สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ในภาคอุตสาหกรรม

INDUSTRIAL GREENHOUSE GAS INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM

T131396

โดย

สิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา

SITTICHAI RUENGROTVIRIYA

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.กันต์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา

วน.
ส๗๒๕
๒๕๕๕
เลขหมู่
เลขทะเบียน 131396
วัน,เดือน,ปี 2 มิ.ย. 2557

b.12638496
i.

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาการศึกษาอิสระ 2

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INDUSTRIAL GREENHOUSE GAS
INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM

SITTICHAI RUENGROTVIRIYA

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENTS OF THE COURSE

INDEPENDENT STUDY 2

MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2/ 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2013

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม
นักศึกษา	นายสิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา
รหัสนักศึกษา	54660721
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
แขนงวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.กันต์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา

บทคัดย่อ

สืบเนื่องจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม เป็นหน่วยงานภาครัฐที่กำกับดูแลภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย จำเป็นต้องมีระบบที่มีความน่าเชื่อถือในการบริหารจัดการข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมและสามารถนำไปใช้กำหนดนโยบายการบริหารจัดการปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมได้ จึงนำไปสู่การพัฒนาระบบบริหารจัดการข้อมูลสารสนเทศเพื่อพยากรณ์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมที่มีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำ ดังนั้น เพื่อให้การพัฒนาระบบดังกล่าวบรรลุผลสำเร็จในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำวิธีการจำลองสถานการณ์ (Simulation) มาใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์บนพื้นฐานของสมการทางคณิตศาสตร์ตามหลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 ในคู่มือการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับประเทศ ซึ่งระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารในการประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดนโยบายด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย พร้อมทั้ง สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการต่อยอดพัฒนาองค์ความรู้อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Industrial Greenhouse Gas Information Management System
Student	Mr. Sittichai Ruengrotviriya
Student ID.	54660721
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Major	Information Technology and Management
Academic Year	2012
Advisor	Assistant Prof. Dr. Kuntpong Woraratpanya

ABSTRACT

According to the Department of Industrial Works, which is a government unit of the industry in Thailand, it needs a reliable system to manage greenhouse gas emission information in industrial sector and to set up the policy. This leads to the development of management information system for predicting greenhouse gas emission in the industry with reliability and accuracy. In order to achieve such a system, this study proposes the greenhouse gas emission simulation. The prototype of simulation is developed based on mathematical equations of principles of revised 1996 intergovernmental panel on climate change (IPCC) guidelines for nation greenhouse gas inventories. The proposed system is helpful for a decision of the executive in policy setting and management of the greenhouse gas emissions in the industry and can be used as a guideline for further development.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ด้วยการให้คำปรึกษาและข้อแนะนำจาก ผศ.ดร.กันต์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา อาจารย์ที่ปรึกษาวิชาการศึกษาอิสระ 1-2 ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์สำหรับการปรับปรุงแก้ไขในการจัดทำระบบสารสนเทศฉบับนี้ อีกทั้งท่านอาจารย์เอาใจใส่และติดตามความคืบหน้าของการดำเนินการจัดทำระบบสารสนเทศนี้อย่างต่อเนื่องตลอดมา ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผศ.ดร.กันต์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้บริหารกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ให้โอกาสและสนับสนุนการศึกษาระดับมหาบัณฑิตครั้งนี้ ผู้เขียนจะนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาปรับใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเหมาะสมกับองค์กรต่อไป

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ทุ่มเทประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับผู้เขียนมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณผดุงศักดิ์ อู่นนทกานต์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ความรู้ในส่วนของการประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เพื่อนำไปใช้ประเมินร่วมกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ผู้เขียนสามารถจัดทำระบบสารสนเทศฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากระบบสารสนเทศฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบให้กับบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีและเป็นประโยชน์แก่ผู้เขียน ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 3

1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) 5

2.1.1 ความหมายและความสำคัญของแบบจำลอง 5

2.1.2 ประเภทของแบบจำลอง (Classification of Simulation Models) 6

2.1.3 โครงสร้างของแบบจำลอง (Structure of Simulation Model) 8

2.2 การจำลองสถานการณ์ (Simulation) 9

2.2.1 ความหมายของการจำลองสถานการณ์ 9

2.2.2 แนวทางและกระบวนการการจำลองสถานการณ์ 10

2.2.3 เทคนิคทางสถิติสำหรับการจำลองสถานการณ์ 13

2.2.4 ข้อได้เปรียบ และข้อจำกัดของการจำลองสถานการณ์ 19

2.2.5 ตัวอย่างกรณีศึกษาเกี่ยวกับการจำลองสถานการณ์ 20

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา 25

3.1 ภาพรวมขององค์กร 25

3.2 การทำงานของระบบงานปัจจุบัน 27

3.3 ปัญหาและข้อจำกัดของระบบงานปัจจุบัน 31

3.4 การวิเคราะห์และออกแบบระบบงาน 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 32

3.4.1.1 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มการใช้พลังงาน 32

3.4.1.2 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มกระบวนการผลิต (อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์) 34

3.4.2 การสร้างแบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 36

3.4.2.1 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 36

3.4.2.2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 37

3.4.2.3 แหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 39

3.4.3 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 49

3.4.3.1 เทคโนโลยีการผลิตปูนซีเมนต์ 52

3.4.3.2 การประเมินเงินลงทุนระบบหรือเทคโนโลยีในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในเบื้องต้น 55

3.4.4 สรุปการคำนวณการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 58

บทที่ 4 การทดสอบระบบสารสนเทศ 60

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบสารสนเทศ 60

4.1.1 ฮาร์ดแวร์ 60

4.1.1 ซอฟต์แวร์ 60

4.2 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน 60

4.3 การทดสอบการทำงานของระบบ 65

บทที่ 5 สรุป 71

5.1 สรุปผลการพัฒนาระบบสารสนเทศ 71

5.2 ปัญหาและข้อจำกัด 72

5.3 ข้อเสนอแนะ 72

บรรณานุกรม 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 75

ภาคผนวก ก หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996

ภาคผนวก ข จดหมาย สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่ อก 0319/716 ลงวันที่ 14 ธันวาคม 2555 เรื่อง แนวทางการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจะในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ภาคผนวก ค การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ภาคผนวก ง บันทึกข้อความ ที่ อก 0319/150 ลงวันที่ 14 มีนาคม 2556 เรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมในการปฏิบัติงาน ของ สสย.กรอ.

ประวัติผู้เขียน 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรายได้กับปริมาณการบริโภคของประชากร ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1990 – 1999 15
2.2 ค่าจากการคำนวณตัวแปรต่างๆ 16
2.3 ค่าพารามิเตอร์และตัวประมาณค่าสำหรับการแจกแจงแบบต่างๆ 17
2.4 ค่าเกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหล (K/m) 23
3.1 ค่า Default net calorific value (NCVs) และค่า Lower Limit และ Upper Limit 43
3.2 ค่ากลาง (Default value) สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง 45
3.3 ค่าสัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง 47
3.4 ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป (Fraction of oxidized Carbon) 47
3.5 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 53
3.6 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อลด การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 55
3.7 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเพื่อลด การปล่อยก๊าซเรือนกระจก 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แบบจำลองทางกายภาพของเครื่องยนต์ 6
2.2 แบบจำลองแบบอะนาลอก 6
2.3 แบบจำลองประกอบการตัดสินใจสำหรับผู้นำ 7
2.4 แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูล 14
2.5 การทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (Two-tailed) 18
2.6 การทดสอบสมมติฐานแบบด้านเดียว (One-tailed) 18
2.7 ลักษณะแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อน 22
2.8 ลักษณะเอลิเมนต์ของแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อน 23
3.1 โครงสร้างกรมโรงงานอุตสาหกรรม 25
3.2 โครงสร้างสำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ 26
3.3 แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรม 30
3.4 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ 38
3.5 ตัวอย่างขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรม 39
3.6 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 40
3.7 การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 48
3.8 ค่าพลังงานความร้อนและค่ากลางสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง 50
3.9 ค่าพลังงานความร้อนและค่ากลางสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง 50
3.10 ผลต่างของค่าพลังงานความร้อนกับค่าสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง 51
3.11 ผลต่างของค่าพลังงานความร้อนกับค่าสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง 51
3.12 การผลิตปูนซีเมนต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบแห้งที่มีหออุ่นวัตถุดิบ 52
4.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอล็อกอิน 61
4.2 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอเมนู 61
4.3 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ 62
4.4 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอข้อมูลการผลิต 63
4.5 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 64
4.6 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอสืบค้นข้อมูล 65
4.7 แสดงการทำงานของหน้าล็อกอิน 66
4.8 แสดงผลการทำงานของหน้าล็อกอิน 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 แสดงการทำงานของหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ 67
4.10 แสดงการทำงานของหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ ส่วนของข้อมูลการผลิต 68
4.11 แสดงการทำงานของหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ ส่วนของข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 69
4.12 แสดงการทำงานของหน้าจอสืบค้นข้อมูล 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสภาวะโลกร้อนและความเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นปัญหาระดับโลกที่ทวีความรุนแรง และส่งผลกระทบนานัปการต่อสิ่งมีชีวิต ทั้งด้านการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงได้มีการจัดตั้งอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศขึ้นในปี พ.ศ. 2537 และในเวลาต่อมาได้มีการจัดตั้งพิธีสารเกียวโตขึ้นในปี พ.ศ. 2545 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความร่วมมือในการลดผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวร่วมกันระหว่างประเทศที่พัฒนาแล้ว กับประเทศกำลังพัฒนา ปัจจุบันประเทศกำลังพัฒนาส่วนใหญ่ยังไม่มีพันธกรณีในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นทางการ แต่เพื่อเป็นการแสดงความรับผิดชอบในฐานะที่เป็นส่วนหนึ่งของประชาคมโลก ควรมีส่วนร่วมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยความสมัครใจ

