⁻¹ to 1 x 10 ⁻² cm/sec	not more than 1 x 10 ⁻⁴ cm/sec

(ที่มา : EGAT, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 Mixes ที่อนุมัติให้ใช้งานในการก่อสร้างจริง

Weight & Property	Leveling Course	Drainage Course	Impervious Course
Weight of Material from Hot Bin (kgs./ 1 ton Asphalt Concrete)			
Agg. 1; (3/4" – 1/2")	112	217	-
Agg. 2; (1/2" – #4)	261	427	218
Agg. 3; (#4 – #8)	155	101	194
Agg. 4; (#8 – #200)	422	215	499
Filler; (#30 – #200)	-	-	17
Bitumen; AC 60 – 70	50	10	72
Property of Mixes			
Stability (lbs.)	1728	1019	1605
Air Void (%)	5.38	16.5	2.43
Density (gm./cc.)	2.39	2.15	2.38
Marshall Flow (mm.)	3.08	3.15	5.75
Slope Flow (1/100 mm.)	-	-	22
Permeability (cm./sec.)	5.24×10^{-6}	4.8×10^{-2}	-

(ที่มา : EGAT, 1998)

3.3 การทดสอบการบดอัดในสนาม (Trial Section)

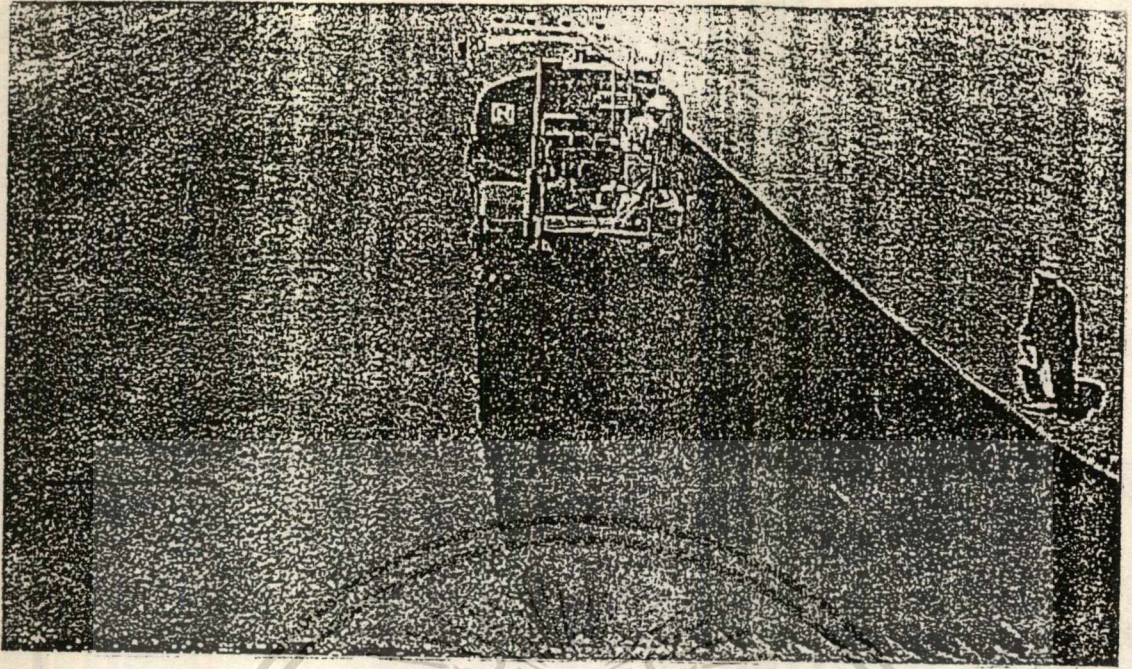
จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้มาซึ่งสัดส่วนผสมของ Asphalt Concrete Mixes ตามข้อกำหนดของ Specification ก่อนจะนำ Mixes ดังกล่าวไปใช้งานก่อสร้างจริง จะต้องมีการดำเนินการทดสอบการใช้งานในพื้นที่ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับในพื้นที่ที่ทำการก่อสร้างจริงมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อทราบถึงความสามารถในการทำงาน (Practical) วิธีการทำงานที่เหมาะสม เครื่องมือที่เหมาะสม และข้อจำกัดต่างๆที่ยอมรับได้และยอมรับไม่ได้ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในงานก่อสร้างจริง โดยการทดสอบดังกล่าวจะกระทำแยกส่วนระหว่าง Slope Area และ Bottom Area โดยจะนำสัดส่วนผสมที่ดีที่สุดทั้งของ Impervious Course, Drainage Course และ Leveling Course มาทดสอบการทำงาน หลังจากการทดสอบแล้วเสร็จจะมีการ Coring เพื่อนำไปทดสอบค่า Density, Gradation, Bitumen Content, Air Void, Permeability และอื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการจริงในสนามตามข้อกำหนด Specification และตาม Mixes Design

3.4 วิธีการทำงานโดยสังเขป

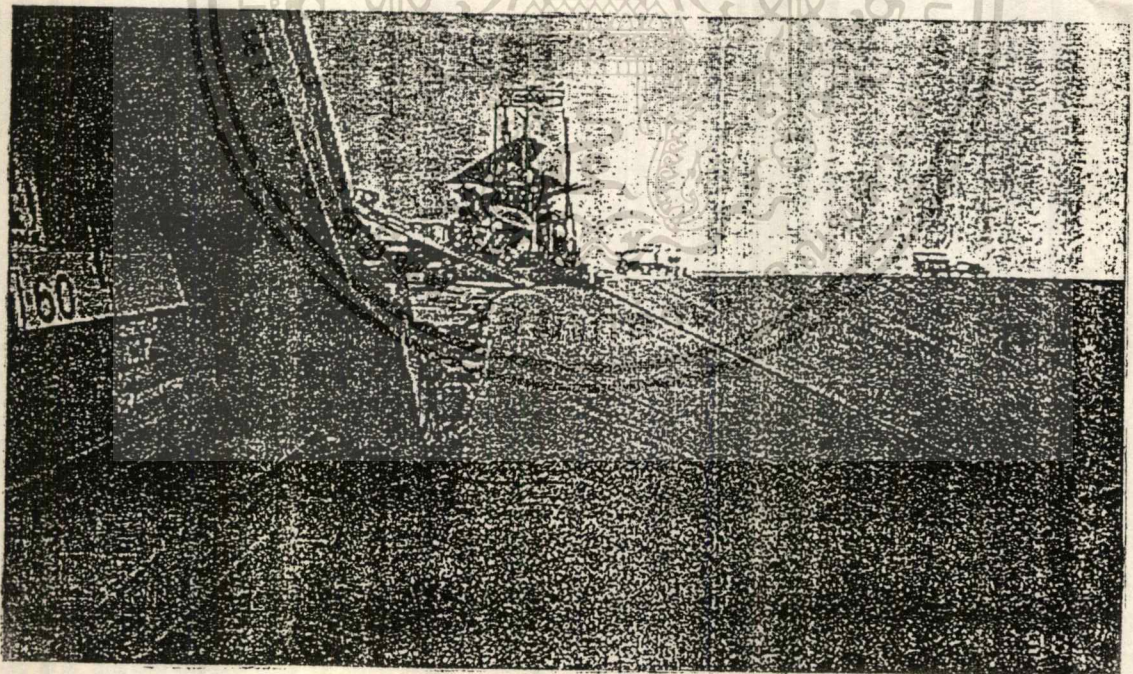
3.4.1 วิธีลาดหน้ายางมะตอย (Asphalt Concrete) บนผิวลาดเอียง (Slope)

1. หลังจากปรับแต่งผิว Transition 2A 2nd (ขนาด Max Size 3 cm.) เรียบร้อยแล้ว จะทำการพ่นยาฆ่าหญ้า (Sodium Chlorate 5% Solution) โดยรถพ่นยาฆ่าหญ้าโดยใช้ความเร็วเท่ากับ 19.26 m./min. ในปริมาณ 2 ลิตร/ตารางเมตร ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง
2. พ่น (Spray) Prime Coat ซึ่งใช้อย่างชนิด CSS – 1 ด้วยรถพ่นยาง (Sprayer ซึ่งผลิตโดย MASSENZA) ในปริมาณ 1.4 lit/m². ความดัน 1.5 Bar ด้วยความเร็ว 38 m./sec. ดังรูปที่ 4.3 ทั้งไว้ประมาณ 4 – 5 วัน
3. หลังจากเตรียมพื้นที่เรียบร้อยแล้ว บรรทุก Asphalt Concrete Mixes ออกจาก Asphalt Plant ด้วยอุณหภูมิตั้งอยู่ในช่วง Plant Discharge Temperature ของ Specification ดังตารางที่ 4.3 มาใส่ Bucket (ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของ Main Winch ดังรูปที่ 4.4) จากนั้น Bucket จะเคลื่อนตัวสูงขึ้นนำวัสดุดังกล่าวมาเทใส่ Re-Loader (Feed Car) ต่อไป
4. Re-Loader (Feed Car) เคลื่อนตัวนำวัสดุนั้นๆมาใส่เครื่องปูยาง (Asphalt Paver) โดยใช้เครื่องปูรุ่น ABG – Titan 325 (ผลิตโดย Ingersoll rand)
5. ทำการปู Asphalt Concrete Mixes ชั้นแรก ซึ่งจะเป็น Leveling Course หนา 7 cm. ด้วยเครื่องปู ABG – Titan 325 จากด้านล่างของ Slope ไปยัง Crest กว้าง 4 เมตร ด้วยความเร็วเครื่องปู 2.5 m./min ซึ่งความเร็วเครื่องปูนี้จะถูกควบคุมโดย Electronic Controller ของเครื่องปู ABG – Titan 325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

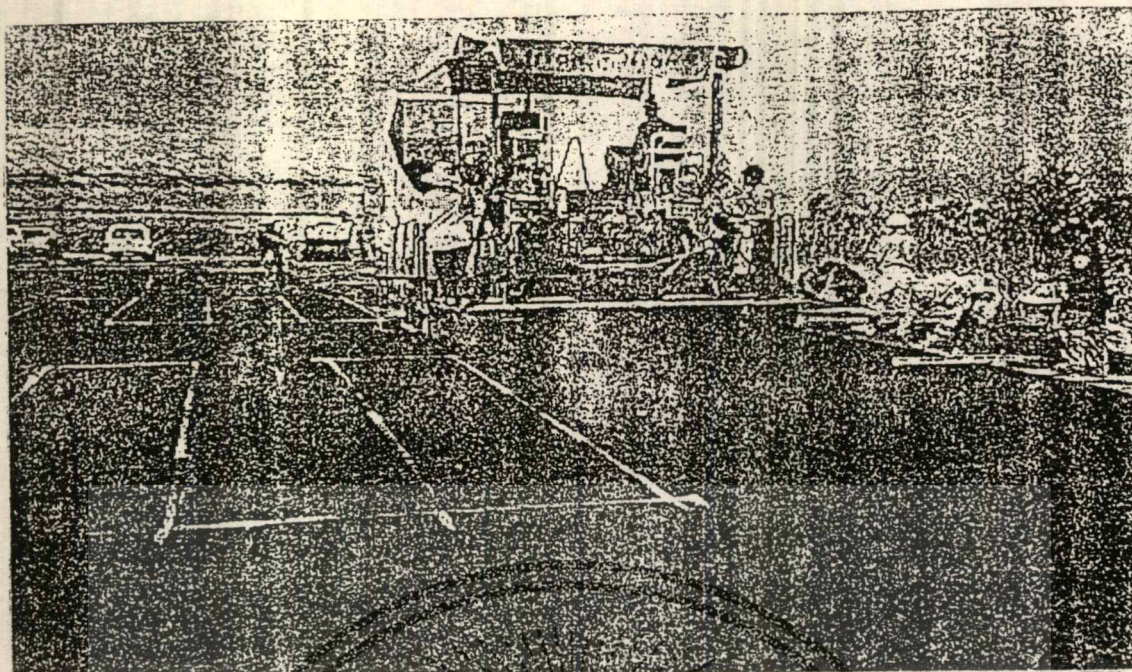


รูปที่ 4.3 การพ่น Prime Coat บนแนวลาดเอียง (Slope)
(ที่มา : EGAT, 1998)



รูปที่ 4.4 ชุดอุปกรณ์ของ Main Winch
(ที่มา : EGAT, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะเครื่องปู (Paver) ABG – Titan 325
(ที่มา : EGAT, 1998)

6. บดอัดด้วยรถบดสันสะเทือน Ingersoll rand หนัก 3.2 ตัน จำนวน 4 เทียว โดยทำการบดอัดสันสะเทือนจากด้านล่างของ Slope ไปยัง Crest และไม่ดันจากด้านบน Crest ลงมาสู่ด้านล่าง ทำเช่นนี้จนครบ 4 เทียว ทั้งไว้อย่างน้อย 1 วัน
 7. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 – 6 จนปู Leveling Course แล้วเสร็จ (ยกเว้นบริเวณมุมอ่าว)
 8. ดำเนินการปู Drainage Course บน Leveling Course โดยอุณหภูมิของ Drainage Course ที่ออกจาก Asphalt Plant อยู่ในช่วง $160 \pm 15^{\circ} \text{C}$ บรรทุกมาใส่ Bucket และจาก Bucket จะเคลื่อนมาเทใส่ในเครื่องปู (ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับข้อ 3 – 4)
 9. ทำการปู Drainage Course หนา 8 cm. ด้วยเครื่องปู ABG – Titan 325 จากด้านล่างของ Slope ไปยัง Crest กว้าง 4 เมตร ด้วยความเร็วเครื่องปู 2.5 m./min. จากนั้นบดอัดด้วยรถบดสันสะเทือนจำนวน 4 เทียว จากนั้นดำเนินการเช่นเดิมจนเต็มพื้นที่ ทั้งไว้อย่างน้อย 1 วัน (ยกเว้นบริเวณมุมอ่าว)
 10. ดำเนินการปู Impervious Course หลังจากปู Drainage Course โดยอุณหภูมิของ Impervious Course อยู่ในช่วง $180 \pm 15^{\circ} \text{C}$ กระทำในลักษณะเดียวกับข้อ 3 – 4 ปู Impervious Course ด้วยความเร็วเครื่องปู 2 m./min จากนั้นบดอัดด้วยรถบดสันสะเทือนโดยไม่สันสะเทือน 2 เทียว ในครั้งแรกและครั้งสุดท้าย และสันสะเทือนอีกจำนวน 4 เทียว (ยกเว้นบริเวณมุมอ่าว)
- เอกสารนี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิธีลาดหน้ายางมะตอย (Asphalt Concrete) บนผิวลาดเอียง (Slope) ที่บริเวณมุมอ่า (Corner Area)

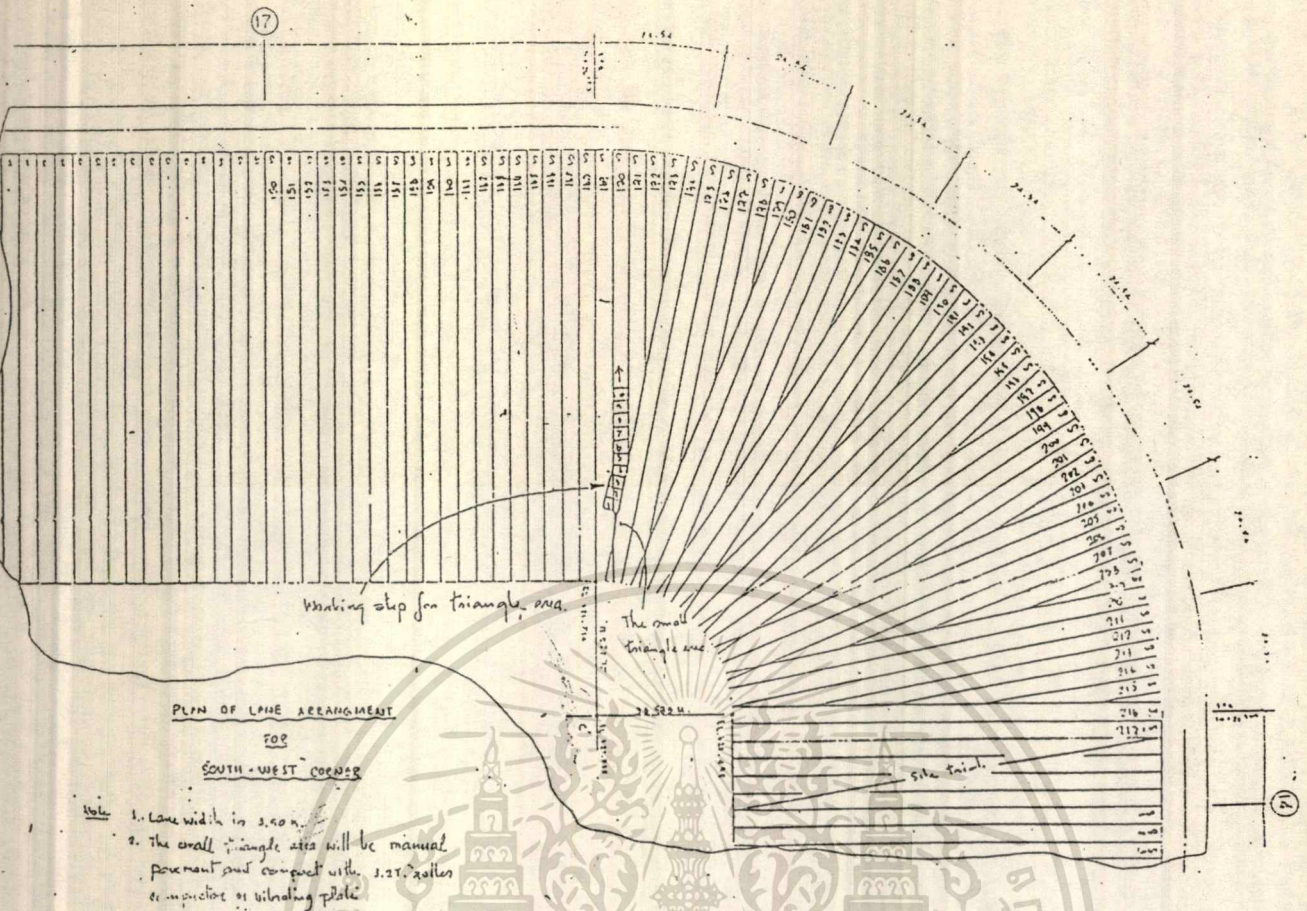
1. หลังจาก Spray ยาสีฟันและลง Prime Coat, CSS - 1 แล้วตั้งข้อ 1 - 2 ของหัวข้อ 3.4.1 ทำแนวการปู Leveling Course บน Transition 2A 2nd ดังรูปที่ 4.6
2. ทำการปู Leveling Course ต่อเนื่องกันไปโดยเริ่มจากขวาไปซ้าย โดยใน Lane ที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม จะใช้แรงงานคนเกลี่ย สำหรับส่วนของ Lane ที่เป็นสี่เหลี่ยมก็ใช้เครื่องปู (Paver ABG - Titan 325) และดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ 3 - 10 ของหัวข้อที่ 3.4.1 ดังรูปที่ 4.7

3.4.3 วิธีลาดหน้ายางมะตอย (Asphalt Concrete) บนแนวระดับ (Bottom Area)