แม้ว่าประเทศกำลังพัฒนารวมทั้งประเทศไทยจะยังไม่มีพันธกรณีในการลดก๊าซเรือนกระจกในช่วงระยะแรก (พ.ศ. 2555) เหมือนกับประเทศที่พัฒนาแล้ว แต่ยังไม่ชัดเจนว่าใน "ยุคหลังเกียวโต" (Post-Kyoto Era) หรือหลังปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยจะถูกบังคับให้ต้องลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือไม่ จากการเจรจาร่วมกันในเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ได้กำหนดหลักการความรับผิดชอบและข้อตกลงความร่วมมือระยะยาวในการร่วมกันลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้ว และประเทศที่กำลังพัฒนา โดยให้ทุกประเทศเสนอเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับประเทศ (NAMAs : Nationally Appropriate Mitigation Actions) เพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่ทั้งนี้ การดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวต้องอาศัยความร่วมมือร่วมกันระหว่างรัฐภาคี องค์การระหว่างประเทศ และภาคประชาสังคม ดังนั้น การดำเนินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงเป็นประเด็นที่ทุกประเทศที่อยู่ในภาคีความร่วมมือไม่สามารถปฏิเสธความรับผิดชอบได้ แม้ภายหลังการเจรจาในปี พ.ศ.2555 กลุ่มประเทศกำลังพัฒนาจะยังไม่มีพันธกรณีและข้อบังคับในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ในด้านการค้าระหว่างประเทศ จะเกิดแรงกดดันและผลกระทบทางอ้อมจากมาตรการฝ่ายเดียวของประเทศคู่ค้าเพื่อให้ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และจากแรงกดดันดังกล่าวได้ถูกใช้เป็นเครื่องมือของประเทศที่พัฒนาแล้วเพื่อทำให้เกิดความพยายามจากประเทศกำลังพัฒนาในการดำเนินการลดก๊าซเรือนกระจก อีกทั้ง เป็นการกระตุ้นประเทศกำลังพัฒนาให้มีส่วนร่วมในการรับผิดชอบกับการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศให้มากขึ้น จากความพยายาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อขีดความสามารถในด้านการแข่งขันของผู้ประกอบการธุรกิจในประเทศต่างๆ

สำหรับประเทศไทยพบว่ามีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่ไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วโลก แต่กลับมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พลังงาน กระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม การขนส่ง การเกษตร การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการจัดการของเสีย ดังนั้น ภาคอุตสาหกรรมในฐานะที่เป็นผู้ใช้ทรัพยากรพลังงานในกระบวนการอุตสาหกรรมอันก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณสูงเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ จึงควรมีส่วนร่วมอย่างจริงจังในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศ

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้เสนอโครงการซึ่งเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับพันธกิจด้านอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพิธีสารเกียวโต ตระหนักและมองเห็นถึงปัญหาเกี่ยวกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการผลิตสูง ซึ่งจำเป็นต้องใช้ปริมาณพลังงานหรือเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตสูงเช่นกัน ในการนี้ผู้เสนอโครงการจึงมีแนวความคิดและความต้องการในการพัฒนาและสร้างแบบจำลอง (Simulation Model) แนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม โดยเลือกกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมต้นแบบในการสร้างแบบจำลอง ทั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายด้านการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากภาคอุตสาหกรรมอย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้ง ยังช่วยให้ภาครัฐสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นรายงานประกอบการตัดสินใจของผู้บริหารระดับสูงได้ทันต่อความต้องการและมีประสิทธิภาพตรงตามนโยบายและพันธกิจของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยการพัฒนาและสร้างแบบจำลองแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม จะนำโปรแกรมเดลไฟล์เวอร์ชั่น 5 มาใช้สร้างระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อพัฒนาและสร้างแบบจำลองแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมให้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายด้านการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากภาคอุตสาหกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม

1.2.2 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองไปใช้ประโยชน์ในการประกอบการตัดสินใจ การกำหนดวิสัยทัศน์ นโยบาย และวางแนวทางการดำเนินการเรื่องการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว แม่นยำและมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ ผู้พัฒนาจะดำเนินการศึกษาพัฒนาและสร้างแบบจำลองแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยมีขอบเขตและแนวทางการศึกษา ดังนี้

1.3.1 พัฒนาและสร้างแบบจำลองแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมต้นแบบ ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

1.3.2 ศึกษาแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของกลุ่มอุตสาหกรรมต้นแบบ

1.3.3 สามารถเรียกดูข้อมูลแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น และจัดพิมพ์เป็นรายงานประกอบ การพิจารณากำหนดแนวทาง นโยบาย หรือประกอบการตัดสินใจของผู้บริหารหรือผู้ที่เกี่ยวข้องได้

1.3.4 การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมนั้น อ้างอิงจากหลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาวิเคราะห์ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลอง

1.4.2 ศึกษารูปแบบการใช้งาน และความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

- ศึกษาการใช้งานของโปรแกรมเดลไฟล์ เวอร์ชั่น 5

1.4.3 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย

1.4.4 ออกแบบแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมต้นแบบ

1.4.5 สร้างแบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมต้นแบบ

1.4.6 ออกแบบหน้าจอส่วนต่อประสานของผู้ใช้และการออกรายงานต่างๆ

1.4.7 ศึกษาปัญหา และอุปสรรคในการดำเนินการ เพื่อนำไปใช้ปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาแบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมให้มีความแม่นยำและนำไปใช้ได้อย่างประสิทธิภาพต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 แบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.2 สามารถนำแบบจำลองที่ได้จากการพัฒนาไปใช้ในการกำหนดวิสัยทัศน์ นโยบายและวางแนวทางการดำเนินการเรื่องการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรมในภาครัฐได้อย่างเป็นรูปธรรม

1.5.3 สามารถนำแบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมต้นแบบที่พัฒนาขึ้นไปเป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

1.5.4 แบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้งานได้อย่างสะดวก ถูกต้อง แม่นยำ และมีความน่าเชื่อถือ

1.5.5 ช่วยขจัดปัญหาเรื่องระยะเวลาในการทำงานของเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อความต้องการ และเป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้

1.5.6 ช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องและรับผิดชอบด้านอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพิธีสารเกียวโต ซึ่งเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึง แนวคิด ทฤษฎี รวมถึงผลงานวิจัยและตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและวิธีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นแนวทางออกแบบและสร้างแบบจำลองสถานการณ์แนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เพื่อประโยชน์ในการสร้างสมการและทางเลือกในการแก้ไขปัญหาที่จะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

2.1 แบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model)

2.1.1 ความหมายและความสำคัญของแบบจำลอง

ทาดาโอะ มิยากาวะ ((คงศักดิ์ สันติพฤกษวงศ์ (ผู้แปล), 1986) ได้ให้ความหมายของแบบจำลอง (Model) ไว้อย่างชัดเจนว่า หมายถึง การแสดงสภาพความเป็นจริงของสิ่งที่กำลังศึกษาค้นคว้าให้ปรากฏออกมาอยู่ในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง เช่น ตัวแบบ แบบจำลอง แบบแผน รูปแบบ หุ่นจำลอง รูปหุ่น แบบตุ๊กตา เป็นต้น กล่าวคือ การอธิบาย การพยากรณ์ หรือการควบคุมเกี่ยวกับโครงสร้างและการเคลื่อนไหวสภาพความเป็นจริงของสิ่งที่กำลังศึกษาค้นคว้า โดยแบบจำลองมีความสำคัญ และสามารถนำไปใช้งานได้ในหลายลักษณะ ดังต่อไปนี้

1. เป็นเครื่องมือช่วยคิด (An Aid to Thought) เช่น แบบจำลองโครงข่าย (Network Model) ซึ่งช่วยทำให้ผู้ออกแบบจำลองทราบถึงกิจกรรมหรือกระบวนการทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นของระบบ

2. เป็นเครื่องมือใช้สื่อความหมาย (An Aid to Communication) แบบจำลองมีส่วนช่วยให้ผู้ออกแบบเข้าใจถึงพฤติกรรม และปัญหาของระบบ อีกทั้ง ช่วยให้ผู้ออกแบบทราบถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาของระบบงานจริงที่กำลังศึกษาด้วย

3. เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม (Purposes of Training and Instruction) ตัวอย่าง เช่น แบบจำลองควบคุมการบิน จะช่วยให้นักบินทำความเข้าใจและคุ้นเคยกับระบบควบคุมเครื่องบินก่อนทำการฝึกบินจริง เป็นต้น

4. เป็นเครื่องมือในการทำนาย (A Tool of Prediction) ในเมื่อแบบจำลองมีส่วนช่วยให้ผู้ออกแบบเข้าใจพฤติกรรมของระบบงาน ก็จะส่งผลให้ผู้ออกแบบสามารถคาดคะเนหรือทำนายผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นกับระบบเมื่อมีเหตุการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบต่างๆ ของระบบงาน

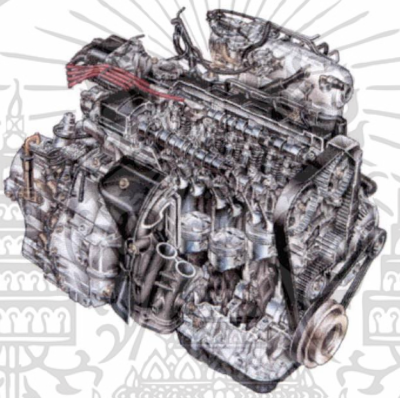
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง (An Aid to Experimental) แบบจำลองสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการทดลอง เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ที่อาจจะเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการทดลองเงื่อนไขที่ไม่สามารถกระทำกับระบบงานจริงได้โดยตรง

2.1.2 ประเภทของแบบจำลอง (Classification of Simulation Models)

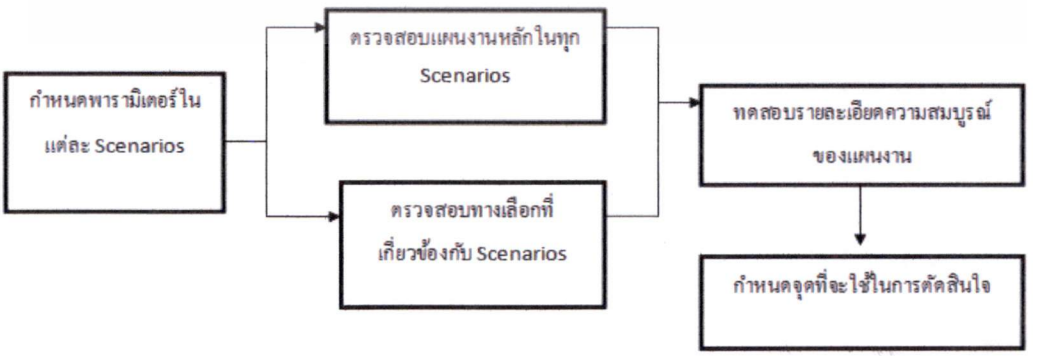
ประเภทของแบบจำลองในการจำลองสถานการณ์ สามารถจำแนกประเภทออกตามคุณลักษณะพิเศษ ได้ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 แบบจำลองทางกายภาพ (Physical or Iconic Models) เป็นแบบจำลองที่โครงสร้างเหมือนระบบงานจริง และอาจมีขนาดใกล้เคียงหรือเท่ากับของจริง อีกทั้ง เป็นแบบจำลองของระบบงานจริงในมิติใดมิติหนึ่ง หรือทั้งสามมิติ ตัวอย่างของแบบจำลองประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องยนต์ต้นแบบ (Prototype) ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อทดสอบสมรรถนะก่อนการผลิตจริง เครื่องบินขนาดจำลองที่ใช้ทดสอบในอุโมงค์ลม แบบจำลองผังโรงงาน เป็นต้น



รูปที่ 2.1 แบบจำลองทางกายภาพของเครื่องยนต์

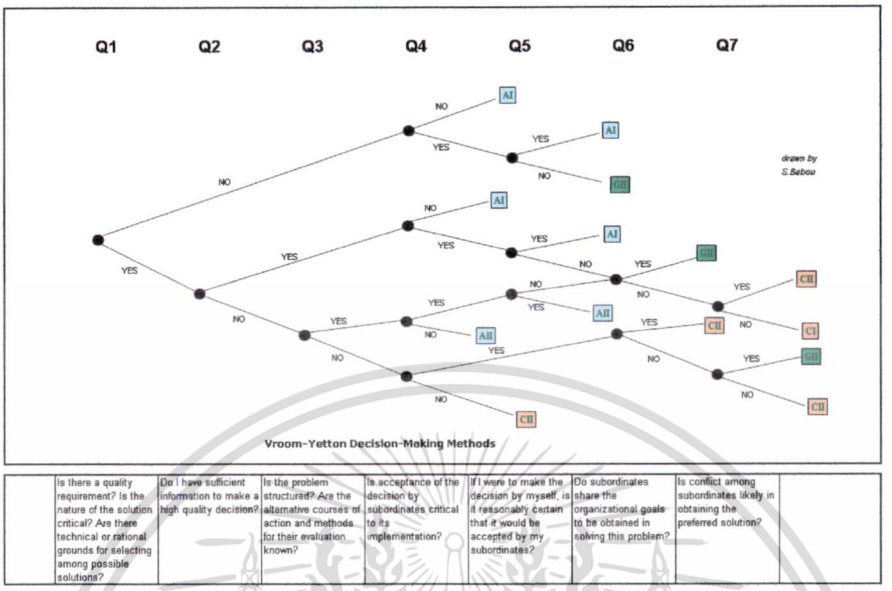
2.1.2.2 แบบจำลองแบบอะนาลอก (Analog Models) เป็นแบบจำลองแสดงกระบวนการทำงานของระบบงานจริง เช่น อะนาลอกคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์และอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งใช้การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าที่แสดงบนแผงควบคุมบอกให้ทราบถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุในระบบงานจริง หรือแผนภูมิการจัดการองค์กร (Organization Charts) ซึ่งเป็นแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์และหน้าที่ความรับผิดชอบของบุคคลากรในระดับต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แบบจำลองแบบอะนาลอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 แบบจำลองเกมการบริหาร (Management Games) เป็นแบบจำลองที่แสดงผลเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ (Decision Models) ในกิจการต่างๆ เช่น ธุรกิจ การลงทุน เป็นต้น



รูปที่ 2.3 แบบจำลองประกอบการตัดสินใจสำหรับผู้นำ

2.1.2.4 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Models) เป็นแบบจำลองที่อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยอาจสร้างมาจากแบบจำลองประเภทต่างๆ ตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น

2.1.2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Models) เป็นแบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบของระบบงานจริง ยกตัวอย่าง เช่น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาโดย DHI Water and Environment เพื่อใช้คำนวณการไหลแบบ 1 มิติ ในแม่น้ำ ดังสมการข้างล่าง

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \tag{2.1}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{2Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}+(g\frac{A}{B}-\frac{Q^2}{A^2})\frac{\partial A}{\partial x}+gA(S_f-S_0)=0 \tag{2.2}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ตร.ม.)

t = เวลา (วินาที) B = ความกว้างของลำคลอง (เมตร)

x = ระยะทาง (เมตร) g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (เมตร/วินาที^{2})

S_f = ความเสียดทาน S_o = ความลาดเอียงของพื้นคลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 โครงสร้างของแบบจำลอง (Structure of Simulation Model)

โครงสร้างของแบบจำลอง ควรประกอบไปด้วย

2.1.3.1 องค์ประกอบ (Components) คือ องค์ประกอบต่างๆ ที่ผู้ออกแบบพิจารณาแล้วเห็นว่ามีความจำเป็นสำหรับการทำงานของระบบ

2.1.3.2 ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables and Parameters) พารามิเตอร์ คือ ค่าคงที่ซึ่งผู้ออกแบบจำลองเป็นผู้กำหนด โดยอาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเอง เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์นั้น หรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล ส่วนตัวแปรนั้น เป็นค่าที่แปรผันได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน จำแนกได้เป็นสองประเภท ได้แก่ ตัวแปรจากภายนอก (Exogeneous Variables) หรือตัวแปรนำเข้า (Input Variables) หมายถึง ตัวแปรจากภายนอกระบบซึ่งเข้ามามีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ หรือตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกระบบ และตัวแปรภายใน (Endogeneous Variables) หมายถึง ตัวแปรที่ใช้แสดงสภาพหรือเงื่อนไขของระบบ โดยอยู่ในลักษณะของตัวแปรนำออก (Output Variables) ซึ่งก็คือผลลัพธ์ในทางสถิติที่ได้จากการใช้งานระบบ

2.1.3.3 ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ (Functional Relationships) คือ ฟังก์ชั่นที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ โดยอาจอยู่ในรูปแบบที่มีลักษณะแน่นอนตายตัว (Deterministic) เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าแล้วสามารถหาค่าผลลัพธ์ที่แน่นอนได้ หรืออาจอยู่ในรูปแบบที่มีลักษณะไม่แน่นอน (Stochastic) ที่เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้แก่ฟังก์ชั่นแล้วไม่สามารถหาค่าผลลัพธ์ที่แน่นอนได้ โดยฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ในลักษณะนี้มักอยู่ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์

2.1.3.4 ขอบข่ายจำกัด (Constraints) คือ ข้อจำกัดของค่าตัวแปรต่างๆ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนดขึ้น เช่น ข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่ในระบบ เป็นต้น หรืออาจเป็นข้อจำกัดของระบบงานจริงโดยธรรมชาติ เช่น ของไหลจะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำเสมอ เป็นต้น