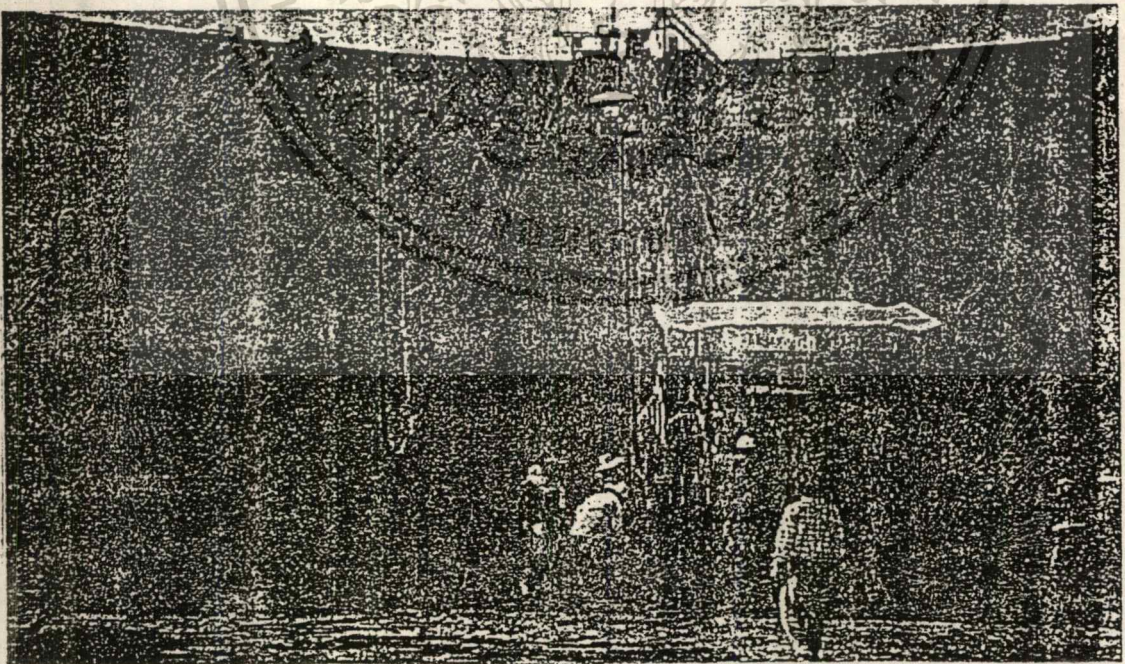
1. หลังจาก Spray ยาสีฟันและลง Prime Coat, CSS - 1 ดังข้อ 1 - 2 ของหัวข้อ 3.4.1 แล้ว ทำแนวการปู Leveling Course บน Transition 2A 2nd
2. ทำการปู Leveling Course ตามแนวที่ทำไว้ โดยสามารถเลือกใช้เครื่องปูได้ 2 ชนิด ดังนี้
กรณีใช้เครื่องปู BG - 265 ปู Leveling Course ด้วยความเร็ว 3.0 m./min.
กรณีใช้เครื่องปู ABG - Titan 325 ปู Leveling Course ด้วยความเร็ว 3.0 m./min.
3. ทำการบดอัดด้วยรถบดสันสะเทือน Ingersoll rand DD32 หน้า 3.2 ตัน ดังนี้
กรณีใช้เครื่องปู BG - 265 บดอัด Leveling Course จำนวน 5 เที่ยว
กรณีใช้เครื่องปู ABG - Titan 325 บดอัด Leveling Course จำนวน 4 เที่ยว
4. ทำการปู Impervious Course ตามแนวที่ทำไว้ ในส่วนของ Bottom Area นี้จะไม่มีส่วนของ Drainage Course (ตามเหตุผลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 วัตถุประสงค์) โดยใช้เครื่องปู ABG - Titan 325 ปู Impervious Course ด้วยความเร็ว 2.0 m./min.
5. ทำการบดอัดด้วยรถบดสันสะเทือน Ingersoll rand DD32 หน้า 3.2 ตัน โดยไม่สันสะเทือน 2 เที่ยว ในครั้งแรกและครั้งสุดท้าย และสันสะเทือนอีกจำนวน 4 เที่ยว

วิธีการ Placing และ Compaction เป็นไปตามตารางที่ 4.5

เมื่อทำการบดอัดเสร็จในแต่ละชั้น จะสุ่มตัวอย่างทดสอบ Density ในส่วน Leveling และ Drainage Layer และวิธี Vacuum สำหรับชั้น Impervious Layer ในกรณีพบว่า Density หรือ ค่า Vacuum มีค่าต่ำกว่าที่ต้องการ จะดำเนินการซ่อม โดยการ Reheat โดยใช้ Infrared Heater จนมีอุณหภูมิประมาณ 100 - 110° C แล้วจึงบดอัดซ้ำด้วย Vibrating Plate อีก 8 เที่ยว



รูปที่ 4.6 แบบแสดงแนวการปู Asphalt Concrete ในบริเวณโค้งมุมอ่าง
(ที่มา: EGAT, 1998)



รูปที่ 4.7 แสดงการปู Asphalt Concrete บริเวณมุมอ่าง (Corner Area)

(ที่มา: EGAT, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 สรุปวิธีการ Placing และการบดอัด (Compaction) ของ Asphalt Concrete

Asphalt Concrete Layer	Placing			Compaction				
	Location	Equipment Finisher	Method		Equipment Roller Compactor	Method		
			Temperature	Placing Speed		Thickness	Temperature	Compacted Times
Impervious Course	Slope	ABG-Titan 325	not less than 150°C	2.0 m/min	3.2 t class vibrating roller	10 cm	not less than 130°C	4+2* passes
	Bottom	ABG-Titan 325	not less than 150°C	2.0 m/min	3.2 t class vibrating roller	10 cm	not less than 130°C	4+2* passes
Drainage Course	Slope	ABG-Titan 325	not less than 130°C	2.5 m/min	3.2 t class vibrating roller	8 cm	not less than 100°C	4 passes
Leveling Course	Slope	ABG-Titan 325	not less than 150°C	2.5 m/min	3.2 t class vibrating roller	7 cm	not less than 130°C	4 passes
	Bottom	ABG-Titan 325	not less than 150°C	3.0 m/min	3.2 t class vibrating roller	7 cm	not less than 130°C	4 passes
	Bottom	BG 265	not less than 150°C	3.0 m/min	3.2 t class vibrating roller	7 cm	not less than 130°C	4 passes

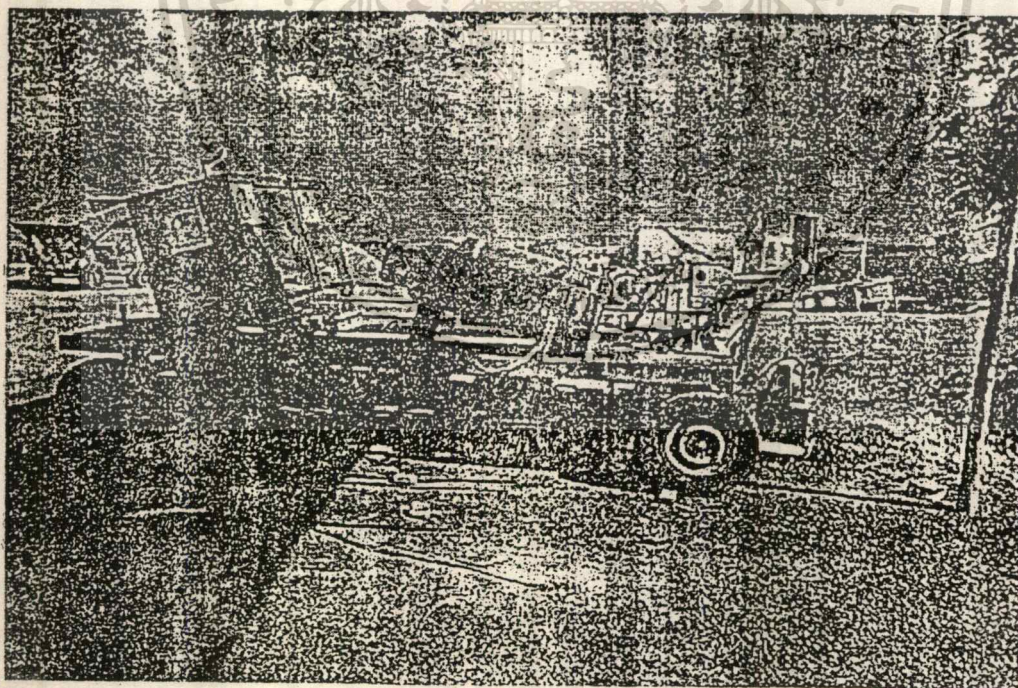
(ที่มา : เอกสารของ กฟผ. เรื่อง การลาดแอสฟัลต์บนผิวข้างเก็บน้ำด้านบน)

3.5 ลักษณะการปฏิบัติต่อรอยต่อชน (Joint Treatment)

การทดสอบ Trial Section จะมีการทดสอบคุณสมบัติรอยต่อร่วมไปด้วย โดยจะทดสอบทั้ง Cold Joint (อุณหภูมิ Asphalt Concrete ของ Lane ซึ่งแล้วเสร็จก่อนหน้านี้ Lane ซึ่งกำลังจะดำเนินการปู มีอุณหภูมิต่ำกว่า Placing Temperature ตาม Specification) และ Hot Joint (อุณหภูมิ Asphalt Concrete ของ Lane ซึ่งแล้วเสร็จก่อนหน้านี้ Lane ซึ่งกำลังจะดำเนินการปู มีอุณหภูมิสูงกว่า Placing Temperature ตาม Specification) โดยจะ Coring ตัวอย่างในจุด Joint ต่างๆ เพื่อทดสอบ และนำค่าที่ได้มาพิจารณาปรับปรุง ในส่วนที่มีผลการทดสอบต่ำกว่า Specification ดังตารางที่ 4.3 ในการก่อสร้างจริงต่อไป

สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ Joint Treatment จากการพิจารณาผลการทดลองแล้วสรุปผล จะมีการทำ Joint Treatment เฉพาะในชั้นของ Impervious Course โดยจะกระทำที่ Cold Joint เท่านั้น ส่วน Hot Joint เนื่องจากมีอุณหภูมิ Placing และมีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนด หลังจากการทดสอบจึงยอมรับได้

การทำ Joint Treatment เครื่องมือที่ใช้เป็น Infrared – Heater ซึ่งสามารถ Heat ผิว Asphalt Concrete ได้ลึกประมาณ 3 cm. โดยจะทำ Primary Heat โดยเครื่อง Heater ชุดแรก ก่อนการทำ Placing และ Second Heat โดยเครื่อง Heater ชุดที่สอง ซึ่งติดอยู่กับเครื่อง Paver อีกครั้ง (เครื่องมือ Joint Treatment ดังแสดงในรูปที่ 4.8)



รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของเครื่องมือสำหรับการทำ Joint Treatment (Infrared-Heater)

(ที่มา : EGAT, 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การควบคุมคุณภาพหลังการบดอัดแล้วเสร็จ

เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดี จึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบคุณภาพ โดยเริ่มตั้งแต่การทดสอบคุณภาพวัสดุผสม และยาง AC 60/70 ให้วัสดุมีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด (Specification) รวมทั้ง สัดส่วนและอุณหภูมิของ Mixes ในกระบวนการผลิต และคุณสมบัติของ Asphalt Concrete Surface ที่ได้ในสนามหลังมีการบดอัดแล้วเสร็จ

3.7 สรุปแนวทางปฏิบัติงานและเกณฑ์การควบคุมงานลาดผิวแอสฟัลต์ในแนวเอียง

การลาดยางในอ่างพักน้ำตอนบน มี Mixes ซึ่งได้มาจากการทดลองหาส่วนผสมโดยใช้วิธีและขั้นตอนไม่ต่างจากงานถนนทั่วไป ที่ต่างออกไปก็คือ ใช้วิธีการหาส่วนผสม โดยวิธี Marshall Method ASTM D-1559 (25 Blows) และ Criteria ซึ่งต้องการของ Mixes นั้นๆ ซึ่งจะเน้นทางด้านความทึบน้ำ ความชื้นได้ ความมีเสถียรภาพในแนวเอียง เป็นหลัก ส่วนความมีเสถียรภาพในการรับแรงกดนั้น จะไม่มุ่งเน้นมากเหมือนงานถนน

สำหรับการทำงานในแนวระดับจะมีวิธีการดำเนินการ ซึ่งไม่แตกต่างจากงานถนนทั่วไป ส่วนในแนวเอียงจะมีเครื่องมือพิเศษ เพื่อช่วยให้เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในงานถนนปกติสามารถทำงานในแนวเอียงไม่ต่างจากการทำงานในแนวระดับนั่นเอง

ส่วนการควบคุมคุณภาพก็จะมีการตรวจสอบอย่างต่อเนื่องโดยวิธีการทดสอบก็ไม่แตกต่างจากงานถนนทั่วไป ยกเว้น การทดลอง Permeability Test และมีจำนวนความถี่การทดลองหลายขั้นตอนกว่าเพื่อให้ได้คุณภาพงานที่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีจุดประสงค์หลักเป็นอ่างพักน้ำ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีราคาแพง และซ่อมแซมได้ยากกว่างานถนนทั่วไปนั่นเอง

4. อุโมงค์ระบายน้ำ

อยู่ที่บริเวณใต้อ่างเก็บน้ำด้านบน ใกล้ๆกับ Power Intake ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินจากแหล่งต่างๆ อาทิ น้ำฝน น้ำใต้ดิน ไม่ให้ไหลซึมเข้าไปทำความเสียหายให้กับอ่างเก็บน้ำจากทางด้านล่าง มีความยาวทั้งหมด 470 ม. และพื้นที่หน้าตัด 9.5 ตร.ม. เป็นอุโมงค์ที่มีการฉาบภายในด้วยคอนกรีต

สำหรับวิธีการก่อสร้างของอุโมงค์นี้ เป็นอุโมงค์เพียงแห่งเดียวในโครงการที่ไม่ได้ใช้วิธี Drilling and Blasting ทั้งหมด สามารถใช้รถขุดดินทำงานได้ในส่วนที่เป็นชั้นดิน หรือชั้นหินที่ไม่แข็งมากนักอย่าง Claystone แล้วจึงใช้การระเบิดในบางส่วนที่เป็นหินแข็งจำพวก Sandstone ส่วนในเรื่องของการค้ำยัน จะใช้ Rockbolt ยาว 2 ม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. และ Shotcrete หนา 100 มม. อาจมีการเสริมตะแกรงเหล็กเพิ่มเติมถ้าจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

อุโมงค์ต่างๆในโครงการ

ทั่วไป

เนื่องจากโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง มีการวางแผนทอไว้ใต้ดิน รวมถึงโรงไฟฟ้าก็อยู่ใต้ดินด้วย การก่อสร้างอุโมงค์ต่างๆ ในโครงการจึงมีความจำเป็นมาก และถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของโครงการ

อุโมงค์ในโครงการมีมากมายหลายอุโมงค์ ทั้งอุโมงค์หลักที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของระบบสูบกลับได้แก่ อุโมงค์ของ Penstock และอุโมงค์ด้านท้ายน้ำ (Tailrace Tunnel) แล้วยังมีอุโมงค์ที่ขุดเพื่อเข้าไปทำงานในการสร้างโครงสร้างใต้ดินอื่นๆ หรือแม้กระทั่งอุโมงค์ที่ใช้ระบายน้ำและระบายอากาศ อุโมงค์ต่างๆดังแสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งแต่ละอุโมงค์จะต่างกันก็เพียงเรื่องขนาดของอุโมงค์ ความยาว การ support ที่ต่างกันไปตามชั้นหินที่อุโมงค์นั้นถูกขุด และรายละเอียดปลีกย่อยเล็กน้อยเท่านั้น แต่ส่วนที่เหมือนกันก็คือ ขั้นตอนในการทำงานได้แก่ Drilling and Blasting, Mucking (การขนเอาวัสดุจากการระเบิดออกไปภายนอกอุโมงค์) และขั้นตอนการทำ Rock Support ซึ่งใช้กระบวนการนี้ในการขุดทุกๆอุโมงค์

Drilling and Blasting เป็นวิธีที่ใช้การเจาะหินเพื่อติดตั้งระเบิด ตัวอย่างของเครื่องเจาะดังแสดงในรูป 5.2 และทำการระเบิดให้ได้ระยะทางคืบหน้าต่อไป ในการก่อสร้างอุโมงค์ไม่เหมือนกับการสร้างอ่างเก็บน้ำด้านบน เพราะมีเทคนิคในการฝังระเบิดในแต่ละหน้าตัด แบ่งเป็นช่วงๆดังนี้

- ฝังแนวระเบิดช่วงใน คือ วางระเบิดในจุดศูนย์กลางของบริเวณที่จะทำการขุดอุโมงค์ ส่วนนี้เรียกว่า Cut
- ฝังแนวระเบิดในช่วงถัดออกมาจากบริเวณศูนย์กลางของอุโมงค์ เรียกส่วนนี้ว่า Bulk โดยระยะห่างระหว่างระเบิด (Spacing) ประมาณ 90 – 100 cm.
- ฝังแนวระเบิดบริเวณขอบหน้าตัดอุโมงค์ หรือบริเวณแนวหลังคา เรียกส่วนนี้ว่า Perimeter hole โดยระยะห่างระหว่างระเบิด (Spacing) ประมาณ 60 cm.
- ฝังแนวระเบิดส่วนฐาน หรือส่วนพื้นของอุโมงค์ เรียกส่วนนี้ว่า Lifter โดยระยะห่างระหว่างระเบิด (Spacing) ประมาณ 60 cm.