2.1.3.5 ฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Criterion Function) คือ ข้อความที่แสดงถึงเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของระบบงาน รวมถึงวิธีประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง โดยวัตถุประสงค์ของระบบงานอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ วัตถุประสงค์ที่ต้องการคงสภาพของระบบงาน (Retentive) เป็นวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ระบบสามารถคงสภาพการใช้ทรัพยากร เช่น เวลา พลังงาน ความชำนาญ เป็นต้น และวัตถุประสงค์เพื่อการแสวงหา (Acquisitive) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ระบบสามารถเพิ่มทรัพยากรต่างๆ ที่ต้องการ เช่น กำไร หรือลูกค้า เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) เป็นเทคนิคและวิธีการหนึ่งที่ใช้ในกระบวนการแก้ไขปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ผู้ตัดสินใจต้องการหาค่าของตัวแปรการตัดสินใจที่ผู้ตัดสินใจไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ที่แน่นอน หรือค่าพารามิเตอร์นั้นมีหลายค่าทำให้ผลลัพธ์ซึ่งหมายถึงค่าของตัวแปรการตัดสินใจที่ได้อาจไม่มีความแน่นอน ส่งผลให้ผู้ตัดสินใจจำเป็นต้องสุ่มหาชุดค่าของตัวแปรการตัดสินใจนำเข้าสู่แบบจำลองเพื่อคำนวณหาชุดค่าของตัวแปรการตัดสินใจที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ผู้ตัดสินใจจำเป็นต้องนำวิธี "การจำลองสถานการณ์ (Simulation)" มาใช้เป็นเทคนิคในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ประกอบกับความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ส่งผลให้วิธีการดังกล่าวเป็นที่ได้รับความสนใจและได้รับความนิยมในการนำมาใช้ในกระบวนการแก้ไขปัญหาอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2.2.1 ความหมายของการจำลองสถานการณ์

มีนักวิชาการได้ให้คำนิยามของ "การจำลองสถานการณ์ (Simulation)" ไว้หลายความหมาย ดังนี้

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ (2525) กล่าวว่า **การจำลองแบบปัญหา** หมายถึง ขบวนการหรือวิธีการออกแบบแบบจำลองของระบบงานซึ่งสามารถใช้แทนระบบงานจริง และดำเนินการใช้แบบจำลองนั้นในการศึกษาพฤติกรรมของระบบงานจริง หรือใช้ในการวิเคราะห์หาข้อมูลอันเกิดจากการใช้กลยุทธ์ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบ

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ (2551) กล่าวว่า **การจำลองสถานการณ์ (Simulation)** หมายถึง กระบวนการออกแบบจำลอง (Model) ของระบบจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองเพื่อเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงาน ภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ที่วางไว้ เพื่อประเมินผลการดำเนินงานของระบบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองก่อนนำไปใช้แก้ไขปัญหาสถานการณ์จริงต่อไป

เคลตัน (2003) กล่าวว่า **การจำลองสถานการณ์ (Simulation)** เป็นการรวบรวมวิธีการที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบงานมาไว้บนคอมพิวเตอร์ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) เข้ามาช่วย เพื่อศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูล และทำการวิเคราะห์หารูปแบบที่ถูกต้องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

The Oxford English Dictionary ให้คำนิยามของ **การจำลองสถานการณ์ (Simulation)** ไว้ว่าเป็นเทคนิคในการจำลองพฤติกรรมของสถานการณ์หรือระบบใดระบบหนึ่ง โดยอ้างอิงจากแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ

เออร์เนส (1994) กล่าวไว้โดยสั้นว่า **การจำลองสถานการณ์ (Simulation)** หมายถึง การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบของระบบการทำงานใดระบบหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความหมายและคำนิยามข้างต้น สามารถกล่าวได้โดยสรุปว่า การจำลองสถานการณ์ (Simulation) หมายถึง กระบวนการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์สมมติ เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของระบบหรือสิ่งที่สนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ไม่สามารถศึกษาระบบจริง (Real System) ได้โดยตรง อันเนื่อง มาจากข้อจำกัดทางด้านเทคนิค ค่าใช้จ่าย หรือระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งระบบอาจมีความซับซ้อนเกินกว่าจะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์มาแก้ไขปัญหา ดังนั้น การสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษา และประเมินผลกระทบต่างๆ เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการตัดสินใจ

2.2.2 แนวทางและกระบวนการการจำลองสถานการณ์

เพื่อช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถจัดลำดับความคิด และทำความเข้าใจระบบงานจริงได้อย่างเป็นระเบียบแบบแผน ผู้ออกแบบจึงควรปฏิบัติตามกระบวนการและแนวทางการจำลองสถานการณ์ ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 การนิยามปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน (Problem Formulation and System Definition) หมายถึง การตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น วิเคราะห์ และจำแนกปัญหาออกเป็นหมวดหมู่ อีกทั้ง กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต รวมถึงข้อจำกัดต่างๆ ของระบบงาน โดยผู้ออกแบบสามารถสร้างแบบจำลองได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ออกแบบจำลอง ยกตัวอย่าง เช่น หากต้องการศึกษาผลความพึงพอใจในการให้บริการร้านตัดผม แบบจำลองสถานการณ์นั้นอาจเน้นเฉพาะองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลด้านการบริการ เป็นต้น ทั้งนี้ ผู้ออกแบบควรกำหนดปัญหาให้มีความชัดเจนและเข้าใจง่าย เพื่อความสะดวกในการสร้างแบบจำลอง โดยขั้นตอนดังกล่าวนับว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองสถานการณ์ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาจะเป็นเครื่องมือแสดงความต้องการ และองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญของแบบจำลองสถานการณ์นั้น

โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ มักเกิดวัตถุประสงค์หลัก คือ มีความต้องการแก้ไขข้อบกพร่องที่ไม่พึงปรารถนาของระบบงานจริง ดังนั้น ผู้ออกแบบต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้นโดยละเอียด แต่มิได้หมายความว่า จะเลือกศึกษาเฉพาะระบบงานในส่วนที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเพียงเท่านั้น แต่ทั้งนี้ ผู้ออกแบบยังต้องทำการศึกษาระบบงานในส่วนอื่นๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง เพื่อค้นหาสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องที่แท้จริงโดยภาพรวมของระบบงาน

2.2.2.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model Construction) หมายถึง การกำหนดตัวแปร และกำหนดความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ พร้อมทั้ง รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและเกี่ยวข้องต่อการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ โดยทั่วไปนิยมนำมาเขียนให้อยู่ในรูปแบบแผนผังการไหลของงาน (Flowchart) เพื่ออธิบายถึงกระบวนการทำงานของระบบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเหมือนระหว่างแบบจำลองกับระบบงานจริง มี 2 ประเภท ได้แก่

1) ความเหมือนในลักษณะ Isomorphic หมายถึง แบบจำลองมีลักษณะเหมือนกับระบบงานจริงทุกประการ โดยมีเงื่อนไข คือ ทุกองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของแบบจำลองจะต้องเหมือนกับองค์ประกอบและความสัมพันธ์ของระบบงานจริงทุกประการ

2) ความเหมือนในลักษณะ Homomorphic หมายถึง องค์ประกอบและความสัมพันธ์ของระบบงานจริงกับแบบจำลองมีความคล้ายคลึงหรือเหมือนกันเพียงบางประการ เช่น มีรูปร่างทางกายภาพเหมือนกัน เป็นต้น

โดยส่วนมากในระบบงานทางด้านวิศวกรรม จะนิยมใช้งานแบบจำลองในลักษณะ Homomorphic โดยเริ่มจากการแบ่งระบบงานจริงออกเป็นระบบย่อย แล้วเริ่มทำการศึกษาระบบงานย่อยเหล่านั้นก่อน ต่อมาเมื่อได้รับคำตอบของแต่ละระบบย่อยที่ต้องการแล้ว จึงจะนำระบบย่อยเหล่านั้นมาผสานรวมกันเพื่อศึกษาระบบงานใหญ่ต่อไป ทั้งนี้ การกระทำในลักษณะดังกล่าวจะมีส่วนช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถสร้างแบบจำลองได้อย่างสะดวก และรวดเร็วขึ้น

หลังจากได้แบบจำลองเริ่มต้นแล้ว ผู้ออกแบบจะต้องทำการทดสอบการทำงานและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองว่ามีความใกล้เคียงกับระบบงานจริงหรือไม่ อีกทั้ง พิจารณาว่าควรเพิ่มเติมองค์ประกอบใดเข้าไปเพื่อลดข้อจำกัดและสมมติของแบบจำลอง รวมถึงปรับเปลี่ยนรูปแบบของตัวแปรและความสัมพันธ์ต่างๆ ให้เหมาะสมกับสภาพจริงของระบบงาน จากนั้นจึงจะนำแบบจำลองใหม่ที่ได้รับการแก้ไขไปทำการทดสอบเปรียบเทียบกับระบบงานจริง เพื่อให้ได้แบบจำลองที่ตรงกับวัตถุประสงค์ และให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับระบบงานจริงมากที่สุด

2.2.2.3 การแปรรูปแบบจำลอง (Model Translation) หมายถึง การแปลงแบบจำลองสถานการณ์ที่กำหนดขึ้น โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณหาค่าผลลัพธ์เชิงปริมาณแทนพฤติกรรมของที่ต้องการ ดังนั้น องค์ประกอบและความสัมพันธ์ภายในแบบจำลองจะต้องอยู่ในรูปของตัวแปร พารามิเตอร์ และฟังก์ชั่น ความถูกต้องของค่าเชิงปริมาณขึ้นอยู่กับการวิเคราะห์องค์ประกอบในการทำงานของระบบจริง ความถูกต้องของข้อมูล และวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ทั้งนี้ ผู้ออกแบบจำลองสามารถเลือกใช้โปรแกรมช่วยในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ได้ตามความต้องการ โดยอาจพิจารณาจากความสามารถในด้านการตอบสนองความต้องการผู้ออกแบบของระบบ ยกตัวอย่างเช่น โปรแกรม Visual Basic for Application ที่ออกแบบให้มีชุดคำสั่งสนับสนุนการทำงาน และเครื่องมือต่างๆ เรียกว่า คอนโทรล (Control) ไว้เพื่อประโยชน์ให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบโปรแกรมและแบบจำลองสถานการณ์ได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว เป็นต้น

2.2.2.4 การทดสอบและตรวจสอบความถูกต้อง (Model Testing and Validation) หมายถึง การทดสอบและค้นหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้งานแบบจำลองสถานการณ์ที่ได้ออกแบบไว้ พร้อมทั้งทดสอบความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมของแบบจำลองสถานการณ์กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบงานจริง โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลการใช้งานที่ได้จากแบบจำลองกับระบบงานจริงในอดีต ภายใต้เงื่อนไขชนิดเดียวกัน

กรรมวิธีที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) การพิสูจน์ยืนยัน (Verification) กระทำได้โดยการสอบถามความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ ทดสอบความถูกต้องของกลไกภายในแบบจำลอง ทดสอบความถูกต้องของตัวแปร และพิจารณาพารามิเตอร์ในแบบจำลองสถานการณ์ รวมถึงการทดสอบความถูกต้องจากข้อมูลหรือผลลัพธ์ทางสถิติที่ขององค์ประกอบเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง และผลลัพธ์ที่ได้จากระบบงานจริง

2) การทดสอบความถูกต้อง (Validation) กระทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองและระบบงานจริง การทดสอบสมมติฐานลักษณะความน่าจะเป็นของการกระจายข้อมูล รวมถึงการพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบจากระบบงานจริง

3) การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis) เป็นการทดลองใช้แบบจำลองในการพยากรณ์พฤติกรรมต่างๆ ของระบบงาน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมต่างๆ ของระบบงานจริง โดยการวิเคราะห์ปัญหาจะอาศัยเทคนิคทางสถิติเช่นเดียวกันกับการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

2.2.2.5 การออกแบบสถานการณ์เพื่อการทดลอง (Experimental Design) หลังจากที่แบบทดลองได้รับการทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องในเบื้องต้นแล้ว จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการออกแบบการทดลอง โดยทำการจำลองสถานการณ์ขึ้น 3 กรณี ได้แก่ 1. กรณี Best – Case 2. กรณี Worst – Case และ 3. กรณี Median – Case ซึ่งการจำลองสถานการณ์ในลักษณะนี้ จะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถกำหนดขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการทำงานของแบบจำลองสถานการณ์ได้แม่นยำ อีกทั้ง ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของแบบจำลองสถานการณ์ที่ผู้ออกแบบสร้างไว้อีกด้วย

2.2.2.6 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical Planning) เป็นการวางแผนและกำหนดรูปแบบการใช้งานแบบจำลองสถานการณ์ให้มีความเหมาะสม เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ และได้รับข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผล โดยความแตกต่างระหว่างขั้นตอนการวางแผนการใช้งานแบบจำลองและขั้นตอนการออกแบบสถานการณ์เพื่อการทดลอง มีดังนี้ ในขั้นตอนการออกแบบสถานการณ์เพื่อการทดลองเป็นเพียงการชี้แจงเงื่อนไขของการทดลองเท่านั้น ส่วนขั้นตอนการวางแผนการใช้งานแบบจำลองเป็นการพยากรณ์ว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวทั้งหมดกี่ครั้ง จึงจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.7 การดำเนินการทดลอง และควบคุมการทดลอง (Experimental Conduction) เป็นการทดลองใส่ค่าตัวแปรลงในแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้น เพื่อแสดงข้อมูลสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้ ค่าที่ได้อาจมีความแปรผันแตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรที่ใส่ลงในแบบจำลอง

2.2.2.8 การประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง (Result Evaluation) เป็นขั้นตอนการตีความและประเมินผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งหากผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าพอใจ จะสามารถนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาได้ทันที แต่หากผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นที่น่าพอใจ ผู้ออกแบบต้องทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของแบบจำลอง และแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าว เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำ และสามารถนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.2.9 การนำไปใช้งานจริง (Implementation) ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ผู้บริหารจำต้องพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ และตัดสินใจเลือกแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบงาน หรือสถานการณ์จริงต่อไป

2.2.2.10 การจัดทำเอกสารการใช้งาน (Documentation) เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งาน รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้งาน ให้อยู่ในรูปแบบเอกสารหรือคู่มือประกอบการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ อีกทั้ง เพื่อประโยชน์ในการปรับปรุง และดัดแปลงแบบจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของระบบงาน

อย่างไรก็ตาม กระบวนการออกแบบและสร้างแบบจำลองสถานการณ์ไม่มีทฤษฎี หรือหลักเกณฑ์ที่ตายตัว ดังนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูล จนสามารถเกิดความรู้ความเข้าใจในโครงสร้าง รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากระบบงานจริงได้อย่างถ่องแท้ พร้อมทั้งต้องอาศัยความสามารถ และความคิดสร้างสรรค์ในการประยุกต์หรือดัดแปลงลักษณะโครงสร้างของระบบงานให้อยู่ในรูปของแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ในการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบงานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2.2.3 เทคนิคทางสถิติสำหรับการจำลองสถานการณ์

ขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งในการจำลองสถานการณ์ คือ การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง รวมถึงผลลัพธ์ของข้อมูลที่ได้จากตัวแบบจำลอง โดยผู้ออกแบบสามารถนำเทคนิคหรือกลไกการตรวจสอบความถูกต้องมาใช้ได้หลายรูปแบบตามความสนใจ ทั้งนี้ เทคนิคที่มีความเหมาะสม และนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลายนั้น ได้แก่ “เทคนิคทางสถิติ” ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากตัวแบบจำลองนั้น โดยในการสร้างตัวแบบจำลองผู้ออกแบบต้องพิจารณา และวิเคราะห์ข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของตัวแบบจำลอง พิจารณาหารูปแบบสมการของฟังก์ชันเป้าหมาย รวมถึงฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่จะใช้เป็นค่าเป้าหมายของระบบงานที่สนใจ ตัวอย่างของเทคนิคทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ การสุ่มค่าตัวอย่าง การหาสมการถดถอย การวิเคราะห์ค่าความเบี่ยงเบนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าความแปรปรวน และการประมาณค่า เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะเลือกกล่าวถึงเทคนิคทางสถิติเบื้องต้นที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการจำลองสถานการณ์ทั้งสิ้นจำนวน 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

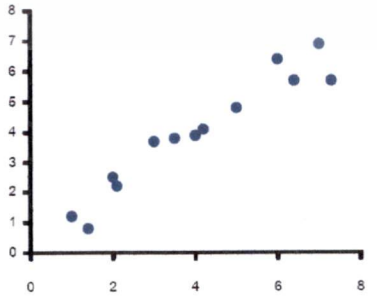
2.2.3.1 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นตัวแทนพฤติกรรมขององค์ประกอบของระบบงาน และตัวแปรที่เป็นตัวแทนของปัจจัยที่ทำให้เกิดความผันแปรของตัวแปรพฤติกรรม ในการวิเคราะห์การถดถอยนั้น ผู้ออกแบบต้องทำการหาสมการถดถอยซึ่งเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในระบบงาน เพื่อพิจารณาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อองค์ประกอบที่ผู้ออกแบบสนใจ หรือกำหนดไว้ การวิเคราะห์ในลักษณะนี้ เริ่มจากการกำหนดว่าข้อมูลใดที่จะใช้เป็นตัวแปรอิสระ (ปัจจัย) และข้อมูลใดที่จะใช้เป็นตัวแปรตาม (ตัวแปรของพฤติกรรม) จากนั้นจึงหาสมการถดถอยโดยการสร้างกราฟที่เรียกว่า แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram หรือ Scattergram) มาใช้เป็นเทคนิคในการพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูล และเมื่อได้รูปแบบสมการที่ชัดเจนแล้วจึงจะนำเทคนิคการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) มาใช้เป็นเครื่องมือในการทดสอบความถูกต้องของสมการ

1) การหาสมการถดถอย (Regression Analysis)

ในการหาสมการถดถอย ผู้ออกแบบต้องทำการวิเคราะห์ลักษณะเส้นตรงของข้อมูลที่ได้จาก แผนภูมิการกระจาย เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ในกระบวนการสร้างสมการเชิงเส้นผู้ออกแบบอาจอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ และสร้างสมการ เมื่อผู้ออกแบบทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่แน่นอนในสมการแล้ว จากนั้นจึงจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้หาค่าคงที่ต่างๆ ของสมการ โดยวิธีที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ การหาค่ากำลังสองที่น้อยที่สุด (Least Squares Method) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้หาค่าผลบวกกำลังสองที่น้อยที่สุดของค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าของข้อมูลจริงกับค่าบนเส้นตรงที่สร้างขึ้น กล่าวคือ วิธีการหาค่ากำลังสองที่น้อยที่สุด เป็นวิธีการประมาณสมการถดถอยที่ก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยกำหนดให้ S แทนผลรวมกำลังสองของค่าความผิดพลาด (Sum of Squared Error)