ตัวอย่างแสดงการฝังระเบิดดังรูป 5.3

Mucking หรือการขนเศษวัสดุจากการระเบิดไปยังที่ทิ้ง มีความสำคัญตรงที่ช่วย clear พื้นที่ทำให้สามารถทำงานต่อได้เร็ว จึงควรเตรียมพาหนะไว้ให้พร้อม ตัวอย่างของรถที่ใช้ตักและขนวัสดุแสดงในรูปที่ 5.4, 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rock Support หมายถึง การค้ำยันหินภายในอุโมงค์ ซึ่งต้องทำทันทีหลังจากชนเศษวัสดุไปหมดก่อนที่หินจะหลุดตัว โดยตามปกติจะมีชั้นรับค้ำยันคือ ฟัน Shotcrete และยึด Rockbolt อาจมีการติดตั้ง wiremesh (ตะแกรงเหล็ก) เพิ่มในชั้นหินที่ไม่แข็งแรง

สำหรับ Shotcrete เป็นคอนกรีตชนิดหนึ่งค่อนข้างเหลว เพื่อใช้ในการฉีดพ่นตามผนัง และหลังคาของอุโมงค์ เพื่อช่วย support ให้หินแน่นขึ้น ยากแก่การหลุดตัว ซึ่งจะใช้ Shotcrete ที่มีความหนาต่างกันตามสภาพของหิน โดยแบ่งเป็น Type ตามข้อกำหนดดังตารางที่ 5.1

ส่วน Rockbolt เป็นแท่งเหล็กที่ใช้สำหรับยึดไปในหินด้วยสลักเกลียว เพื่อช่วยชะลอการหลุดตัว ในโครงการลำตะคอง ได้ใช้เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ซึ่งมีความยาวต่างกันไปตามการใช้ในแต่ละสภาพหิน วิธีการติดตั้งกระทำโดยการใช้ resin เป็นตัวยึด หลังจากใส่ resin ลงไปในหลุมที่เจาะไว้ก่อนแล้ว จึงใส่เหล็กตามเข้าไปโดยการหมุนแท่งเหล็ก เพื่อเข้าไปกวนในหลุมให้ resin แตะกาวที่บรรจุ ออกมายึดเหล็กกับผนังหิน และที่ปลายแท่งเหล็กที่โผล่ออกมาจากหลุม จะมีการยึดด้วยแป้นเกลียวและ bolt ดังแสดงในรูปที่ 5.6 และค่าความยาวในแต่ละชนิดของ Rockbolt จะแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ข้อกำหนดในการทำงานของ Shotcrete

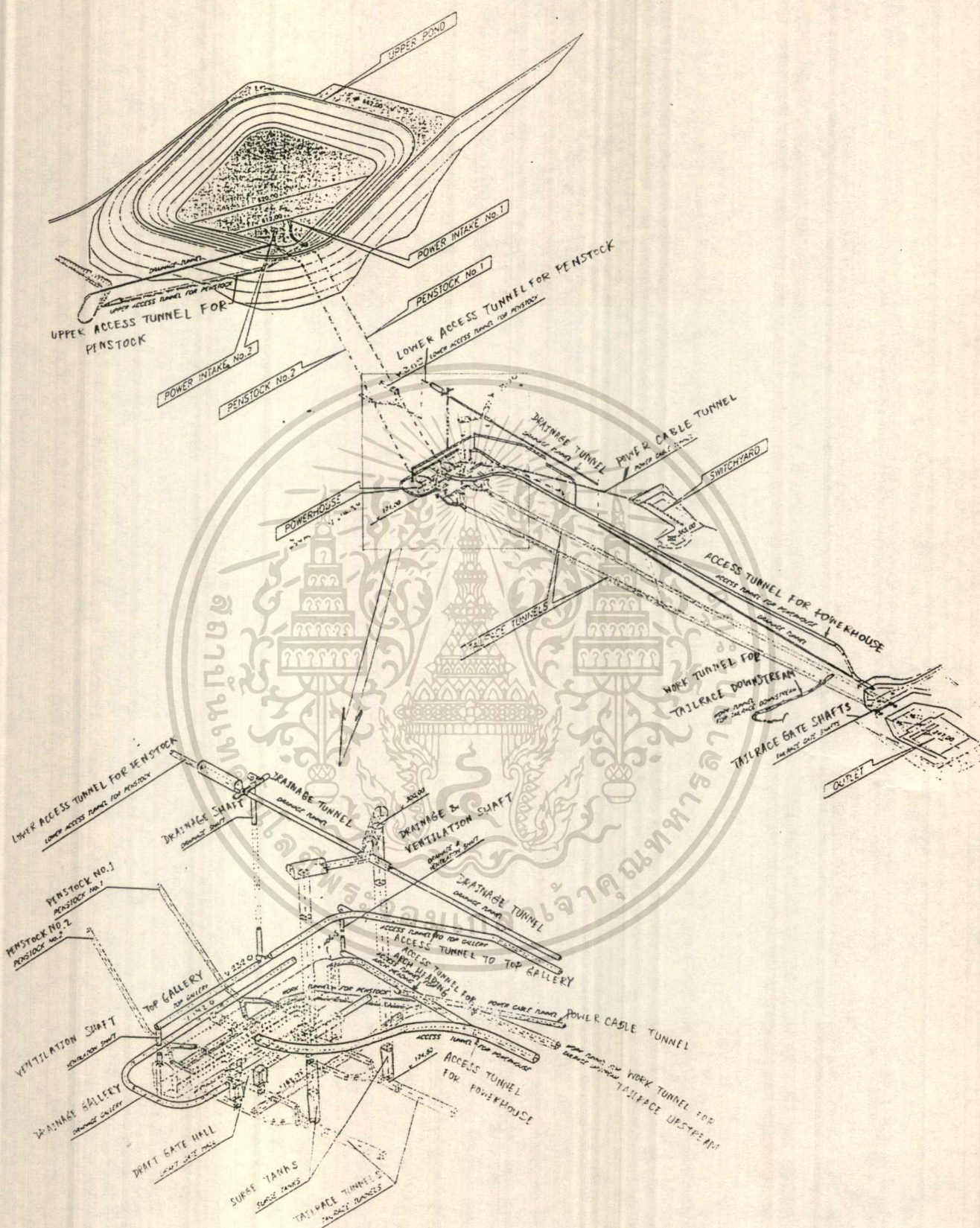
	Open	Tunnel and Shaft					Powerhouse Cavern		
Type	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Thickness (cm)	7	7	10	10	15	20	8	16	24
Reinforce ment	None	None	None	Wire Mesh	Wire Mesh	Wire Mesh	Steel Fiber	Steel Fiber	Steel Fiber

(ที่มา : Technical Specifications, LTK Pumped Storage Project)

ตารางที่ 5.2 ข้อกำหนดของ Rockbolt

Type	I	II	III	IV
Length (m)	2.0	3.0	4.0	5.0
Diameter (mm)	25	25	25	25

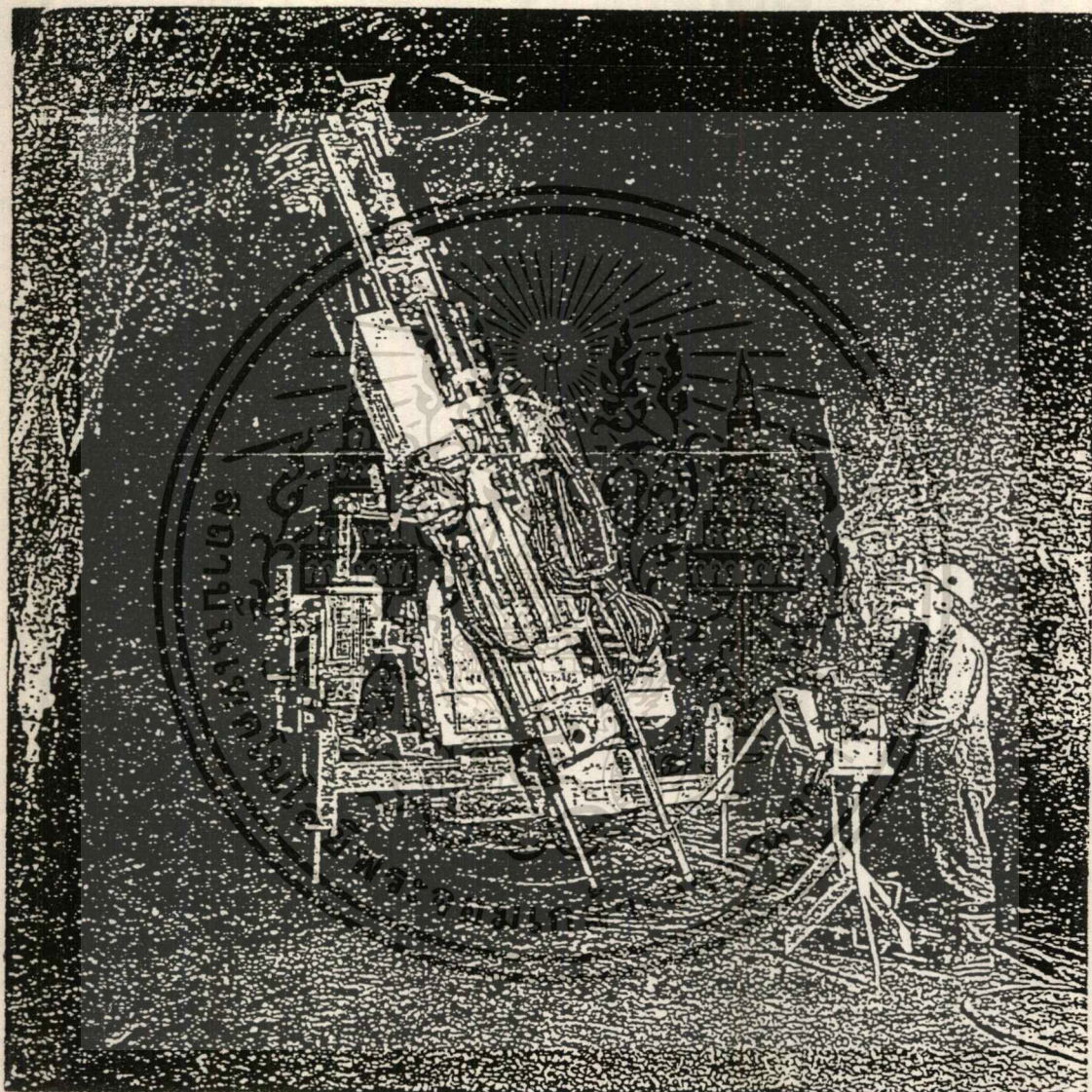
(ที่มา : Technical Specifications, LTK Pumped Storage Project)



รูปที่ 5.1 ภาพอิมเมจตัดขวาง

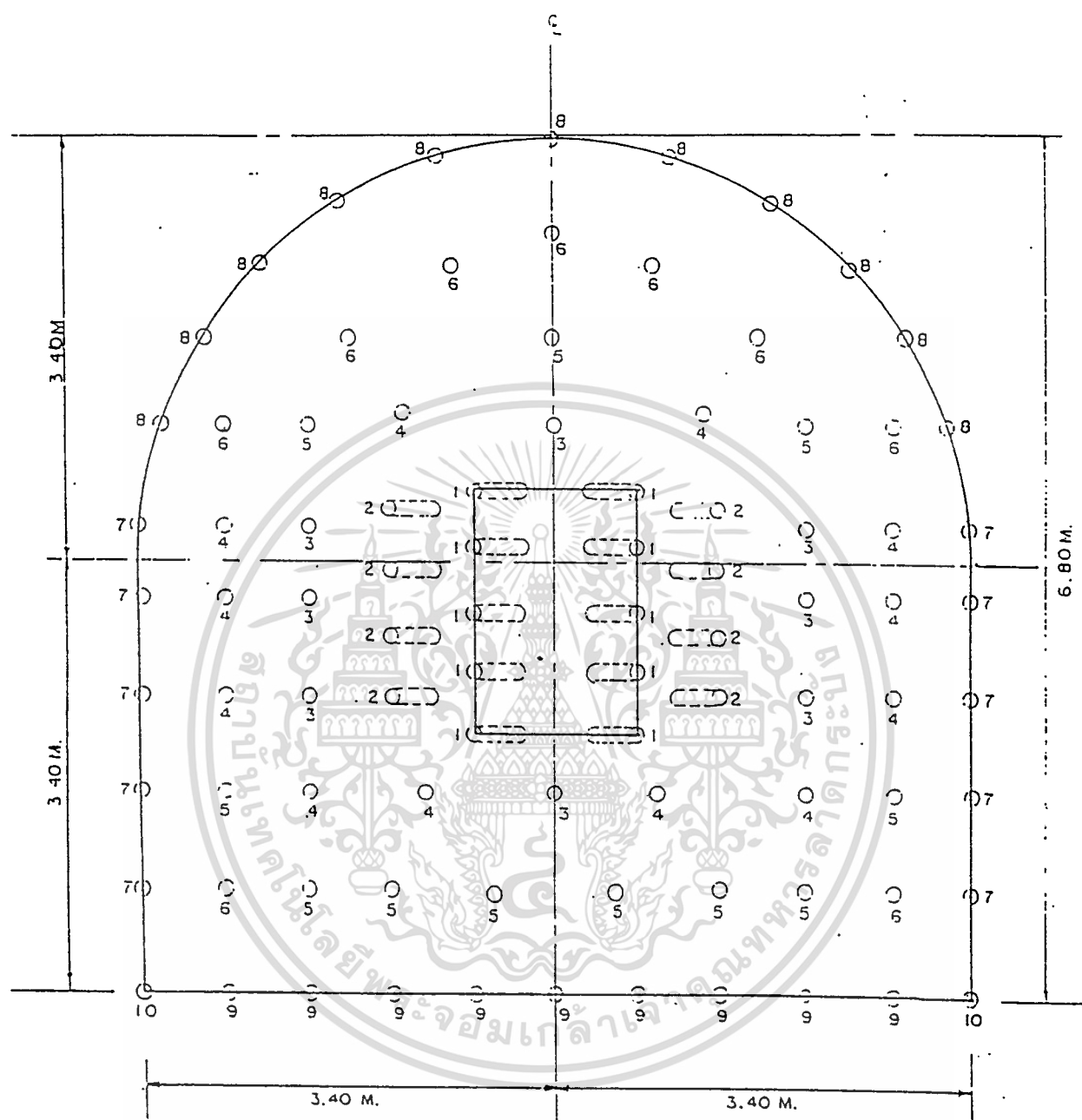
(ที่มา : EGAT, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 เครื่องเจาะ Atlas Copco Simba
(ที่มา : Underground Blasting, 1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



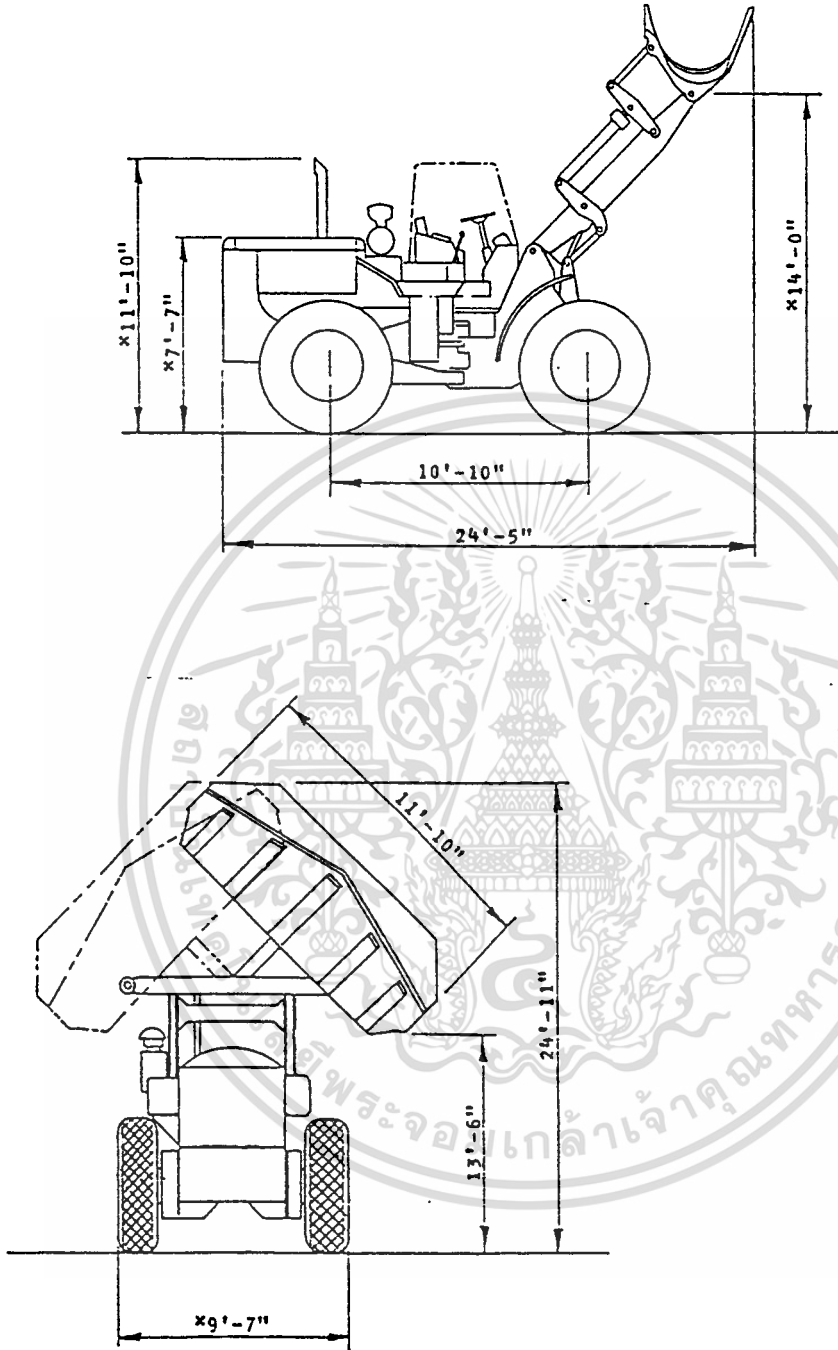
NO.1 = 10	NO.6 = 9
NO.2 = 8	NO.7 = 10
NO.3 = 8	NO.8 = 11
NO.4 = 12	NO.9 = 9
NO.5 = 11	NO.10 = 2
	TOTAL 90

รูปที่ 5.3 รูปแบบการฝังระเบิด

(ที่มา : International Blaster Co., Ltd. , 1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

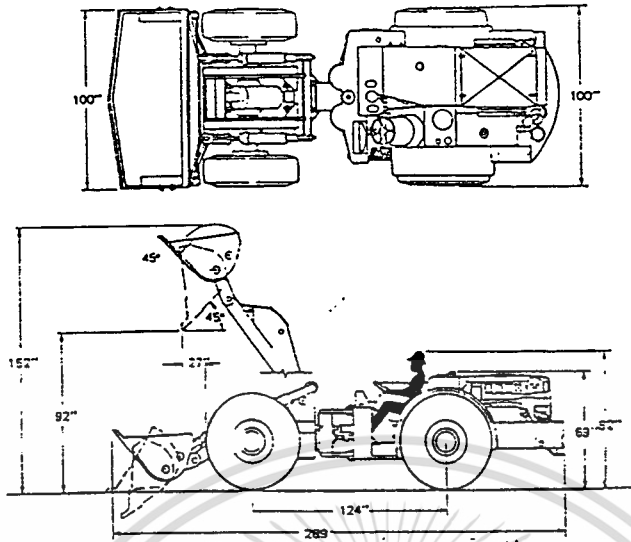
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



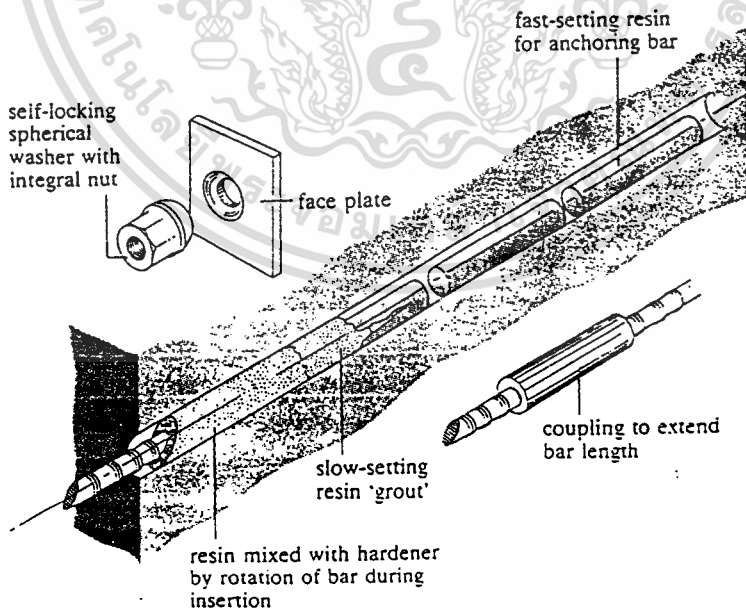
* DIMENSIONS VARY ACCORDING TO
BUCKET AND TIRE SIZE - MAXIMUM
SHOWN FOR A 5 CUBIC YARD BUCKET
AND 26.5 X 25 L-3 TIRES

รูปที่ 5.4 Caterpillar Wheel Loader Model 980 W / Libu Bucket
(ที่มา : Bickel, Kuesel, King, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 Wagner Front End Loader Model MS - 2
(ที่มา : Bickel, Kuesel, King, 1996)



รูปที่ 5.6 Rockbolt ชนิดใช้ resin เป็นตัวยึด

(ที่มา : Brady, Brown, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานก่อสร้างอุโมงค์

โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ เป็นโครงการก่อสร้างที่ประกอบด้วยงานก่อสร้างอุโมงค์เป็นจำนวนมากหลายอุโมงค์ด้วยกัน โดยมีขนาดของงานขุดตั้งแต่ 3.0 เมตร ถึง 10.0 เมตร ประกอบด้วยอุโมงค์ส่งน้ำเข้าโรงไฟฟ้า (Penstock Tunnel) จำนวน 2 อุโมงค์ อุโมงค์ท้ายน้ำ (Tailrace Tunnel) จำนวน 2 อุโมงค์ และอุโมงค์ประกอบอื่นๆ มากกว่า 10 อุโมงค์ รวมความยาว 8,660 เมตร นอกจากอุโมงค์ที่กล่าวถึงนี้แล้วยังประกอบด้วยงานขุดโรงไฟฟ้าใต้ดิน (Powerhouse Cavern) ขนาดความกว้าง 25 เมตร สูง 47 เมตร ยาว 175 เมตร และปล่องอุโมงค์ต่างๆ (Shafts) อีกเป็นจำนวนมาก

ในช่วงของการศึกษารายละเอียดของโครงการ ได้ทำการสำรวจโดยการเจาะอุโมงค์สำรวจ เจาะหลุมสำรวจ สำรวจทางธรณีฟิสิกส์ การทดสอบทั้งในสนาม และเก็บตัวอย่างทดสอบในห้องทดลอง เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์โครงการ ซึ่งจะไม่กล่าวถึงรายละเอียดในที่นี้

งานก่อสร้างอุโมงค์ที่โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ มีการทำงานตามขั้นตอน และวิธีการแบ่งออกได้ดังนี้

- งานขุดอุโมงค์ (Excavation)
- งานค้ำยัน และเสริมความมั่นคง (Rock Supports)
- งานตรวจสอบสภาพธรณีวิทยา (Geological Observation)
- งานตรวจวัดการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์ (Deformation Monitoring)
- งานควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

โดยมีรายละเอียดโดยทั่วไปของขั้นตอน และวิธีการในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. งานขุดอุโมงค์ (Excavation)

งานขุดอุโมงค์ที่โครงการลำตะคอง ส่วนใหญ่ใช้วิธีเจาะระเบิด นอกจากบางอุโมงค์ที่มีลักษณะพิเศษออกไปจะใช้การขุดด้วยเครื่องจักร เช่น อุโมงค์ที่ขุดในชั้นหินโคลน (Claystone) ขุดโดยใช้เครื่อง Road Header และงานขุดปล่องอุโมงค์จะใช้เครื่อง Raise Boring Machine ในการขุดปล่องนำ (Pilot Shaft)

ขั้นตอนของงานขุดอุโมงค์ และปล่องอุโมงค์นั้นประกอบด้วย

- การเจาะระเบิด หรือใช้เครื่องจักรขุด
- การขนถ่ายวัสดุ (Mucking)
- การแซะเอาหินส่วนที่ไม่มั่นคงออก (Trimming and Scaling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจาะระเบิดจะใช้เครื่องเจาะที่เรียกว่า Jumbo ทำการเจาะระเบิดตามรูปแบบการระเบิดที่กำหนด โดยมีความยาวของการระเบิดแต่ละครั้ง 3.90 เมตร หรือสั้นกว่าขึ้นอยู่กับสภาพธรณีวิทยาในแต่ละช่วงของอุโมงค์ เพื่อให้เกิดความมั่นคงปลอดภัย

ส่วนการขุดปล่องอุโมงค์นั้นจะใช้เครื่อง Raise Boring Machine ในการขุดปล่องนำ (Pilot Shaft) ก่อน ซึ่งที่โครงการใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.13 ม. แล้วจึงทำการเจาะระเบิดขยายปล่องอุโมงค์ให้มีความกว้างตามแบบที่กำหนด ในบางปล่องอุโมงค์การขุดปล่องนำใช้วิธีเจาะระเบิดแทนเครื่อง Raise Boring Machine

การขนถ่ายวัสดุที่ได้จากการระเบิด จะทำการขนถ่ายออกจากอุโมงค์โดยแบ่งได้เป็นสองระบบ คือ ระบบตัก และขนถ่ายโดยใช้รถบรรทุกเหมือนงานขุดในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งจะใช้ระบบนี้กับอุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่ ส่วนอุโมงค์ที่มีขนาดเล็ก เช่น อุโมงค์ที่มีขนาด 3 ม. ใช้วิธีขนถ่ายโดยระบบรางรถไฟ ซึ่งที่โครงการฯ ลำตะคองแบบสลับใช้ทั้ง 2 ระบบ ตามขนาดของอุโมงค์ การขนถ่ายวัสดุที่ได้จากงานขุดปล่องอุโมงค์ จะขนถ่ายผ่านปล่องนำทิ้งลงไปยังอุโมงค์ด้านล่าง แล้วทำการขนถ่ายออกจากอุโมงค์ด้านล่างอีกครั้งหนึ่ง

หลังจากทำการขนถ่ายวัสดุจากงานขุดออกแล้ว ก็จะดำเนินการชะเอาหินที่ไม่มั่นคงออกเพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ที่จะต้องเข้าไปทำงานค้ำยันในขั้นต่อไป

ในงานขุดอุโมงค์สิ่งที่จะต้องขาดไม่ได้ คือ การสำรวจวางแผน และระดับของอุโมงค์ก่อนการขุด และการตรวจสอบความถูกต้องของแนว และระดับหลังการขุด เพื่อให้งานอุโมงค์ถูกต้องตามแบบที่วางไว้

2. งานค้ำยันและเสริมความมั่นคง (Rock Supports)

งานค้ำยันและเสริมความมั่นคงเป็นงานที่มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นงานที่ทำให้อุโมงค์ที่ทำการขุดมีเสถียรภาพ และมั่นคงปลอดภัย การค้ำยันในระหว่างงานขุดอุโมงค์ที่ใช้ในโครงการ แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ใหญ่ๆ คือ

- ค้ำยันด้วยโครงเหล็ก (Steel Support)
- การเย็บแท่งเหล็กเสริมความมั่นคง (Rock reinforcement)
- การทำคอนกรีตพ่น (Shotcrete)

ในการขุดอุโมงค์ส่วนใหญ่ จะใช้การเย็บแท่งเหล็ก (Rockbolt) และคอนกรีตพ่นร่วมกัน ยกเว้นในช่วงที่มีสภาพธรณีวิทยาที่ดี อาจจะใช้คอนกรีตพ่นเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพธรณีวิทยา ในการกำหนดรูปแบบ และปริมาณ รวมทั้งชนิดของการทำค้ำยัน และเสริมความมั่นคง จะขึ้นอยู่กับสภาพการจำแนกมวลหิน จากการตรวจสอบสภาพธรณีวิทยา ขนาดของอุโมงค์ และลักษณะ

การค้ำยันแบบชั่วคราวหรือถาวร ซึ่งการค้ำยันแบบชั่วคราวจะทำในอุโมงค์ที่จะมีการدادด้วย คอนกรีต (Concrete lining) หลังจากงานขุดอุโมงค์แล้วเสร็จ

การค้ำยันโดยใช้โครงเหล็ก (Steel Support) ส่วนใหญ่แล้วจะใช้การค้ำยันในช่วงของงาน ขุดปากอุโมงค์ (Tunnel Portal) ซึ่งเป็นงานขุดในชั้นดินหรือหินผุ โดยทั่วไปเมื่อติดตั้งโครงเหล็ก แล้ว จะทำการพ่นคอนกรีตปิดทับชั้นดินหรือหินระหว่างโครงเหล็กพร้อมทั้งเย็บ Rockbolt เพื่อ เสริมความมั่นคงให้กับอุโมงค์

การเสริมความมั่นคงของผนังอุโมงค์ด้วย การเย็บแท่งเหล็ก (Rock reinforcement) จะมี ลักษณะการทำให้เป็น 2 ลักษณะ คือ อุโมงค์ และปล่องอุโมงค์จะใช้ Rockbolt ชนิด Resin Grouted Bolt เป็นตัวเสริมความมั่นคง ส่วนในโรงไฟฟ้าใต้ดิน (Powerhouse cavern) จะใช้ทั้ง Rockbolt และ Prestressed Rock Anchor เป็นตัวเสริมความมั่นคง เนื่องจากเป็นอุโมงค์ที่มีขนาดใหญ่มาก

การทำคอนกรีตพ่นก็เช่นกัน โดยชนิดของคอนกรีตพ่นชนิดที่ใช้ที่โครงการลำตะคองแบบ สุกกลับสามารถแบ่งออกได้กว้างๆเป็น 3 ชนิด คือ

- คอนกรีตพ่นไม่เสริมตะแกรงเหล็ก
- คอนกรีตพ่นเสริมตะแกรงเหล็ก (Wire Mesh)
- คอนกรีตพ่นผสมใยเหล็ก (Steel Fiber Reinforced Shotcrete)

ซึ่ง 2 ชนิดแรก ใช้ในการทำค้ำยันในอุโมงค์ และปล่องอุโมงค์ โดยจะใช้ความหนา และ ชนิดแตกต่างกันออกไปตามสภาพธรณีวิทยา ส่วนคอนกรีตพ่นเสริมใยเหล็กจะใช้ในการทำค้ำยัน ในตัวโรงไฟฟ้า

3. งานตรวจสอบสภาพธรณีวิทยา (Geological Observation)

เป็นงานที่มีความสำคัญอีกงานหนึ่งในงานขุดอุโมงค์ ในการขุดอุโมงค์นั้นจะต้องทำการ ตรวจสอบสภาพธรณีวิทยาเป็นช่วงๆ โดยการกำหนดที่ธรณีวิศวกรรมของหน้างานขุด โดยตรวจสอบความแข็งแรงของหิน สภาพการวางตัวของชั้นหิน และรอยแตกในมวลหิน เพื่อจำแนกชนิด ของมวลหินสำหรับการตัดสินใจกำหนดการทำค้ำยัน (Rock Support) และวิเคราะห์เสถียรภาพ ของอุโมงค์ในระหว่างงานขุดอุโมงค์

4. งานตรวจวัดการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์ (Deformation Monitoring)

เป็นงานที่ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ตรวจวัดหลังคา และผนังอุโมงค์ว่ามีการเคลื่อนตัวหรือ ไม่อย่างไร ในระหว่างงานขุดและค้ำยันอุโมงค์ ซึ่งจะเป็นการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง จนกว่าผนัง อุโมงค์จะไม่มี การเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้น หรือถ้าการตรวจวัดพบว่าการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์เพิ่ม ขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก็จะทำให้การเสริมค้ำยันเพิ่มขึ้นเพื่อให้ผนังอุโมงค์มีเสถียรภาพ และมั่นคงปลอดภัย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานตรวจวัดการเคลื่อนตัวนี้เป็นงานที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเครื่องมือหนึ่ง (Tool) ที่จะบ่งบอกได้ว่าอุโมงค์ที่ทำการขุดนั้นมีเสถียรภาพเป็นอย่างไร

สำหรับวิธีการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของผนังอุโมงค์ ที่ใช้ที่โครงการฯ ลำตะคองแบบสลับกลับมี 2 วิธี คือ

- การวัดการเคลื่อนตัวบริเวณผนังอุโมงค์ (Convergence Measurement) วัดโดยใช้ Tape Extensometer ในงานขุดอุโมงค์ และใช้กล้องสำรวจทำการวัดในโรงไฟฟ้า
- การวัดการเคลื่อนตัวของมวลหินรอบอุโมงค์ (Borehole Extensometer) ทำการติดตั้งอุปกรณ์โดยการเจาะหลุมจากอุโมงค์เหนือโรงไฟฟ้า และอุโมงค์ระบายน้ำรอบโรงไฟฟ้า ทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือระบบ digital

5. งานควบคุมคุณภาพ (Quality Control)

เพื่อให้ได้งานก่อสร้างที่มีคุณภาพ จึงจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบงานที่ได้ทำไปแล้ว ซึ่งในงานก่อสร้างอุโมงค์ที่โครงการฯ ลำตะคองแบบสลับกลับ ได้ควบคุมคุณภาพโดยการตรวจสอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- เจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตพื้นที่ทำในอุโมงค์ เพื่อให้ได้ความหนาตามกำหนด
- ทดสอบความแข็งแรงของคอนกรีตพื้นที่ (Shotcrete Strength) ว่าได้ความแข็งแรงตามที่กำหนดหรือไม่
- ทดสอบการรับแรงของ Rockbolt โดยการทำ Pull-Load Test เพื่อให้มั่นใจว่า Rockbolt ที่ติดตั้งสามารถรับน้ำหนักหินเหนืออุโมงค์ได้ตามกำหนด
- ตรวจวัดแรงดันของมวลหินเหนือโรงไฟฟ้าที่กระทำต่อ Prestressed Rock Anchor ว่ามีพฤติกรรมเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ โดยการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดที่หัวของ Prestressed Rock Anchor ที่เรียกว่า Disc Load Cell นอกจากนี้แล้วก็มีการตรวจสอบคุณภาพอีกหลายอย่าง เช่น การตรวจสอบคุณภาพของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในงานก่อสร้างอุโมงค์

ที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนี้ เป็นการบรรยายถึงรายละเอียดโดยทั่วไป ของงานก่อสร้างอุโมงค์ซึ่งยังมีรายละเอียดอีกมาก ในแต่ละขั้นตอน และวิธีการ ซึ่งไม่สามารถนำมากล่าวได้ทั้งหมดในที่นี้

Penstock

เป็นอุโมงค์คอนกรีตทาดผิวเหล็กจำนวน 2 อุโมงค์ มีความยาวอุโมงค์ละ 651 ม. และมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในตั้งแต่ 6.0 ถึง 2.4 ม. ประกอบด้วยท่อแนวนอนช่วงบนซึ่งต่อออกมาจาก Power Intake ท่อเอียงลงทำมุมประมาณ 48° และท่อแนวนอนช่วงล่างซึ่งตรงปลายจะแยกย่อยไปอีก 2 ท่อ รวมเป็น 4 ท่อ เข้าสู่โรงไฟฟ้า

ขั้นตอนการก่อสร้าง

ก่อนที่จะทำการก่อสร้าง Penstock ได้นั้น ต้องมีการสร้างอุโมงค์สำหรับทำงานก่อน อุโมงค์ที่ถูกขุดเพื่อการสร้าง Penstock ได้แก่ Upper Access Tunnel for Penstock จะถูกขุดเข้ามาถึงบริเวณของท่อแนวนอนช่วงบนของ Penstock และ Lower Access Tunnel for Penstock จะเข้ามาที่บริเวณช่วงกลางของท่อเอียงก่อนมาทางโรงไฟฟ้าเล็กน้อย ดังรูปที่ 5.1 ใช้ประโยชน์ในการนำพาหนะ เครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุต่างๆเข้ามาทำงาน และใช้เป็นเส้นทางขนส่งที่ได้จากการระเบิดออกไปภายนอกด้วย เนื่องจาก Penstock ขณะทำการก่อสร้างจะถูกขุดลงในทิศทางเดียว Upper Access Tunnel จึงถูกใช้งานในช่วงแรกของการก่อสร้าง แต่เมื่อลงไปถึงความลึกของ Lower Access Tunnel แล้ว เศษวัสดุจะถูกขนออกมาทางอุโมงค์นี้แทน เราจะแบ่งขั้นตอนการก่อสร้างออกตามส่วนต่างๆของ Penstock ได้ดังนี้

1. ท่อแนวนอนช่วงบน

ขุดโดยวิธี Drilling and Blasting ทำการเจาะโดยรถ Jumbo Drill แบบ 3 แขน ในการติดตั้งระเบิดใช้รถจำพวก Loader และใช้รถบรรทุกขนาด 11 ตันในการขนเอาเศษวัสดุออกไปยังบริเวณสำหรับทิ้ง ในการขุดแต่ละรอบได้ระยะประมาณ 2.5 – 4 ม.ตามสภาพชั้นหิน โดยจะต้องเจาะช่องระเบิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 มม. 80 ช่อง และใช้ปริมาณระเบิดประมาณ 1.4 กก./ลบ.ม.

ใช้การ support 3 ชนิดได้แก่ เหล็กค้ำยัน, Rockbolt ยาว 2 – 3 ม. และ Shotcrete type IV ประมาณ 1,900 ตร.ม.

และเนื่องจากมีการก่อสร้างพร้อมๆกัน 2 ท่อ ดังนั้นขณะที่ท่อใดท่อหนึ่งอยู่ในขั้นตอนการขนส่งวัสดุออกไป อีกท่อหนึ่งก็ควรจะอยู่ในขั้นตอนอื่นที่เหลือ เนื่องจากต้องใช้อุโมงค์ที่เป็นทางสำหรับขนส่งร่วมกัน

2. ท่อแนวเอียง

เป็นส่วนที่ยากในการก่อสร้าง เนื่องจากท่อมีความชันสูงไม่ได้อยู่ในแนวราบเหมือนท่ออื่นๆ จึงเกิดปัญหาขึ้นว่าจะเข้าไปทำงานในพื้นที่ลาดชันได้อย่างไร และจะใช้วิธีใดในการขนส่งวัสดุออกมา และคำตอบของปัญหานี้ก็คือ การใช้รางและก๊วหน้าเข้ามาช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงเหล็ก Jumbo ขนาดใหญ่ติดตั้งแขนเจาะ 2 แขน และติดอยู่บนรางถูกสร้างขึ้นมาเฉพาะ ที่โครงเหล็กยังมีตัวดักแบบ Backhoe ติดตั้งอีกด้วย และได้โครงเหล็กขนาดใหญ่ก็มีรถรางขนาดเล็กอยู่ ซึ่งเป็นรถสำหรับบรรทุกเศษวัสดุออกไปทั้งด้านนอก โดยใช้กว้านในการบังคับ ในการระเบิดจะเจาะช่องขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 42 มม. 96 ช่อง ใช้ปริมาณระเบิด 3 – 3.3 กก./ลบ.ม. และการเจาะจะอยู่ที่ 3 ม./ลบ.ม.

การค้ำยันอุโมงค์จะใช้ เหล็กค้ำยัน, Rockbolt ขนาด 2 และ 3 ม. และ Shotcrete เบี่ยงประมาณ 18,000 – 20,000 ตร.ม.

3. ท่อแวนนอนช่วงล่าง

เป็น Penstock ช่วงปลายส่วนล่างที่มีการแยกจาก 2 เป็น 4 ท่อเพื่อเข้าสู่โรงไฟฟ้า สำหรับวิธีในการทำงานก็คล้ายๆกันคือ ใช้รถ Hydraulic Jumbo แบบ 2 แขนเจาะทำการเจาะช่องวางระเบิด และใช้รถ LHD Front End Loader ขนวัสดุมาถึงบริเวณรวบรวม และส่งต่อให้รถบรรทุกขนาด 11 ตันขนออกไป

ความยาวของการเจาะ 3.1 ม. ได้ระยะคืบหน้า 2.8 ม. โดยใช้ปริมาณระเบิดจำเพาะ 1.85 – 2.25 กก./ลบ.ม. มีพื้นที่หน้างานที่ทำพร้อมกันถึง 4 พื้นที่ ขั้นตอนการเจาะ, การระเบิด และการขนวัสดุ จึงสามารถทำได้พร้อมๆกัน

Rock Support ในบริเวณนี้จะแตกต่างกันมาก เนื่องจากขนาดของท่อที่ต่างกันในส่วนท่อย่อย ใช้ Rockbolt ยาว 2 และ 3 ม. กับ Shotcrete type I, II หรือ type II แบบ เบี่ยงประมาณ 2,000 ตร.ม.