ตัวอย่าง เช่น กำหนดให้ความสัมพันธ์ของตัวแปรตาม y และปัจจัยหรือตัวแปรอิสระ x ที่ได้จากแผนภาพการกระจายนั้นมีลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง แสดงดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพการกระจายของความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปความสัมพันธ์เป็นสมการเชิงเส้นตรง จะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \tag{2.3}$$

โดยสมการที่ใช้ประมาณค่า คือ

$$y_i = a + bx_i \tag{2.4}$$

ซึ่งมี a เป็นตัวประมาณค่าของ α และ b เป็นตัวประมาณค่าของ β

จากหลักการกำลังสองน้อยที่สุดจะได้ (2.5)

$$S = \Sigma (y_i - \hat{y}_i)^2 = \Sigma (y_i - (a + bx_i))^2$$

จากนั้นจะนำสมการที่ได้มาคำนวณหาค่า a และ b โดยการหา $\frac{\partial S}{\partial a} = 0$ และ $\frac{\partial S}{\partial b} = 0$

กรณีที่สมการถดถอยนั้นเป็นสมการเชิงเส้นตรงจะได้ $a = 0$ และคำนวณหา b ได้ดังนี้

$$b = \frac{\Sigma (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\Sigma (X - \bar{X})^2} \tag{2.6}$$

ดังนั้น สมการถดถอยที่ได้ คือ

$$\hat{y} - \bar{y} = a + b(x - \bar{x}) \tag{2.7}$$

โดยที่ $a = 0$ และ b คำนวณได้จากสมการข้างต้น

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรายได้กับปริมาณการบริโภคของประชากรตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1990 – 1999

ปี	รายได้ (ล้านบาท)	การบริโภค (ล้านบาท)
1990	20	7
1991	30	9
1992	33	8
1993	40	11
1994	15	5
1995	13	4
1996	26	8
1997	38	10
1998	35	9
1999	43	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จงใช้ข้อมูลจากตารางดังกล่าวเพื่อหาสมการเชิงบริโภค

โดย กำหนดให้ x = รายได้

y = การบริโภค

คำนวณหาค่าต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าจากการคำนวณตัวแปรต่างๆ

ปี	x	y	$(x - \bar{x})$	$(y - \bar{y})$	$(x - \bar{x})^2$	$(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
1990	20	7	-9.3	-1.1	86.49	10.23
1991	30	9	0.7	0.9	0.49	0.63
1992	33	8	3.7	-0.1	13.69	-0.37
1993	40	11	10.7	2.9	114.69	31.03
1994	15	5	-14.3	-3.1	204.49	44.33
1995	13	4	-16.3	-0.1	265.69	66.83
1996	26	8	-3.3	-0.1	10.89	0.33
1997	38	10	8.7	1.9	75.69	16.53
1998	35	9	5.7	0.9	32.49	5.13
1999	43	10	13.7	1.9	187-69	26.03
รวม	**293**	**81**	**0**	**0**	**992.10**	**200.07**

โดยที่ $\bar{x} = 239/10 = 29.3$

$\bar{y} = 81/10 = 8.1$

ดังนั้น $$b = \frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= 200.7 / 992.10$$

$$= 0.2023$$

b = 0.2023 หมายความว่า ถ้าผู้บริโภคมีรายได้เปลี่ยนแปลงไป 1 ล้านบาท แล้วจะเปลี่ยนแปลงรายจ่ายเพื่อการบริโภคไปในทิศทางเดียวกัน คือ 0.2023 ล้านบาท

หาค่า $a = \bar{y} - b\bar{x}$

$= 8.1 - (0.2023)(29.3) = 2.173$

โดย a = 2.173 คือ รายจ่ายขั้นต่ำเพื่อการบริโภคของผู้บริโภคเท่ากับ 2.173 ล้านบาท (รายจ่ายเพื่อการบริโภคขณะที่รายได้ = 0)

ดังนั้น สมการการบริโภค คือ $\hat{y} = 2.173 + 0.2023\ x_i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 การประมาณค่า (Estimation)

การประมาณค่า (Estimation) เป็นการหาตัวประมาณค่า (Estimator) และค่าโดยประมาณของพารามิเตอร์ (Estimate) ซึ่งหมายถึง ผลลัพธ์ของตัวประมาณค่าที่ได้ ทั้งนี้ คุณสมบัติของตัวแปรที่เหมาะสมของตัวประมาณค่า ประกอบด้วย

1) ความไม่ลำเอียง (Unbiasness) คือ การประมาณค่าของตัวประมาณค่า ซึ่งจะแสดงว่าไม่ลำเอียง ก็ต่อเมื่อ ค่าคาดหมายของตัวประมาณค่านั้นมีค่าเท่ากับค่าของพารามิเตอร์ที่ถูกประมาณ

2) ความแปรปรวนน้อยที่สุด (Minimum Variance)

3) ความเสมอต้นเสมอปลาย (Consistency) ซึ่งวัดได้จาก

$$v(\mu) \longrightarrow 0 \quad \text{เมื่อ} \quad n \longrightarrow \infty$$

โดยวิธีการหาตัวประมาณค่า และค่าโดยประมาณ กระทำได้ดังนี้

1) การประมาณค่าแบบจุด (Point Estimation) หมายถึง การนำตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมาใช้เป็นตัวประมาณค่าของพารามิเตอร์ โดยเทคนิคการประมาณค่าแบบจุดที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่ วิธีการของโมเมนต์ (Method of Moments) วิธีการของความเป็นไปได้สูงสุด (Method of Maximum Likelihood) วิธีการประมาณค่าของเบย์ (Bayesian Estimation) และวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Method of Least Squares)

2) การประมาณค่าแบบช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval Estimation) หมายถึง การใช้ความเชื่อมั่นที่มีต่อค่าหนึ่งค่าใด ที่มีค่าเท่ากับค่าของพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณ โดยที่ช่วงสำหรับประมาณค่าจะมีสูตรแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการกระจายความน่าจะเป็นของประชากรที่มีพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณค่า

ค่าพารามิเตอร์ที่เราใช้การประมาณค่านั้น ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนของประชากร เป็นต้น ตัวอย่าง เช่น เมื่อมีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่าง n จำนวน คือ 5,8,...,n โดยข้อมูลเหล่านี้มีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ เราจะได้ค่าสถิติ $\bar{x}$ เป็นค่าเฉลี่ยที่ใช้ประมาณค่าเฉลี่ยของข้อมูลคือ μ และ S^2 เป็นค่าความแปรปรวนที่ใช้ประมาณค่าความแปรปรวนของข้อมูลคือ σ^2 สำหรับตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลในการแจกแจงแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ในการจำลองแบบปัญหา แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์และตัวประมาณค่าสำหรับการแจกแจงแบบต่างๆ

การแจกแจง	พารามิเตอร์	ตัวประมาณค่า
การแจกแจงแบบปกติ	μ และ σ^2	$\bar{x}$ และ S^2
การแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล	β	$\bar{x}$
การแจกแจงแบบปัวซอง	λ	$\bar{x}$
การแจกแจงแบบทวินาม	p	$\bar{x}/n$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
131396

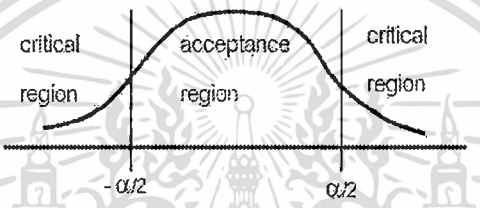
2.2.3.3 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test)

การใช้การทดสอบสมมติฐาน เป็นเทคนิคที่ใช้ทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าพารามิเตอร์ของข้อมูลที่เรากำลังพิจารณา (ทางสถิติเรียกว่าประชากร) และลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็น ของประชากร สมมติฐานที่จะทดสอบนั้นจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

H_0 เป็นสมมติฐานหลัก (Null hypothesis) คือ สมมติฐานที่มีค่าที่ต้องการพิจารณา เช่น $H_0 : \mu = \mu_0$ หรือ $H_0 : \mu \geq \mu_0$, μ_0 คือ ค่าหรือผลของระบบงานจริง

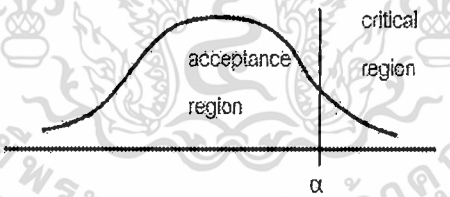
H_a เป็นสมมติฐานรอง (Alternative hypothesis) คือ สมมติฐานที่มีค่าที่ไม่อยู่ในขอบเขตของการพิจารณา เช่น $H_a : \mu \neq \mu_0$ หรือ $H_a : \mu < \mu_0$

ถ้า $H_a : \mu \neq \mu_0$ เป็นการทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน



รูปที่ 2.5 การทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (Two-tailed)

ถ้า $Ha : \mu < \mu_0$ เป็นการทดสอบสมมติฐานแบบด้านเดียว



รูปที่ 2.6 การทดสอบสมมติฐานแบบด้านเดียว (One-tailed)