Tailrace Tunnel

อุโมงค์ด้านท้ายน้ำเป็นอุโมงค์คอนกรีต มีความยาว 1,430 ม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4.4 – 6.8 ม. และมี 2 อุโมงค์คู่กันเหมือนกับ Penstock เป็นอุโมงค์ที่เชื่อมจากโรงไฟฟ้า ไปจนถึงบริเวณ Outlet และยังเป็นติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆอีกมากมายได้แก่ Draft gate hall, Surge tank และ Tailrace gate shafts

ขั้นตอนการก่อสร้าง

เมื่อจะเริ่มต้นก่อสร้างอุโมงค์ด้านท้ายน้ำนี้ ต้องมีการขุดอุโมงค์สำหรับทำงานก่อนเช่นเดียวกับกรณีของ Penstock อุโมงค์ที่ใช้ในการทำงานของ Tailrace Tunnel มี 2 อุโมงค์ได้แก่ Work Tunnel for Tailrace Upstream และ Work Tunnel for Tailrace Downstream ซึ่งใช้ในการนำเครื่องจักร อุปกรณ์เข้าไป และขนย้ายเศษวัสดุออกมา วิธีการก่อสร้างจะแบ่งตามแต่ละส่วนประกอบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Tailrace Tunnel

สำหรับการก่อสร้างในส่วนของ Tailrace Tunnel นี้ สามารถเริ่มได้จาก 4 ส่วนพร้อมๆ กันได้แก่ ส่วนแรกจาก Work Tunnel for Tailrace Upstream, อีก 2 ส่วนจาก Work Tunnel for Tailrace Downstream และอีกส่วนจะเริ่มจากบริเวณ Outlet

ในการเจาะใช้รถ Hydraulic Jumbo แบบ 3 แขน และวัสดุจากการขุดจะถูกขนโดยรถ CAT 966 Loader มี bucket ด้านข้าง ซึ่งจะส่งต่อให้รถบรรทุกขนาด 11 ตัน เพื่อนำไปทิ้งในบริเวณทิ้งขยะ

การ support ทำโดยใช้ เหล็กค้ำยัน, Rockbolt ยาว 2 และ 3 ม. และ Shotcrete แบบเปียก type I, II, III และ IV ปริมาณที่คาดไว้คือ 58,000 ตร.ม. ความยาวในการเจาะ และความคืบหน้าต่อครั้งการระเบิดควรมีค่า 2.5 – 4 ม. เส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมเจาะมีค่า 45 มม.

ในส่วนของการ Lining (ลาดผิวด้านใน) ช่วงของท่อตั้งแต่โรงไฟฟ้ามาถึงบริเวณ surge tank (ถังลดความดัน) จะมีการลาดผิวเหล็ก และช่วงที่เหลือคือจากบริเวณถังลดความดันไปจนถึง Outlet จะลาดด้วยคอนกรีต

2. Draft Gate Hall, Surge Tank, Tailrace Gate Shafts

ในส่วนประกอบเหล่านี้ หน้าที่ของแต่ละส่วนได้แก่ Draft gate hall และ Tailrace gate shafts เป็นที่ติดตั้งของประตูสำหรับเปิดปิดขณะจะดำเนินการสูบน้ำ หรือผลิตกระแสไฟฟ้า และในส่วนของ Surge tank ทำหน้าที่ลดความดันของน้ำที่ถูกปล่อยลงมาจากอ่างบนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ในการทำงาน แบ่งงานได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของอุโมงค์ต่างๆในแนวนอน และ Shafts ในแนวตั้งอุโมงค์จะถูกขุดจาก Access Tunnel to Powerhouse โดยใช้รถเจาะ Hydraulic Jumbo 2 แขน และ LHD front end loaders ขนาด 4.5 ลบ.ม. ใช้ขนวัสดุออกมาที่จุดรวบรวม และขนออกมาภายนอกโดยรถบรรทุกขนาด 11 ตัน

ในส่วนของ Shafts ต่างๆ Shafts ของ Draft gate hall มีความสูง 17.3 ม. ของ Surge tank สูง 120 ม. และของ Tailrace gate shafts สูง 25 ม. ทุกๆ Shafts ใช้หลักการขุดเหมือนกันคือ มีการเจาะช่องเล็กๆนำร่องไปก่อน (Pilot Shafts) และทำการขยายช่องเหล่านั้นด้วยวิธี RBM (Raise Boring Machine) คือการติดตั้งก้านเจาะลงมาตามช่องของ Pilot Shafts และใส่หัวเจาะที่ด้านล่างของ Shafts ที่จะขุด เป็นการขุดจากล่างขึ้นบน หัวเจาะจะหมุนขึ้นไปขยายช่องให้กว้างขึ้น และขั้นสุดท้ายก็ใช้วิธี Drilling and Blasting เปิดช่องให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้

และมีการติดตั้ง Rock Support กันตามแต่ละชนิดของ Shafts โดยทั่วไปจะใช้ Rockbolt และ Shotcrete

ในการตาดผิวดคอนกรีตภายใน ส่วนของ Surge & Tailrace Shafts ใช้ระบบ Slipform และสำหรับ Draft Gate Shafts ซึ่งเป็นปล่องสี่เหลี่ยม และไม่สูงมากนักจึงใช้การตาดผิวดแบบปกติได้

โรงไฟฟ้าใต้ดิน

ส่วนของโรงไฟฟ้าใต้ดินถือได้ว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของโครงการ เพราะเป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าขนาด 250 MW จำนวน 4 เครื่อง มีกำลังผลิตทั้งหมด 1,000 MW เมื่อโครงการเสร็จสมบูรณ์ โรงไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็น Large rock cavern อยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 350 ม. มีขนาดกว้าง 23 ม. ยาว 175 ม. และสูง 47 ม. ภายในโรงไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนสำคัญได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า มอเตอร์ และ Pump-Turbine ซึ่งเป็นชิ้นส่วนเดียวกันสามารถหมุนกลับได้ สำหรับการปฏิบัติงานใน 2 ระบบคือ การสูบน้ำ และการผลิตกระแสไฟฟ้า

ขั้นตอนการก่อสร้าง

1. ก่อนที่จะมีการก่อสร้างอุโมงค์โรงไฟฟ้าใต้ดิน ในขั้นตอนแรกสุดจะมีการเจาะสำรวจชั้นหิน โดยอุโมงค์ที่เรียกว่า Exploratory Tunnel และเมื่อได้ใช้ประโยชน์จากการสำรวจหินเรียบร้อยแล้ว อุโมงค์นี้ภายหลังจะเป็นอุโมงค์ระบายน้ำของโรงไฟฟ้า (Drainage Tunnel)

2. ในขั้นต่อมา จะมีการขุดอุโมงค์เพื่อใช้ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า และขนย้ายวัสดุ ซึ่งอุโมงค์ที่เกี่ยวข้องจะมีทั้งหมด 3 อุโมงค์ คือ Access Tunnel to Top Gallery, Access Tunnel for Arch Heading และ Access Tunnel for Powerhouse ดังแสดงในรูป 5.1

Access Tunnel for Top Gallery เป็นอุโมงค์กว้างขนาด 3 ม. ที่อยู่เหนือหลังคาของโรงไฟฟ้าขึ้นไปประมาณ 18 ม. อุโมงค์นี้จะทำหน้าที่ยึดรั้งชั้นหินบริเวณที่จะสร้างหลังคาโรงไฟฟ้าด้วยลวดสลิงแรงดึงสูง (Pre-Stressed Rock Anchor) โดยในช่วงก่อนที่จะเริ่มงานขุดระเบิดอุโมงค์โรงไฟฟ้าจำเป็นต้องเสริมความมั่นคงของหินบริเวณเหนือหลังคาโรงไฟฟ้าด้วยการติดตั้งลวดสลิงแรงดึงสูง (Pre-Stressed Rock Anchor) จากพื้น Top Gallery ลงไปถึงหลังคาโรงไฟฟ้าด้วยความยาวของลวดประมาณเส้นละ 17.5 – 18.5 m. โดยจะมี Pre-Stressed Rock Anchor จำนวน 6 เส้นรวมกันเป็น 1 ตัว และมีจำนวนทั้งหมด 464 ตัว ยึดรั้งหลังคาโรงไฟฟ้า

Access Tunnel for Arch Heading เป็นอุโมงค์ที่ขุดแยกมาจาก Access Tunnel for Powerhouse เช่นเดียวกับ Access Tunnel to Top Gallery ใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างในส่วนหลังคาของโรงไฟฟ้าที่มีลักษณะโค้ง ซึ่งเป็นส่วนแรกที่จะเริ่มขุดในตัวโรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Access Tunnel for Powerhouse เป็นอุโมงค์หลักในการเข้ามาทำงานบริเวณโรงไฟฟ้าใต้ดิน โดยอุโมงค์นี้ขุดแยกออกมาจาก Exploratory Tunnel ที่ได้สร้างไว้ก่อนแล้ว เข้าไปเชื่อมตรงส่วนกลางของโรงไฟฟ้า และมีอุโมงค์ย่อยมากมายแยกออกไปจากอุโมงค์นี้

3. ขั้นตอนต่อไปคือ การเริ่มขุดตัวโรงไฟฟ้า โดยจะเริ่มในบริเวณ Arch Heading เป็นส่วนแรก ใช้วิธี Drilling and Blasting ในการขุด โดยในแต่ละรอบจะได้ความลึกในการขุดอุโมงค์ประมาณ 3 เมตร หลังจากทำการขุดอุโมงค์ในแต่ละรอบเสร็จ จะต้องมีการเสริมความมั่นคงของผนังหินโดยรอบแบบชั่วคราวก่อน ด้วยการติดตั้ง Rockbolt ความยาว 5 ม. ระยะห่าง (Spacing) 1.5 ม. และมีการใช้ Shotcrete ซึ่งเป็นชนิด SFERS (Steel Fiber Reinforced Shotcrete) เป็น Shotcrete ที่มีการผสมลวดเหล็กขนาด 1" หน้า 0.889 มม. ในปริมาณ 100 กก. ต่อปริมาณคอนกรีต 1 ลบ.ม. ส่วนวัสดุต่างๆที่ได้จากการระเบิดจะขนถ่ายออกทาง Access Tunnel for Arch Heading ในช่วงแรกของการขุด และออกทางอุโมงค์ทางเข้าโรงไฟฟ้าในระดับที่ต่ำลงมา

สำหรับการ support ถาวร จะติดตั้ง Pre-Stressed Rock Anchor ความยาว 15 ม. ซึ่งมีระยะห่างแต่ละจุด (Spacing) 1.5 ม. สลับไปกับ Rockbolt ที่ติดตั้งก่อน

4. หลังจากนั้นทำการเจาะและระเบิดในระดับต่ำลงมาเรื่อยๆ โดยในระดับความสูงช่วงกลางของตัวโรงไฟฟ้า สภาพของชั้นหินแข็งแรงขึ้น (Sandstone) ระยะห่างของการค้ำยันจึงมากขึ้น โดยจะมีระยะประมาณ 3 ม. แต่เมื่อถึงช่วงล่างของโรงไฟฟ้าจะพบ Siltstone อีกครั้ง การค้ำยันจะทำในระยะห่าง 1.5 ม. เช่นเดิม

บทที่ 6

Outlet

ทั่วไป

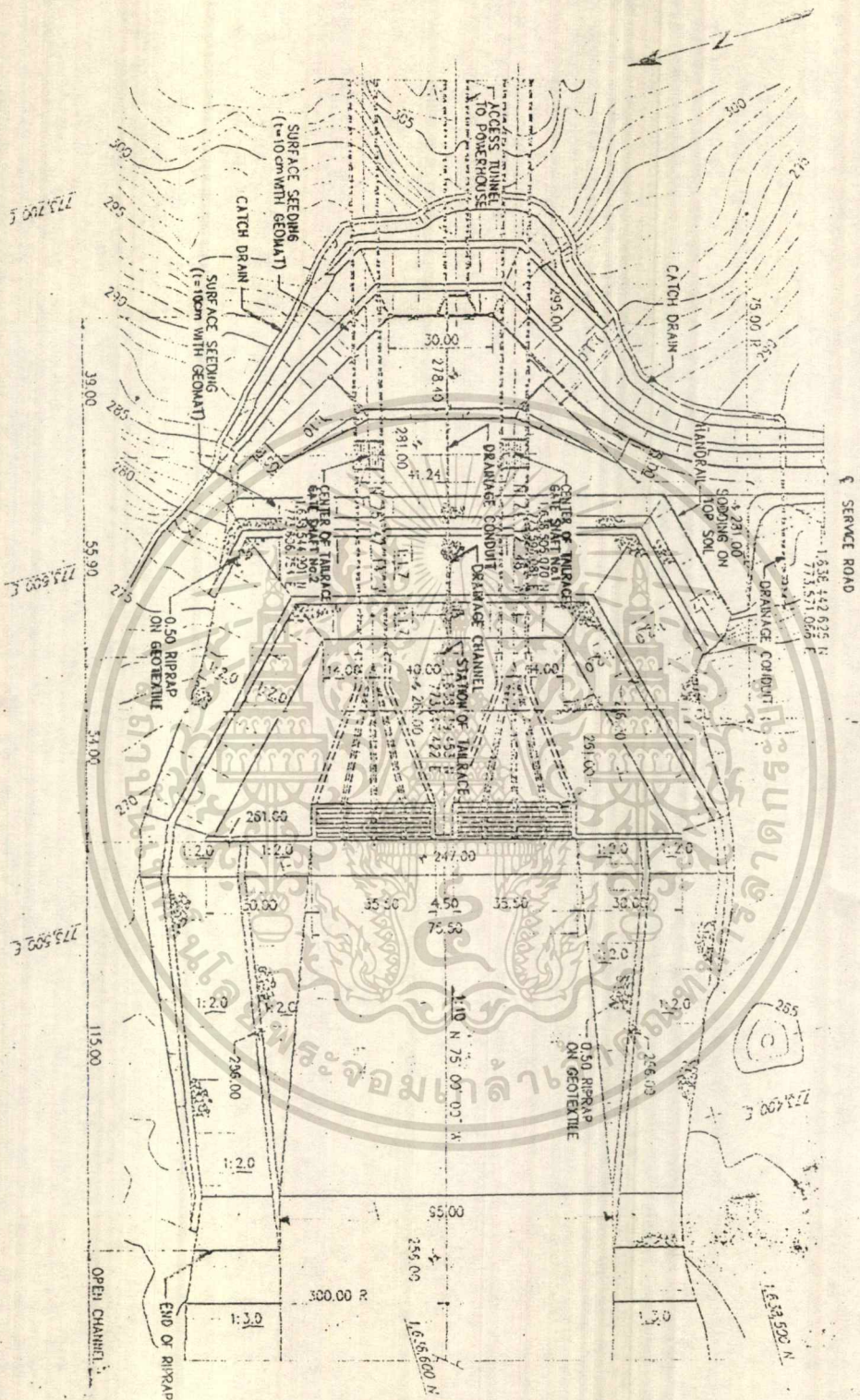
Outlet เป็นบริเวณที่ใช้สำหรับปล่อยน้ำออกมาหลังจากผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว โดย Outlet จะเป็นส่วนหนึ่งของอ่างเก็บน้ำลำตะคอง มีลักษณะเป็นแบบ Continuous Box Culvert 4 ช่อง ขนาดกว้างตั้งแต่ 6.8 ม.จนถึง 32.5 ม. สูงตั้งแต่ 6.8 ม.จนถึง 10 ม. และยาวประมาณ 54 ม. ซึ่งรูปแปลนของ Outlet จะแสดงในรูปที่ 6.1

ขั้นตอนการก่อสร้าง

ขั้นแรกจะทำการก่อสร้างเขื่อนที่ใช้สำหรับกันน้ำที่เรียกว่า Cofferdam ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.2 และ 6.3 โดยวัสดุที่นำมาทำเป็น Cofferdam ได้จากเศษวัสดุที่มาจากการขุดในบริเวณต่างๆ และถูกคัดเลือกแล้ว โดยในการถมจะใช้วัสดุประเภท Random fill คือนำวัสดุทุกชนิดที่ได้จากการขุดขึ้นมาถมทำเป็นเขื่อน วัสดุหินถมแบบหยาบจะอยู่บริเวณนอกสุดโดยอยู่ด้านที่ติดกับน้ำ ส่วนวัสดุแบบละเอียดจะถูกนำมาถมบริเวณแก่นกลางของตัวเขื่อน และกำหนด Slope ของเขื่อนด้านบริเวณการก่อสร้างเป็น 1:25 และด้านนอกบริเวณสัมผัสกับน้ำเป็น 1:20 จะทำการถมในทิศทางออกไปจากฝั่ง และเมื่อความยาวของการถมเพียงพอแล้วก็จะมีการบดอัดด้วยรถบดสั่นสะเทือน

เมื่อทำการก่อสร้าง Cofferdam เสร็จจะสูบน้ำด้านบริเวณที่จะทำการก่อสร้างออกให้หมด เพื่อให้สามารถดำเนินการขุดอุโมงค์ด้านท้ายน้ำได้ ซึ่งอุโมงค์นี้ก็คือ Tailrace Tunnel สำหรับการขุดในระดับที่อยู่เหนือน้ำจะใช้วิธีขุดตามปกติคือ ใช้รถขุดในส่วนที่เป็นดินหรือหินอ่อนๆ และ Drilling and Blasting ในส่วนที่เป็นหิน

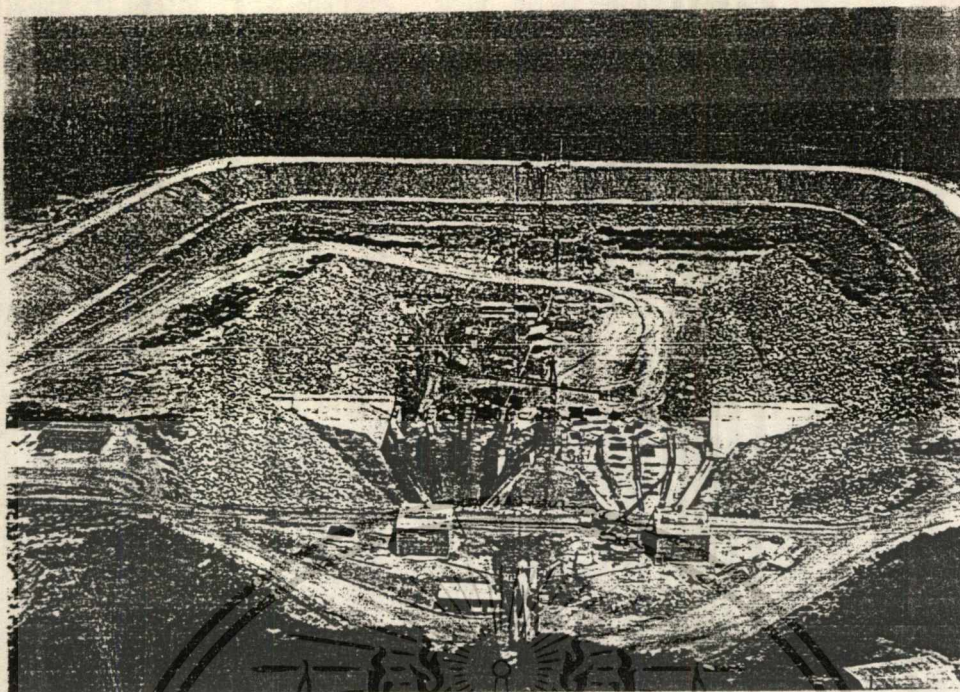
สำหรับการขุดในบริเวณใต้น้ำเพื่อกำหนดทิศทางให้น้ำที่ออกมาจาก Outlet ไหลไปตามทางคั่นคูอ่างเก็บน้ำด้านล่าง จะใช้เครื่องหรือรถขุดเช่นเดียวกับการขุดบนดิน แต่จะทำการติดตั้งไว้บนปิ๊ะหรือแพลอยน้ำ ในการขุดบริเวณนี้ไม่ได้ออกแบบลักษณะที่จะต้องขุดเป็นพิเศษเพื่อลดความเร็วของน้ำอีกแต่อย่างใด เนื่องจากมีกระบวนการลดความเร็วของน้ำหลังจากที่ได้ใช้ผลิตไฟฟ้าแล้ว



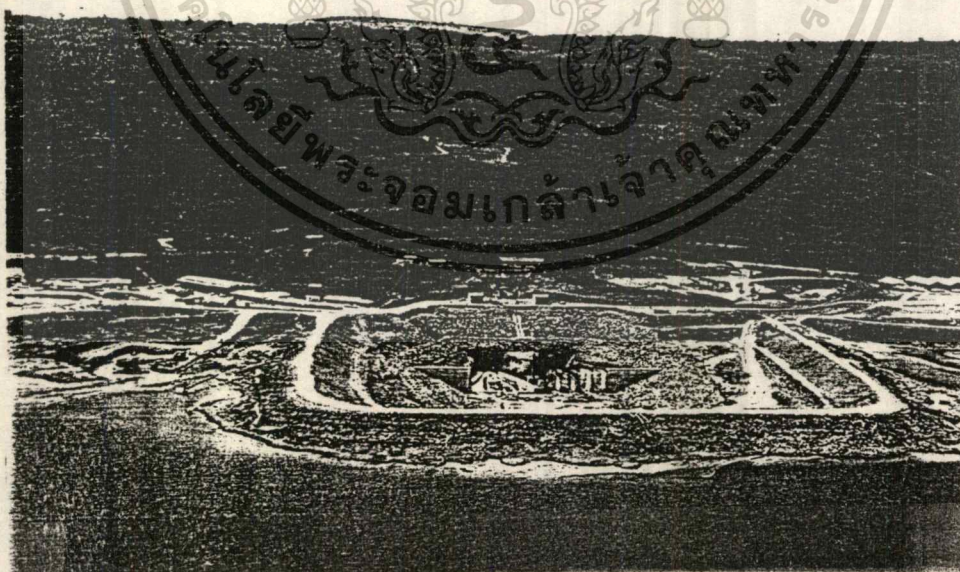
รูปที่ 6.1 รูปแปลนพร้อมรายละเอียดบริเวณ Outlet

(ที่มา : EGAT, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 บริเวณ Cofferdam ของ Outlet (มองไปทางทิศตะวันตก)



รูปที่ 6.3 บริเวณ Cofferdam ของ Outlet (มองไปทางทิศตะวันออก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการลดความดันและความเร็วของน้ำบริเวณ Outlet

เมื่อทำการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว จะมีน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาจากโรงไฟฟ้าได้ดิน โดยจะออกมาทางท่อย่อย (Bifurcation) ทั้ง 4 ท่อ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อละ 4.4 ม. และจะมาจับคู่รวมกันเหลือเพียง 2 ท่อ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อละ 6.8 ม. และช่วงต้นของท่อขนาด 6.8 ม. จะมีถังลดความดัน (Surge Tank) ติดตั้งอยู่ ซึ่งมีความสูงถึง 120 ม. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 ม. เมื่อน้ำไหลเข้าไปภายในถังลดความดัน การไหลของน้ำจะเป็นการไหลแบบน้ำวนคือ น้ำจะไหลขึ้นไปถึงจุดสูงสุดของถังลดความดัน แล้วหมุนพร้อมทั้งวนไปมาและไหลตกลงมา

หลังจากกระบวนการลดความดันนี้ น้ำจะไหลต่อไปตาม Tailrace Tunnel ซึ่งมีความยาวมากถึง 1,430 ม. และท่อนี้ยังมีความชันในทิศทางขึ้นสู่ผิวดินเล็กน้อยด้วยประมาณ 1:15 และเมื่อใกล้ถึงทางออกจะกลายเป็น 1:56 ทำให้ความดันและความเร็วของน้ำลดลงมาเรื่อยๆ ตามลำดับ

และท้ายที่สุดเมื่อน้ำไหลออกมาถึงบริเวณ Outlet ขนาดของท่อจะค่อยๆขยายใหญ่ขึ้นจาก 6.8 ม. เป็นประมาณ 37.5 ม. ที่ปากท่อ และเป็น 100 ม. บริเวณต้นทางที่จะให้น้ำไหลออกไปสู่อ่างเก็บน้ำด้านล่าง ทำให้ความดันและความเร็วที่มากมายมหาศาลของน้ำเมื่อถูกปล่อยลงมาจากอ่างเก็บน้ำด้านบน ได้ค่อยๆลดลงจนหมดไป จึงไม่เกิดความเสียหายแก่หน้าดินหรือบริเวณตลิ่งของอ่างเก็บน้ำด้านล่าง

ซึ่งในการเปลี่ยนขนาดของท่อนั้นไปสอดคล้องกับหลักของ Hydraulics ที่บอกว่าความเร็วของน้ำ (ม./วินาที) หาได้จาก ค่ากระแสน้ำ (ลบ.ม./วินาที)หารด้วย พื้นที่ (ตร.ม.) หรือแสดงได้ดังสมการที่ 6.1

$$V = Q / A$$

$$Q = V A$$

และถือว่ากระแสน้ำที่ไหลผ่านในท่อไม่สูญหายไปไหน จะได้สมการที่ 6.2 คือ

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

จากสมการจะเห็นว่า เมื่อพื้นที่หน้าตัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นโดยที่กระแสน้ำมีค่าคงที่ จะทำให้ความเร็วมีค่าลดน้อยลง

บทที่ 7

สรุปและผลที่ได้รับ

สรุป

เราสามารถสรุปเทคนิคที่ใช้ในการทำงานก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ กรณีศึกษาโครงการลำตะคองได้ดังนี้

1. อ่างเก็บน้ำด้านบน

- การขุด ใช้ทั้งการขุดทั่วไป และ Drilling and Blasting
- การถม นำวัสดุที่ได้จากการขุดมาถม ใช้หลัก Balanced Material
- การตาดผิวแอสฟัลต์ เทแอสฟัลต์ และบดอัดตาม Specification (ตารางที่ 4.3) เป็นอ่างเก็บน้ำแห่งแรกในประเทศไทยที่ตาดผิวแบบนี้

2. อุโมงค์ Penstock

- ใช้เทคนิค Drilling and Blasting โดยมีการใช้อุปกรณ์พิเศษในช่วงของท่อเฉียงได้แก่ Full Face Down Equipment เป็นโครงเหล็กขนาดใหญ่วิ่งบนราง ทำหน้าที่ทั้งเจาะระเบิดและตักเศษวัสดุให้รกรางขนาดเล็กนำไปทิ้ง

3. โรงไฟฟ้า

- ใช้เทคนิค Drilling and Blasting
- มีการค้ำยันด้วย Prestressed Rock Anchor
- ใช้ Shotcrete แบบ SFRS (Steel Fiber Reinforce Shotcrete)

4. Tailrace Tunnel

- ใช้เทคนิค Drilling and Blasting
- Shaft ต่างๆ ในบริเวณนี้ ขุดด้วยวิธี RBM (Raise Boring Machine)

5. Outlet

- ใช้การขุดแบบทั่วไป
- มีการทำ Cofferdam เพื่อสะดวกในการก่อสร้าง Outlet

Drilling and Blasting เป็นเทคนิคที่ใช้ทำงานกับหิน โดยเจาะหลุมฝังระเบิด แล้วทำการระเบิดเพื่อแยกหินออกมา วัสดุระเบิดที่ใช้คือ ANFO และ Emulite ในปริมาณ ANFO 90% และ Emulite 10% บางครั้งเมื่อทำการระเบิดแล้วมี Overbreak มากเกินไป หรือต้องการให้ระเบิดได้หน้าตัดที่เรียบจะมีการนำเทคนิค Pre-splitting หรือ Smooth Blasting มาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการสร้างอุโมงค์ เรียบเรียงได้ดังนี้

1. Drilling and Blasting
2. Mucking (การขนย้ายเศษวัสดุ)
3. Supporting (การค้ำยัน)
4. Monitoring (การตรวจวัดสภาพ)

ผลที่ได้รับ

1. ได้ทราบถึงลักษณะการทำงาน และส่วนประกอบของระบบสูบลับ
2. ได้ทราบถึงเทคนิคการก่อสร้างที่ใช้ในโครงการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ A1 List of Construction Equipment and Plant of the Joint Venture

Description Type , Model , Make	Number of Each	Year of Manufacture	Rated Capacity or Power	Origin (Country)	Age Years or New	Owned (O) Leased (L) Purchase (P)
A.Earthmoving Plant						
Dozer Caterpillar D8N	1	1992	285 Hp	USA	3	P
Dozer Caterpillar D7H	2	1991	230 Hp	USA	4	P
Dozer Caterpillar D6H	2	1991	170 Hp	USA	4	P
Dozer Caterpillar D6H	2	1995	170 Hp	USA	-	P
Dozer Caterpillar D4H	1	1995	95 Hp	USA	-	P
Loader Caterpillar 966E	3	1995	3.7 m ³	USA	-	P
Loader Caterpillar 950B	1	1995	2.7 m ³	USA	-	P
Loader Caterpillar 928E	1	1995	2.0 m ³	USA	-	P
Loader Excavator FAI 932	1	1995	1.0 m ³	USA	-	P
Excavator Caterpillar 325E	2	1995	1.0 m ³	USA	-	P
Excavator Caterpillar 350E	2	1995	1.5 m ³	USA	-	P
Grader Caterpillar 12G	1	1995	120 Hp	USA	-	P
Compactor Dynapac CA51	2	1995	25 Ton	USA	-	P
Compactor Dynapac CA25	1	1995	15 Ton	USA	-	P
Pad & Plate Compactor	2	1995	N/A	USA	-	P
Dump Truck Nissan CW430	15	1995	15 Ton	Japan	-	P
Dump Truck Nissan CW430	11	1990	15 Ton	Japan	5	P
Water Truck Nissan CW430	5	1995	10000 lts	Japan	-	P
Earthwork Small Tools	1	1995	N/A	USA	-	P
B. Tunneling Equipment						
Atlas Copco Boomer 3 Booms	1	1995	3 Boom	Sweden	-	P
Atlas Copco Boomer 2 Booms	1	1995	2 Boom	Sweden	-	P
Atlas Copco Boomer 1 Booms	1	1995	1 Boom	Sweden	-	P
Atlas Copco Gantry Jumbo 2 Booms	1	1995	2 Boom	Sweden	-	P
Atlas Copco Rock Bolt Jumbo	2	1995	1 Boom	Sweden	-	P
Atlas Copco Down the Hole Hammer	2	1995	N/A	Sweden	-	P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description Type , Model , Make	Number of Each	Year of Manufacture	Rated Capacity or Power	Origin (Country)	Age Years or New	Owned (O) Leased (L) Purchase (P)
Air Track Atlas Copco LH 512HC	1	1995	1 Boom	Sweden	-	P
Air Track Tamrock Commando 100	1	1995	1 Boom	Sweden	-	P
Pusher Leg Atlas Copco BBC-17A	6	1995	N/A	Sweden	-	P
Loader Caterpillar 966F S.Bucket	1	1994	3.7 m ³	USA	1	P
Loader Caterpillar 950F U.Bucket	1	1995	2.0 m ³	USA	-	P
Tunnel Loader Wagner ST-5B	3	1994	4 m ³	USA	-	P
Rail Mount Hydraulic Excavator Loader	1	1995	0.5 m ³	USA	-	P
Loader Caterpillar 928F	1	1995	2.0 m ³	USA	-	P
Dozer Caterpillar D7H	1	1995	230 Hp	USA	-	P
Dump Truck Nissan CW30	6	1995	15 Ton	Japan	-	P
Muck Car Rail Mount	2	1995	3.0 m ³	USA	-	P
Service Flat Car Rail Mount	2	1995	N/A	USA	-	P
Air Compressor Atlas Copco (Electric)	4	1995	21 m ³ /min	Sweden	-	P
Ventilation Fan d 1500 mm	1	1995	100 Kw	USA	-	P
Ventilation Fan d 1200 mm	3	1995	90 Kw	USA	-	P
Ventilation Fan d 600 mm	4	1995	60 Kw	USA	-	P
Ventilation Fan d 300 mm	6	1995	15 Kw	USA	-	P
Mine Winch 20 m/m 15 Ton	1	1995	15 Ton	USA	-	P
Mine Winch 20 m/m 10 Ton	1	1995	10 Ton	USA	-	P
Mine Winch 80 m/m 8 Ton	1	1995	8 Ton	USA	-	P
Mine Winch 20 m/m 8 Ton	2	1995	8 Ton	USA	-	P
Concrete Pump Cifa (Electric)	2	1995	40 m ³ /Hr	Italy	-	P
Wet Shotcrete Pump Cifa (Electric)	3	1995	20 m ³ /Hr	Italy	-	P
Cifa Tunnel Formwork Carrier	2	1995	N/A	Italy	-	P
Submerge Pump	6	1995	20 Kw	USA/Japan	-	P
Concrete Small Tools	1	1995	N/A	Italy	-	P
C. Concrete & Screening Plant						
Concrete Batching Plant Cifa 52 M	1	1991	100 m ³ /Hr	Italy	4	P
Concrete Batching Plant Cifa Personal4	1	1990	40 m ³ /Hr	Italy	5	P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description Type , Model , Make	Number of Each	Year of Manufacture	Rated Capacity or Power	Origin (Country)	Age Years or New	Owned (O) Leased (L) Purchase (P)
Ice Plant Sabroe	2	1995	10 Ton/Hr	USA	-	P
Ice Storage Container	2	1995	40 Ton	Japan	-	P
Crushing Plant	1	1995	100 Ton/Hr	USA/Italy	-	P
Mobile Concrete Mixing Plant	1	1995	0.50 m ³	Italy	-	P
Concrete Transit Mixer Nissan CW30	4	1995	5 m ³	Japan	-	P
Cifa Truck Mount Concrete Pump K909-32	1	1991	60 m ³ /Hr	Italy	4	P
Air Compressor Atlas Copco XA85Dd	3	1991	10 m ³ /min	Sweden	4	P
Resteel Tools	1	1995	N/A	Italy	-	P
D. Drilling & Grouting Plant						
Air Track Drill Ingersolland CM 351	4	1995	1 Boom	USA	-	P
Atlas Copco Craelius 262 Core Drilling	2	1995	N/A	Sweden	-	P
Air Compressor Ingersolland XA750	4	1995	21 m ³ /min	USA	-	P
Rock Drill Atlas Copco	8	1995	N/A	Sweden	-	P
Rock Breaker Atlas Copco	8	1995	N/A	Sweden	-	P
Grouting Pump Atlas Copco Trido 40E	2	1995	N/A	Sweden	-	P
Turbo Mixer Atlas Copco	3	1995	N/A	Sweden	-	P
Grouting Gages & Recorders	4	1995	N/A	Sweden	-	P
E. General Plant						
Toyota Corolla	1	1995	80 Hp	Japan	-	P
Pickup Toyota Hilux	27	1995	90 Hp	Japan	-	P
Ambulance Toyota Hilux	1	1995	90 Hp	Japan	-	P
Suzuki 4 WD	5	1994	80 Hp	Japan	1	P
Isuzu Flat Bed Truck	1	1995	100 Hp	Japan	-	P
Manual Hino KM779	5	1994	100 Hp	Japan	1	P
Crane Truck Nissan UG780	4	1994	3 Ton	Japan	1	P
Crane Truck Nissan CW30	1	1994	7 Ton	Japan	1	P
Fuel Maintenance Truck Nissan UG780	4	1992	100 Hp	Japan	3	P
Trailer Nissan CW430	2	1992	280 Hp	Japan	3	P
Mobile Crane Tadano TG-200	3	1993	20 Ton	Japan	2	P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้อ้างอิงเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ให้ผู้อื่นได้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description Type , Model , Make	Number of Each	Year of Manufacture	Rated Capacity or Power	Origin (Country)	Age Years or New	Owned (O) Leased (L) Purchase (P)
Tower Crane Comdil	1	1991	2.5 Ton	Italy	1	P
Electric Generator Caterpillar	2	1992	180 Kw	USA	3	P
Electric Generator 20 Kw	6	1995	20 Kw	Japan	-	P
Electric Generator 5 Kw	6	1995	5 Kw	Japan	-	P
Various Water Pump	4	1995	5 Kw	USA	-	P
Water Pump Ebara	5	1995	20 Kw	Japan	-	P
Water Pump Flyght	5	1995	55 Kw	USA	-	P
Monò Screw Pump	3	1995	N/A	USA	-	P
Office Container 20 ft	1	1995	20 ft	Thailand	-	P
Storage Container 20 ft	1	1995	20 ft	Thailand	-	P
Workshop Various Tools	1	1995	N/A	USA	-	P
Wild Survey Equipment (Complete)	1	1995	N/A	Switzerland	-	P
Laboratory Equipment (complete)	1	1995	N/A	Italy	-	P
Radio & Communication System	1	1995	N/A	Japan	-	P
Electric Transfor 500 Kva	2	1992	500 Kva	Thailand	3	P
Electric Transfer 250 Kva	4	1992	250 Kva	Thailand	3	P
Electric Transfer 160 Kva	6	1992	160 Kva	Thailand	3	P
Office Equipment (Complete)	1	1995	N/A	N/A	-	P
Toilet Containers	4	1995	N/A	Thailand	-	P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ A2 Type of Shotcrete

APPLICATION	TYPE	THICKNESS (cm)	REINFORCEMENT
Open Surface	0	7	None
Tunnel and Shaft	I	7	None
	II	10	None
	III	10	Wiremesh
	IV	15	Wiremesh
	V	20	Wiremesh
Powerhouse	VI	8	Steel Fiber
Cavern	VII	16	Steel Fiber
	VIII	24	Steel Fiber

ตารางที่ A3 Type of Rockbolt

TYPE	I	II	III	IV	*
LENGTH (m)	2	3	4	5	1.5
DIAMETER (mm)	25	25	25	25	25

ตารางที่ A4 Instrumentation Items

Items	Instruments	Number	Time Interval
Deformation monitoring	Convergence measurements by EDM method	5 section (A - E) , 33 points	once a day or as directed
Rock displacement	Multiple extensometers L = 18 m (4 stages)	3 sections (A ,B,C) , 6 pieces	once a day or as directed
	L = 15 m (4 stages)	3 sections (A ,B,C) , 3 pieces	
Induced force in prestressed rock anchors	Disc load cells	35 pieces	once a day or as directed

ตารางที่ A5 EMBANKMENT STANDARD

Material	Description	Zone	Zone Thickness (cm)	Grading	Compaction 1) , 2)	Standard Values for control
Transition A	Processed sandstone from required excavation or processed limestone	2A	Slope : 38	2nd Layer Dmax = 30 mm	Slope t2 = 8 cm , 4*passes t1 = 30 cm , 4**passes	Dry density $\geq 1.80 \text{ t/m}^3$ In-situ Coefficient of Permeability K $\geq 1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$
			Bottom : 30	1st Layer Dmax = 100 mm -0.075mm<10%	Bottom t2 = 10 cm , 4 passes t1 = 20 cm , 4 passes t = 50 cm , 4 passes	Dry density $\geq 1.80 \text{ t/m}^3$ In-situ Coefficient of Permeability K $\geq 5 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ Dry density $\geq 1.80 \text{ t/m}^3$
Transition B	Processed sandstone from required excavation or processed limestone	2B	400 (in width)	Dmax = 300 mm -0.075 mm<8%		
Rockfill	Sandstone from required excavation	3A		Dmax = 80 cm	t = 100 cm , 4 passes	Dry density $\geq 1.80 \text{ t/m}^3$
Random Rock	Sandstone and Claystone from required excavation	3B		Dmax = 100 cm	t = 120 cm , 4 passes	Dry density $\geq 1.70 \text{ t/m}^3$
Random fill	Claystone and residual soil from required excavation	3C		Dmax = 100 cm	t = 120 cm , 4*** passes	Dry density $\geq 1.80 \text{ t/m}^3$
Protective Layer	Processed sandstone from required excavation or processed limestone		40	Dmax = 30 cm	t = 40 cm , 4 passes	
Drainage Layer	Sandstone from required excavation		100	Dmax = 60 cm -4.76 mm<25% -0.075mm<5%	t = 100 cm , 4 passes	In - situ Coefficient of Permeability K $\geq 1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$

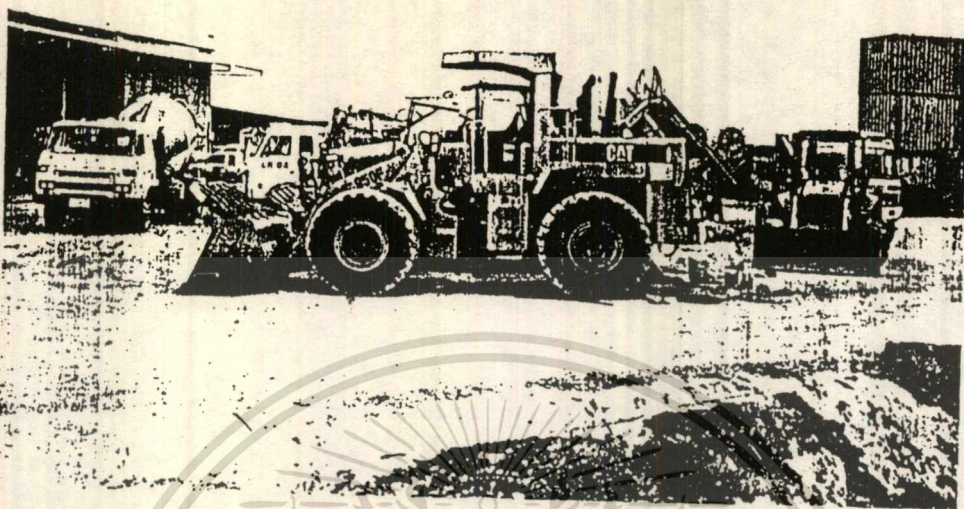
Note 1) L:thickness after compaction

2) 13.5 ton class vibrating roller should be used for compaction at a speed of less than 4 km/h.