โดยขั้นตอนของการตรวจสอบสมมติฐาน มีดังนี้

1) ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_a

2) กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) โดยถ้าค่าระดับนัยสำคัญสูง โอกาสที่จะปฏิเสธ H_0 ก็จะสูงด้วย

3) คำนวณค่าสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูล (ค่า Z หรือ t จากข้อมูล)

4) เปรียบเทียบค่าสถิติจากข้อ 3) ว่าอยู่ในช่วงวิกฤต (Critical region) หรือไม่ ถ้าอยู่ในช่วงวิกฤต จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ถ้าไม่ใช่จะยอมรับสมมติฐาน H_0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสถิติที่ใช้สำหรับทดสอบ ได้แก่ ค่า Z_c หรือค่า t_c โดยมีหลักในการใช้งาน ดังนี้

กรณีที่ $n \geq 30$ จะใช้ ค่า Z_c ซึ่งคำนวณ จาก $Z_c = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$

ผลลัพธ์ ถ้า $|Z_c| < Z_\alpha$ แสดงว่า ยอมรับ H_0 (กรณีที่เป็นด้านเดียว)

ถ้า $-Z_{\frac{\alpha}{2}} \leq Z_c \leq Z_{\frac{\alpha}{2}}$ แสดงว่า ยอมรับ H_0 (กรณีที่เป็นสองด้าน)

กรณีที่ $n < 30$ จะใช้ ค่า t_c ซึ่งคำนวณจาก $t_c = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$

ผลลัพธ์ ถ้า $|t_c| < t_{\alpha, n-1}$ แสดงว่า ยอมรับ H_0 (กรณีที่เป็นด้านเดียว)

ถ้า $-t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \leq t_c \leq t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ แสดงว่า ยอมรับ H_0 (กรณีที่เป็นสองด้าน)

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น เป็นเพียงเทคนิคบางส่วนที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในกระบวนการจำลองสถานการณ์ ถึงอย่างไรก็ตาม ยังมีเทคนิคที่น่าสนใจและมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานอีกหลายประเภท โดยการจะพิจารณาเลือกนำเทคนิคใดมาใช้นั้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความต้องการและวัตถุประสงค์ รวมถึงความคาดหลังในผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ของผู้ออกแบบนั่นเอง

2.2.4 ข้อได้เปรียบ และข้อจำกัดของการจำลองสถานการณ์

การจำลองสถานการณ์มีข้อได้เปรียบในการนำไปใช้งานหลายประการ ดังต่อไปนี้

- เนื่องจากการศึกษาการทำงานของระบบจริงนั้นมีกระบวนการหลายขั้นตอน จึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาค่อนข้างมาก ดังนั้น หากนำเทคนิคการจำลองสถานการณ์มาใช้จะสามารถช่วยย่นระยะเวลาในการทดลองให้กระชับขึ้น ส่งผลให้ผู้บริหารสามารถนำผลลัพธ์ที่ต้องการไปใช้ตามวัตถุประสงค์ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว และทันต่อความต้องการ

- สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ไปใช้เป็นเครื่องมือในการทดลองเพื่อประโยชน์ด้านการตรวจสอบความคุ้มค่า ความเหมาะสม รวมถึงแนวโน้มผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นของระบบงานจริง

- สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ไปใช้ในการวิเคราะห์ และแก้ไขปัญหาระบบงานที่มีความซับซ้อนสูงได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีความแม่นยำ เนื่องจาก สามารถจำลองพฤติกรรมได้เสมือนระบบงานจริง อีกทั้ง ไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้ขั้นสูงทางคณิตศาสตร์ เช่น การนำเทคนิคการจำลองสถานการณ์ไปใช้ในการจำลองระบบคิว หรือระบบสินค้าคงเหลือที่มีความซับซ้อน เป็นต้น

แต่ทั้งนี้ การจำลองสถานการณ์ยังพบข้อเสียหรือข้อจำกัดบางประการ ดังต่อไปนี้

- การใช้วิธีการจำลองโดยทั่วไปจะใช้เวลาค่อนข้างมาก อีกทั้ง มีค่าใช้จ่ายในการสร้างตัวแบบจำลอง หรือการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ค่อนข้างมาก ดังนั้น ในปัจจุบัน จึงมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยายามในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการคิดค้นภาษาจำลอง (Simulation Languages) เช่น ภาษา DYNAMO GPSS SIMSCRIPT และ SIMULA มาใช้เพื่อขจัดปัญหาเรื่องระยะเวลาในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- โดยทั่วไป ค่าผลลัพธ์หรือคำตอบที่ได้จากการจำลองสถานการณ์จะอยู่ในรูปแบบของค่าประมาณเท่านั้น ดังนั้น ค่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนในระดับหนึ่ง ซึ่งความคลาดเคลื่อนจะมีมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดและองค์ประกอบของแบบจำลองและการออกแบบการทดลอง ด้วยเหตุนี้ หากนำเทคนิคเชิงวิเคราะห์มาใช้ในการพยากรณ์ จึงเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์และคำตอบที่ถูกต้อง และแม่นยำกว่าการจำลองสถานการณ์

2.2.5 ตัวอย่างกรณีศึกษาเกี่ยวกับการจำลองสถานการณ์

ในหัวข้อนี้ผู้เสนอโครงการได้ยกตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสถานการณ์การจำลองมานำเสนอ เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ในบทต่อไป ทั้งนี้ ผู้เสนอโครงการได้ยกตัวอย่างผลงานวิจัย เรื่อง "การจำลองถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Simulation of Heat Transfer in Heating Tube Bundle with Finite Element Method)" ที่พัฒนาโดย สมจินต์ พ่วงเจริญชัย อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มาใช้เป็นกรณีศึกษา

2.2.5.1 วัตถุประสงค์ และแนวทางศึกษา

การจำลองถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นงานวิจัยที่มุ่งศึกษาการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการเขียนโปรแกรมหาค่าผลเฉลยโดยประมาณของอุณหภูมิภายในแผงท่อให้ความร้อนแบบเชิงเส้นในสถานะชั่วครู่ (Linear Transient Heat Transfer) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบแผงท่อให้ความร้อนที่มีคุณภาพดี โดยการเขียนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณหาค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ตามที่ต้องการ ทำการกำหนดให้แบ่งส่วนของแบบจำลองออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ที่มีขนาดต่างกันแล้วทำการป้อนข้อมูลต่างๆ อันประกอบด้วยจำนวนของชิ้นส่วนย่อย จำนวนของจุดต่อ ข้อมูลจำเพาะสำหรับแต่ละชิ้นส่วน พิกัด ตำแหน่งของจุดต่อต่างๆ จำนวนของชิ้นส่วนย่อย ที่มีอนุพันธ์ของเงื่อนไขขอบเขต และจำนวนเวลาที่ใช้ในการพิจารณา จากนั้นใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณผลลัพธ์ที่ได้แล้วจึงทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้นั้น

2.2.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแผงท่อให้ความร้อนได้จากสมการการอนุรักษ์พลังงานในระบบแกนพิกัดฉาก (Rectangular Coordinate System) ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho c\frac{\partial T}{\partial t}=k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)-\rho c\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\dot{q} \tag{2.8}$$

โดยที่ ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

c คือ ความจุความร้อน (kJ/kg.K)

k คือ สภาพการนำความร้อน (W/m.K)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

q คือ ปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้นเอง (W/m^3)

2.2.5.3 การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์กับปัญหาด้านความร้อน

สำหรับสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อปัญหาด้านความร้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

$$[C]\{\dot{T}\}+([K_c]+[K_h]+[K_c])\{T\}=\{Q_0\}+\{Q_h\} \tag{2.9}$$

โดยเมตริกซ์และโหลดเวกเตอร์ต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$[C]=\sum_{i=1}^{NG}\sum_{j=1}^{NG} W_iW_j\rho c\underset{(4\times1)}{\{N(\xi_i,\eta_j)\}}\underset{(1\times4)}{[N(\xi_i,\eta_j)]}|J(\xi_i,\eta_j)| \tag{2.10}$$

$$[K_c]=\sum_{i=1}^{NG}\sum_{j=1}^{NG} W_iW_j\underset{(4\times2)}{[B(\xi_i,\eta_j)]}k\underset{(2\times4)}{[B(\xi_i,\eta_j)]}|J(\xi_i,\eta_j)| \tag{2.11}$$

$$[K_h]=\sum_{j=1}^{NG} W_jh\underset{(4\times1)}{\{N(\xi,\eta_j)\}}\underset{(1\times4)}{[N(\xi,\eta_j)]}|J(\xi,\eta_j)| \tag{2.12}$$

$$[K_c]=\sum_{i=1}^{NG}\sum_{j=1}^{NG} W_iW_j\rho c\underset{(1\times1)}{\{N(\xi_i,\eta_j)\}}\underset{(1\times2)}{[u\ v]}\underset{(2\times4)}{[B(\xi_i,\eta_j)]} \tag{2.13}$$

$$[Q_0]=\sum_{i=1}^{NG}\sum_{j=1}^{NG} W_iW_jq\underset{(4\times1)}{\{N(\xi_i,\eta_j)\}}|J(\xi_i,\eta_j)| \tag{2.14}$$

$$[Q_h]=\sum_{j=1}^{NG} W_jhT_\infty\underset{(4\times1)}{\{N(\xi,\eta_j)\}}|J(\xi,\eta_j)| \tag{2.15}$$