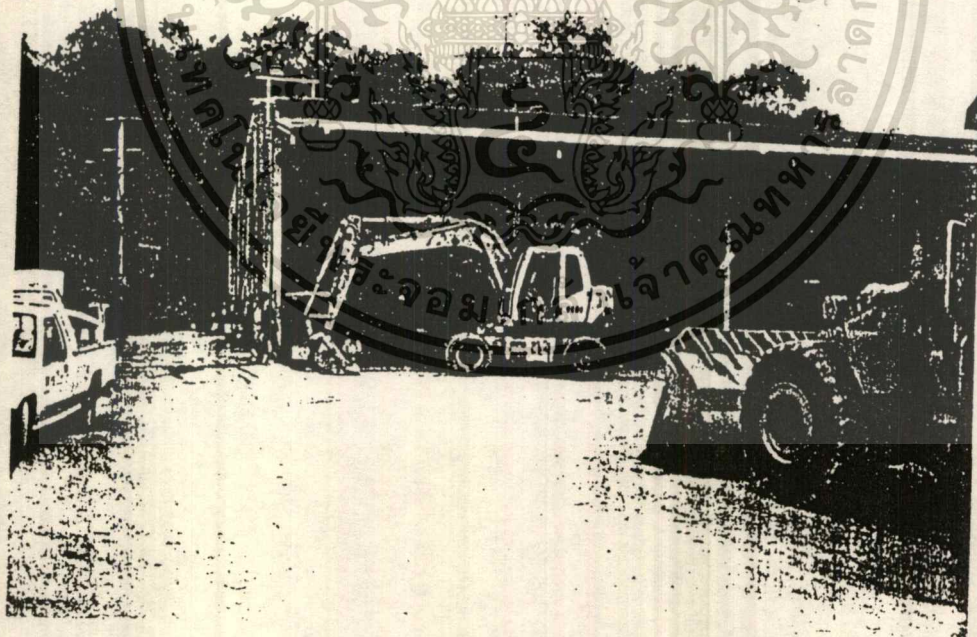
*) 1.4 ton class vibrating roller should be used for compaction

**) 8.0 ton class vibrating roller should be used for compaction

***) 30 ton class pneumatic type roller may be adopted for this zone

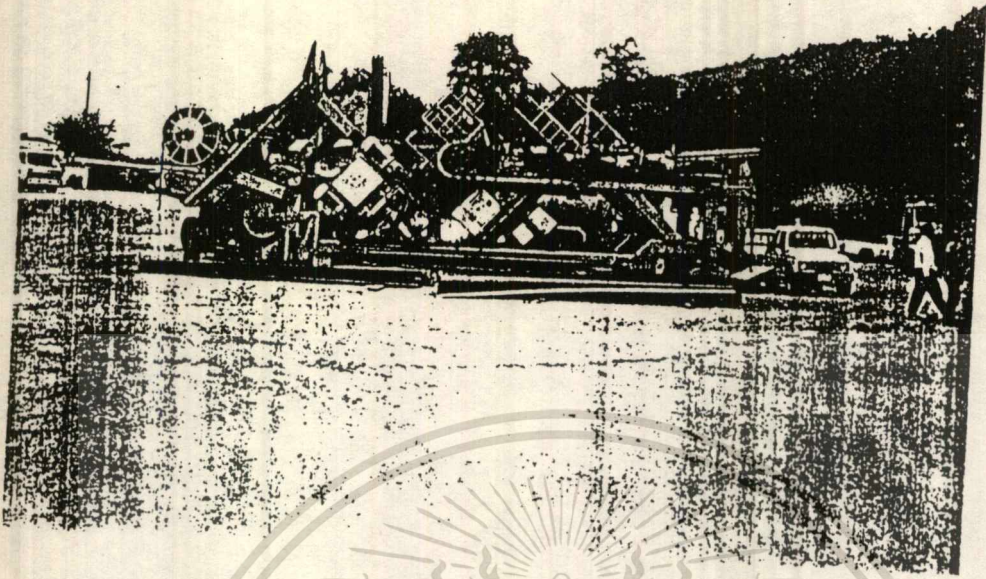


รูปที่ A1 รถตักดินจำพวก Loader

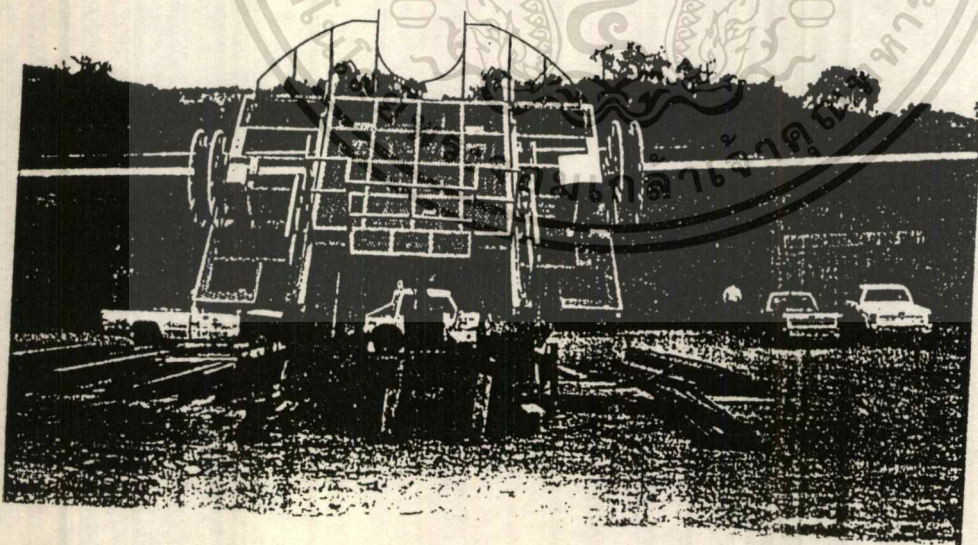


รูปที่ A2 รถ Backhoe ใช้ในการตักดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

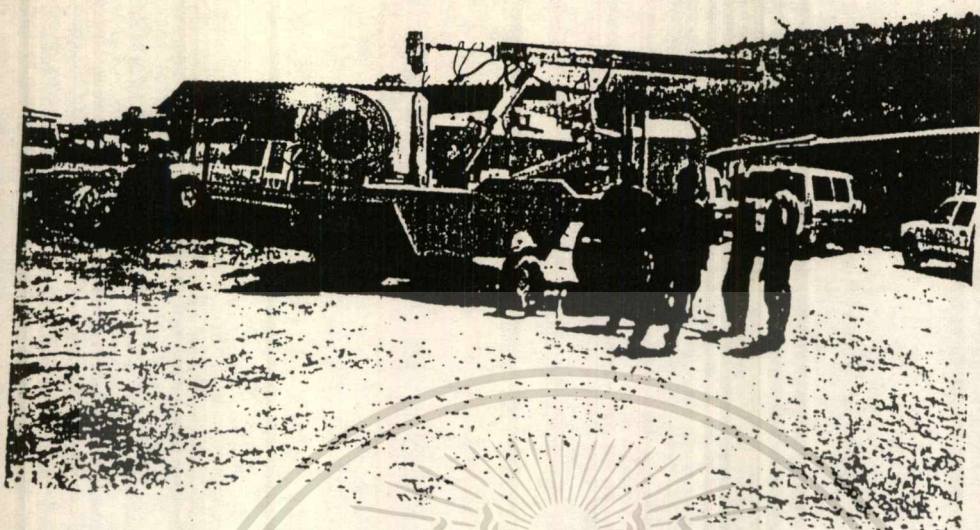


รูปที่ A3 Full Face Down Equipment ใช้เจาะอุโมงค์เฉียง

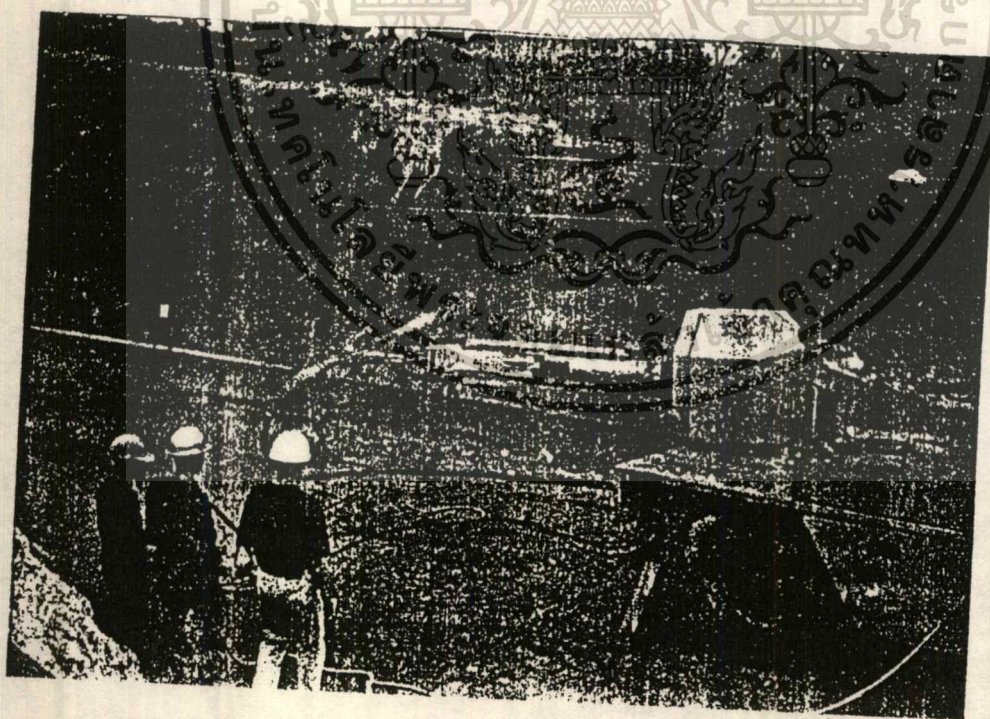


รูปที่ A4 Full Face Down Equipment ทางด้านหลัง :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

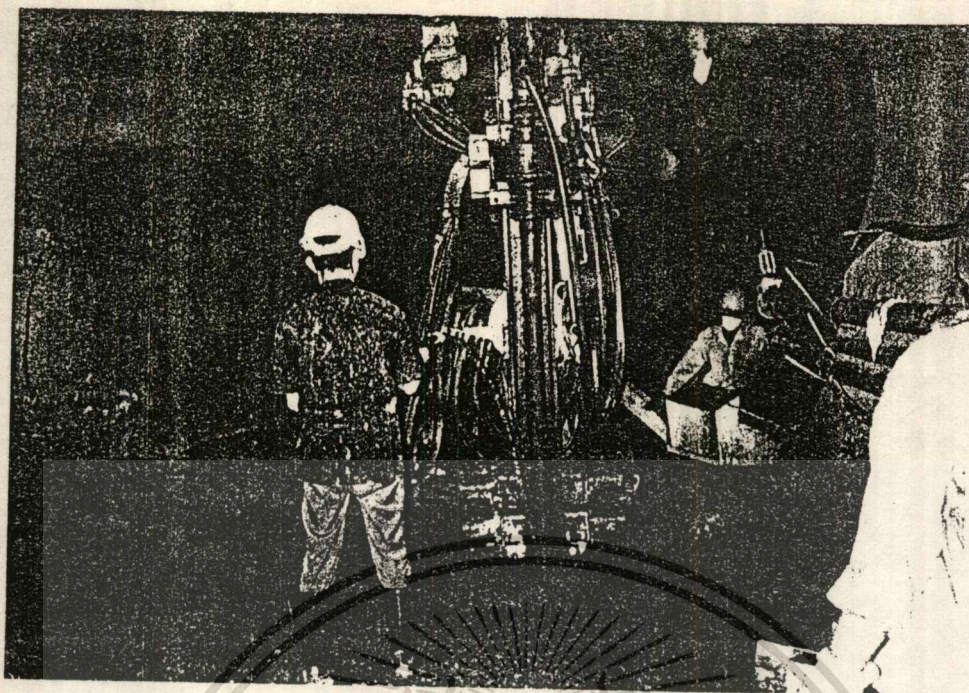


รูปที่ A5 รถสำหรับพ่น Shotcrete

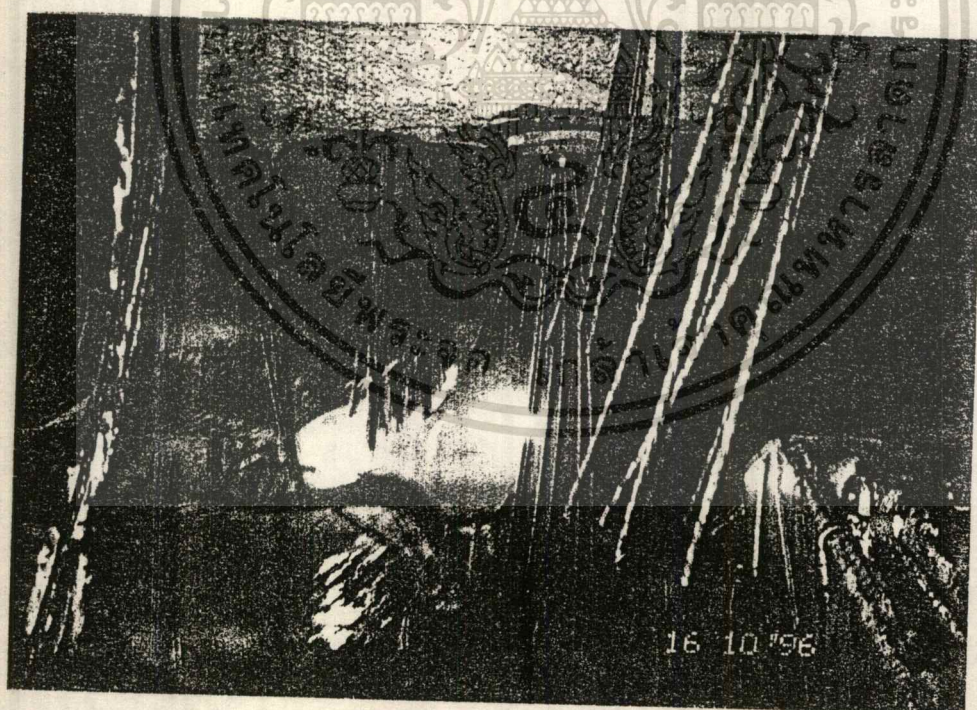


รูปที่ A6 การพ่น Shotcrete

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

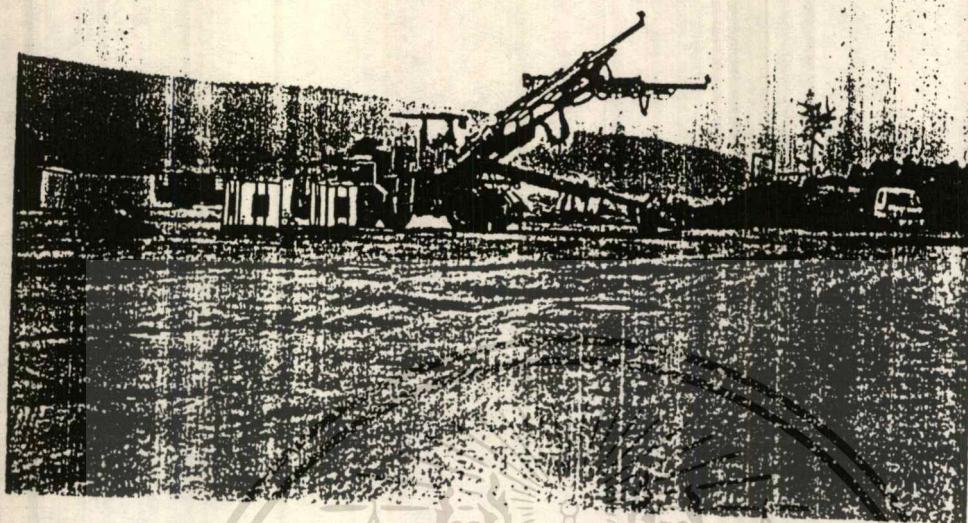


รูปที่ A7 เครื่องมือเจาะ Prestressed Rock Anchors

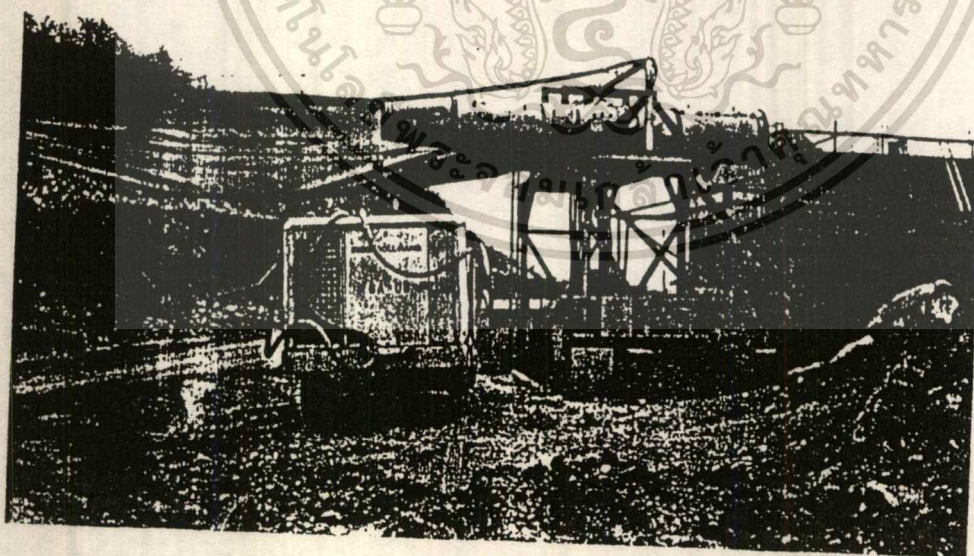


รูปที่ A8 ส่วนปลายของ Prestressed Rock Anchors ที่ยังไม่ได้ตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

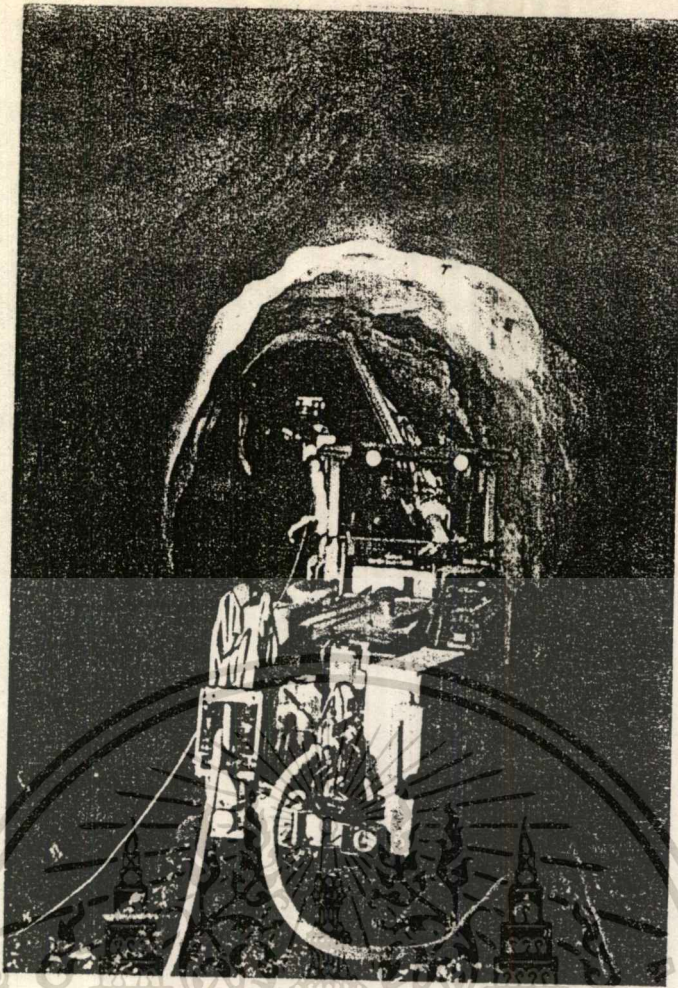


รูปที่ A9 รถเจาะ Jumbo Drill แบบ 3 Boom

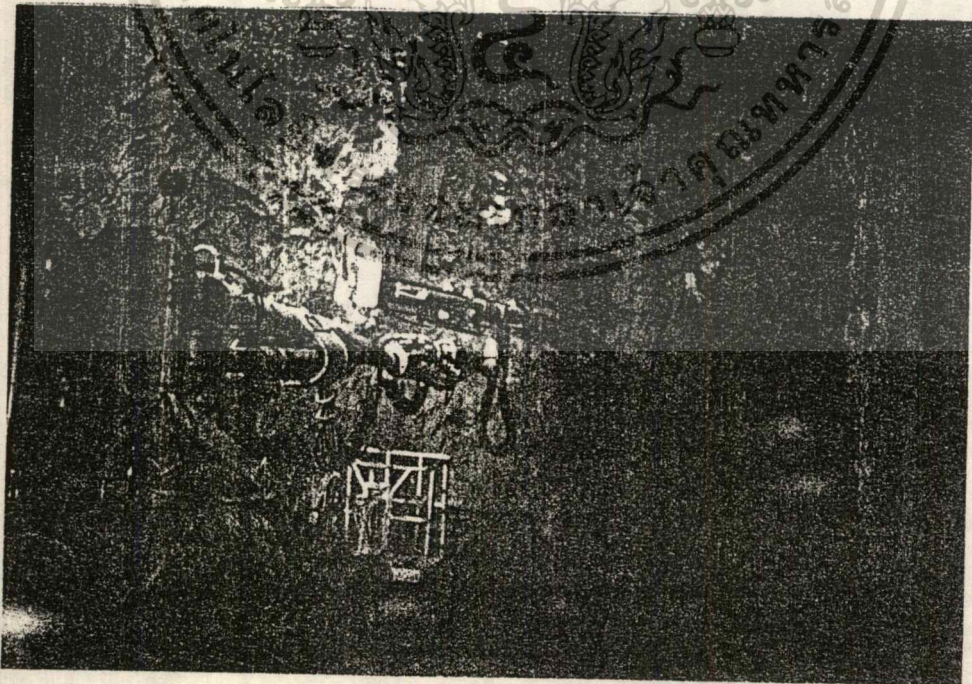


รูปที่ A10 พัฒนาระบายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

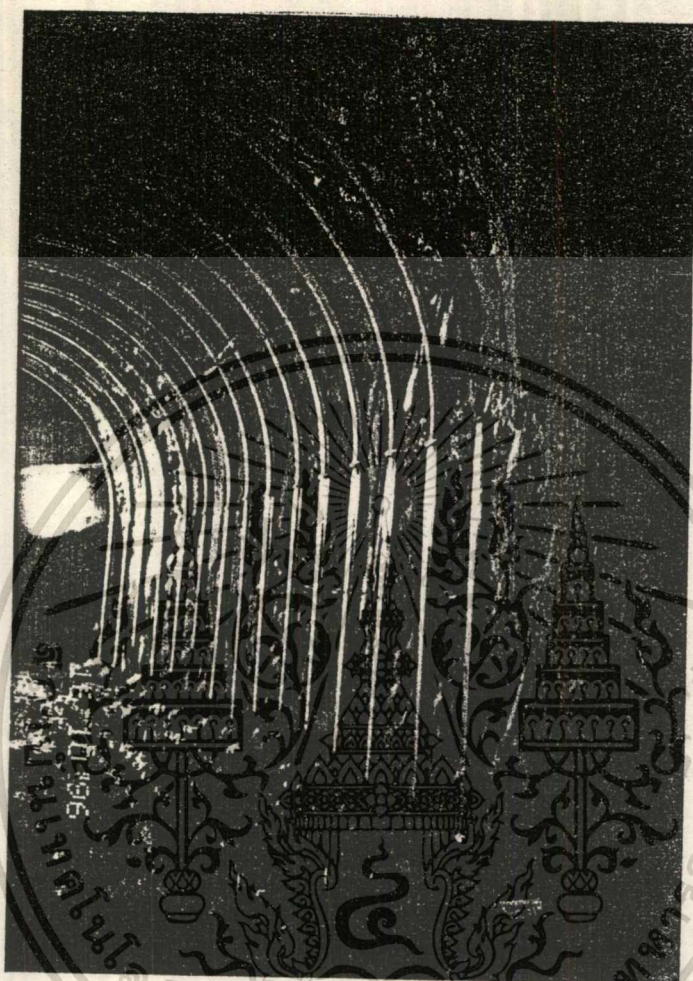


รูปที่ A11 การเจาะรูเพื่อติดตั้ง Rockbolt



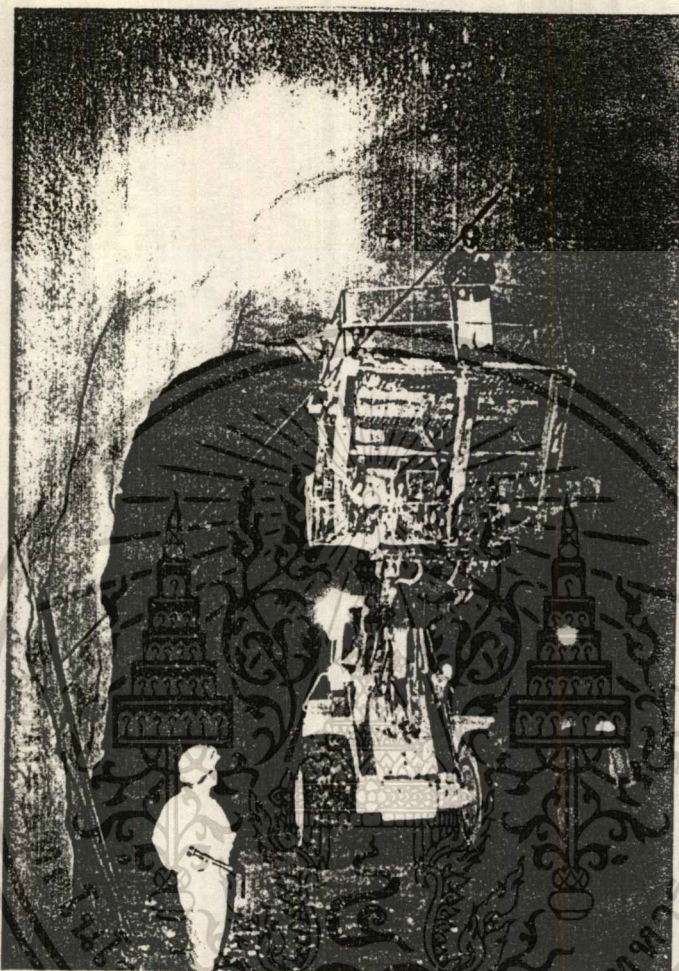
รูปที่ A12 การเจาะช่องเพื่อฝังระเบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



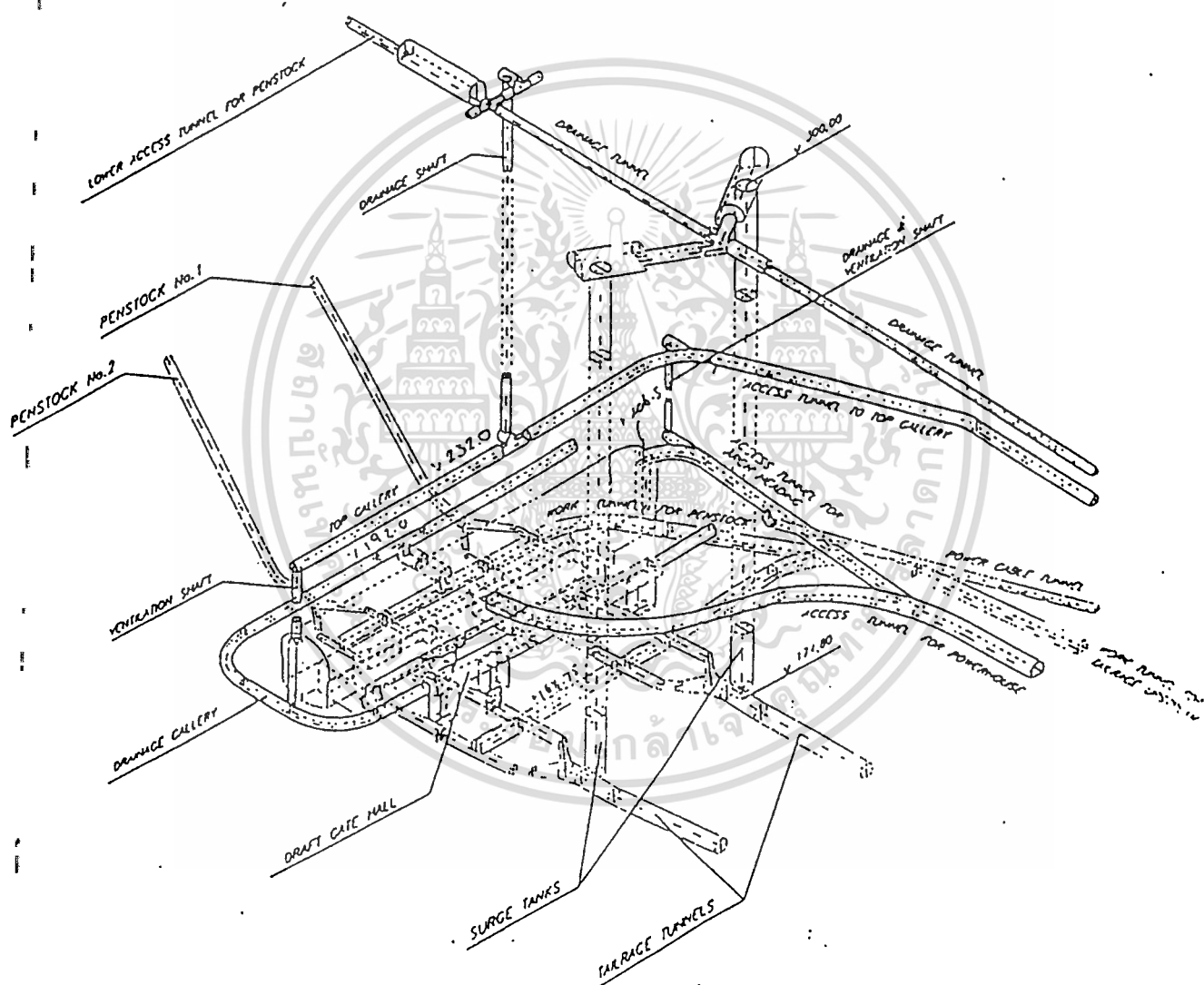
รูปที่ A13 Steel Ribs ทำจากเหล็กรูปตัว H ช่วยค้ำยัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ A14 การติดตั้งอุปกรณ์ Convergence Measurement

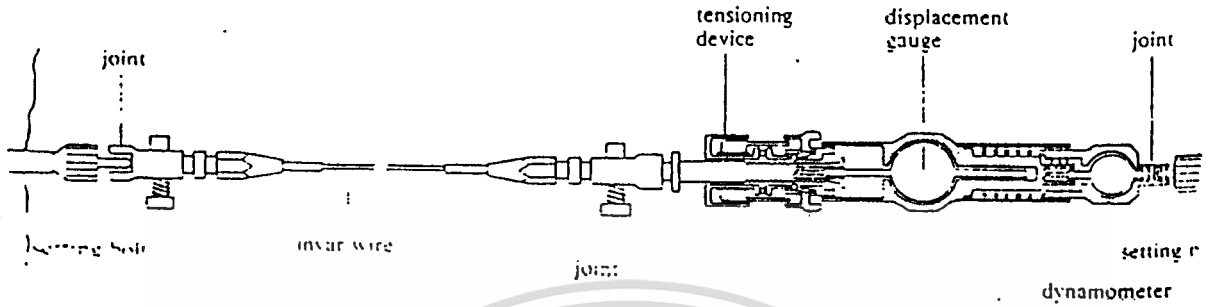
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



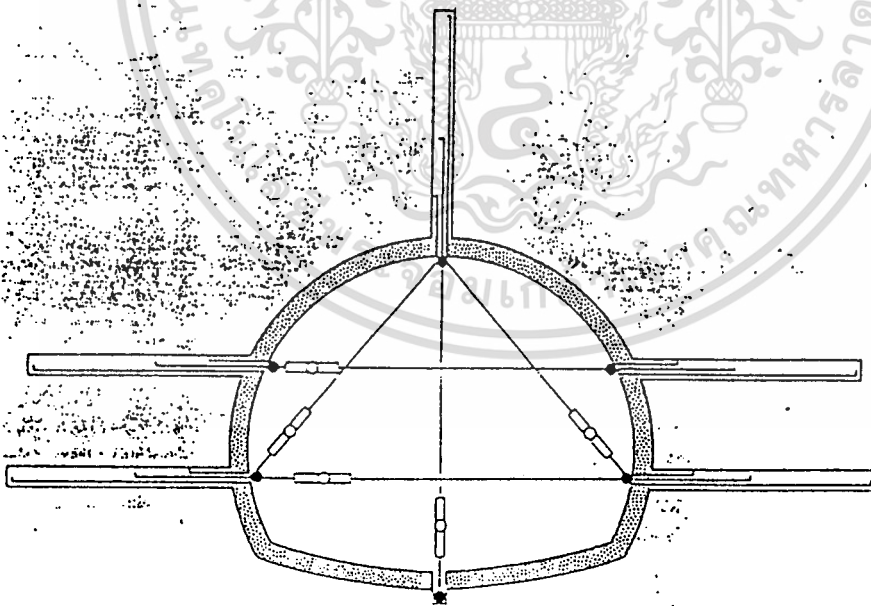
รูปที่ A15 ภาพแสดงอุโมงค์ต่างๆบริเวณโรงไฟฟ้า

(ที่มา : EGAT, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



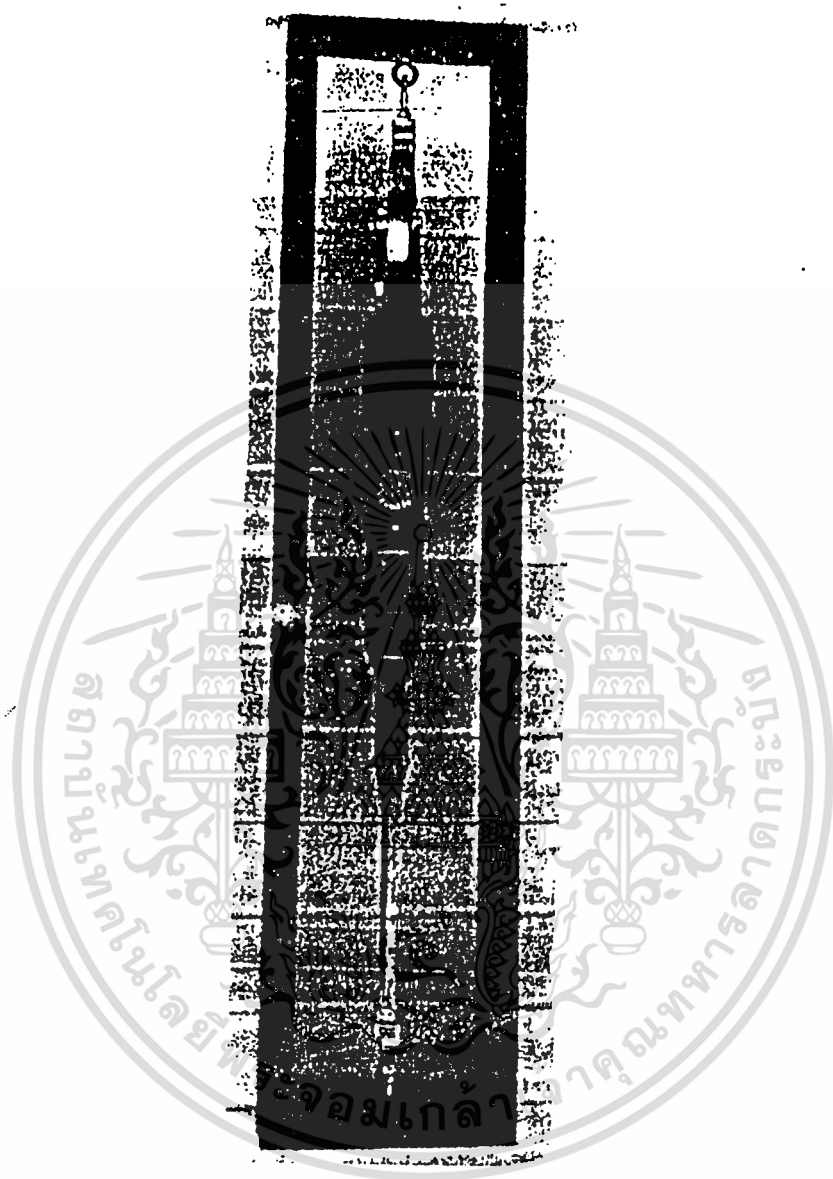
รูปที่ A16 อุปกรณ์การวัดแบบ Convergence
(ที่มา : Brady, Brown, 1993)



รูปที่ A17 รูปแบบของ MPBX ติดตั้งกับอุปกรณ์ของ Convergence Measurement

(ที่มา : Brady, Brown, 1993)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ A18 Tape Extensometer
(ที่มา : Bickel, Kuesel, King, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80

[illegible]

ตารางที่ A6 Construction Schedule (ต่อ)

[illegible]

นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

EGAT Technical Specifications of Lam Ta Khong Pumped Storage Project

EGAT Bidding Documents of Lam Ta Khong Pumped Storage Project

EGAT (1996) General Description and Drawings of Lam Ta Khong Pumped Storage Project

EGAT Technical Information (เกี่ยวกับการขุดอุโมงค์)

EGAT เอกสารเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ โรงไฟฟ้าพลังน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ

EGAT เอกสารการคาดนิวอย่างเก็บน้ำด้านบนด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต

EGAT รายงานประจำปีพ.ศ. 2540 ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับลำตะคอง

INTERNATIONAL BLASTER CO., LTD. (1994) Proposal for Powerhouse Access Tunnel of Lam Ta Khong Pumped Storage Project.

Brady, B. H. G. and Brown, E. T. (1993) Rock Mechanics for underground mining, Chapman & Hall, London.

Bickel, J. O., Kuesel, T. R. and King, E. H. (1996) Tunnel Engineering Handbook, Chapman & Hall, New York.

Jog, M. G. Hydro – Electric and Pumped Storage Plants