โดยที่ h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/m^2K)

T_∞ คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของไหลโดยรอบ (K)

2.2.5.4 สมมติฐานที่ใช้ในการจำลอง

1) ไม่มีการสูญเสียความร้อนระหว่างแผงท่อ ให้ความร้อนกับสิ่งแวดล้อม ผนังหุ้มฉนวนโดยรอบ (Adiabatic Wall)

2) พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามเวลา

3) สมการในการวิเคราะห์หาค่าอุณหภูมิเป็นสมการการอนุรักษ์พลังงาน

4) พิจารณาสมบัติของอากาศมีค่าคงที่ในช่วงเวลาที่กำลังพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

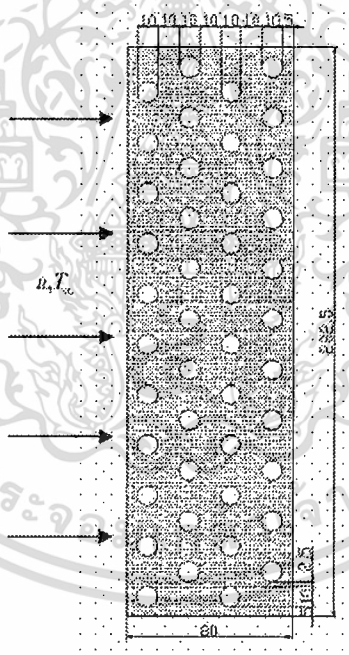
5) ไม่พิจารณาการพาความร้อนโดยอิสระซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของของไหลภายใต้แรงลอยตัวที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น

6) ไม่พิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงมวลความชื้นของอากาศ ขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

7) ไม่พิจารณาผลของการพาความร้อนของของไหลภายในท่อ

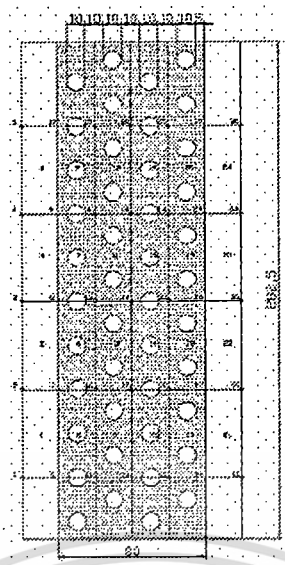
2.2.5.5 การสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองของแผงท่อให้ความร้อนสำหรับการวิจัยนั้น ได้ทำการจำลองแบบมาจากชุดทดสอบแผงท่อให้ความร้อนขนาด 80x282.5x350 mm. โดยลักษณะการจัดวางของกลุ่มท่อภายในเรียงแบบแนวเหลื่อมกันเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวน 44 ท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ดังนั้น จากแบบจำลองของแผงท่อให้ความร้อน สามารถแบ่งเป็นชิ้นส่วนย่อยจำนวน 24 ชิ้นส่วน ที่ประกอบด้วยจุดต่อทั้งหมด 35 จุดต่อ ตามตำแหน่งต่าง ๆ ของเทอร์โมคัปเปิล ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 ลักษณะแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ **2.8** ลักษณะเอลิเมนต์ของแบบจำลองแผงท่อให้ความร้อน

2.2.5.6 ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยกรณีต่างๆ พบว่า เกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าเกรเดียนท์ของอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางของการไหล (K/m)

อุณหภูมิอากาศทางเข้า	อุณหภูมิที่ผิวแผงท่อให้ความร้อน			
	50°C	60°C	70°C	80°C
20°C	82.94	110.59	138.23	165.88
25°C	69.11	96.76	124.41	152.06
30°C	55.29	82.94	110.59	138.23
35°C	41.47	69.11	96.76	124.41

จากผลการทดลอง พบว่า ณ อุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันมาก ผลเกรเดียนท์ของอุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นและลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในแบบจำลองนั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นสู่ภาวะอิ่มตัว กล่าวโดยสรุป คือ ค่าของอุณหภูมิที่บริเวณทางออกของแผงท่อให้ความร้อนจะมีค่าเพิ่มตามลำดับและมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเวลาผ่านไป ค่าของอุณหภูมิภายในของแบบจำลองจะมีค่าคงที่หลังจากนั้นไม่ว่าจะเพิ่มจำนวนเวลามากขึ้นเพียงใดก็ตาม ค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในแบบจำลองจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการออกแบบแผงท่อให้ความร้อนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.7 สรุป

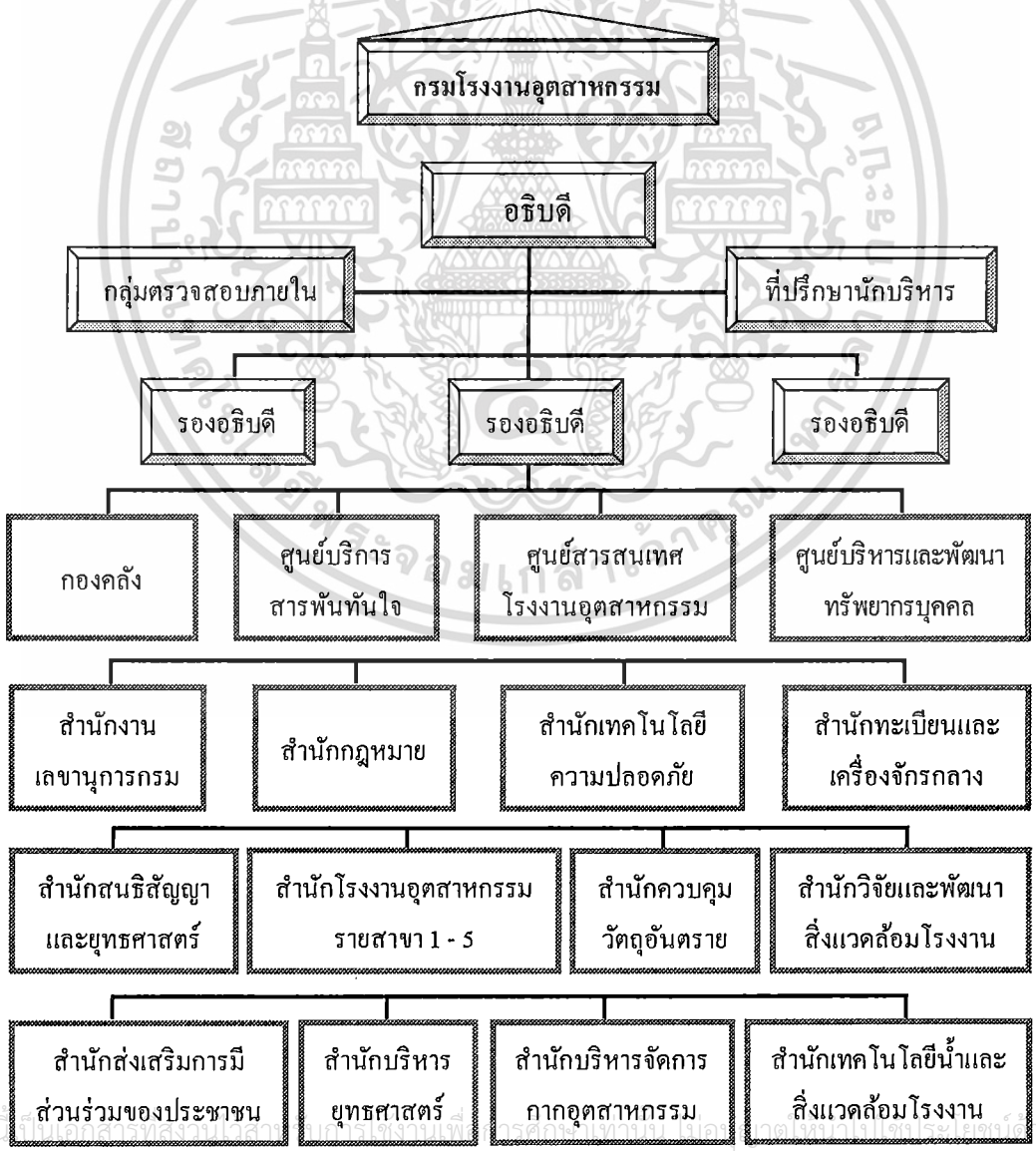
การจำลองการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อน และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบและปรับปรุงแผงท่อให้ความร้อนให้มีคุณภาพดี โดยผู้ออกแบบเลือกใช้ระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ มาใช้เป็นเทคนิคในการสร้างแบบจำลอง จากผลการศึกษา พบว่า แนวโน้มอุณหภูมิเฉลี่ยในทิศทางการไหลจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเวลาผ่านไป ค่าอุณหภูมิภายในแบบจำลองจะมีค่าคงที่ แม้ว่าจะมีจำนวนระยะเวลาเพิ่มขึ้นเพียงใดก็ตาม ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบท่อให้ความร้อนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการได้ แต่ทั้งนี้ ผู้ออกแบบควรศึกษาประเด็นเรื่องการพาความร้อนแบบอิสระที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในอากาศ เนื่องจากการที่อากาศสัมผัสกับผิวของวัตถุที่มีอุณหภูมิต่างกันเพิ่มเติม เพื่อให้ผลของคำตอบที่ได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นและสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 ภาพรวมขององค์กร

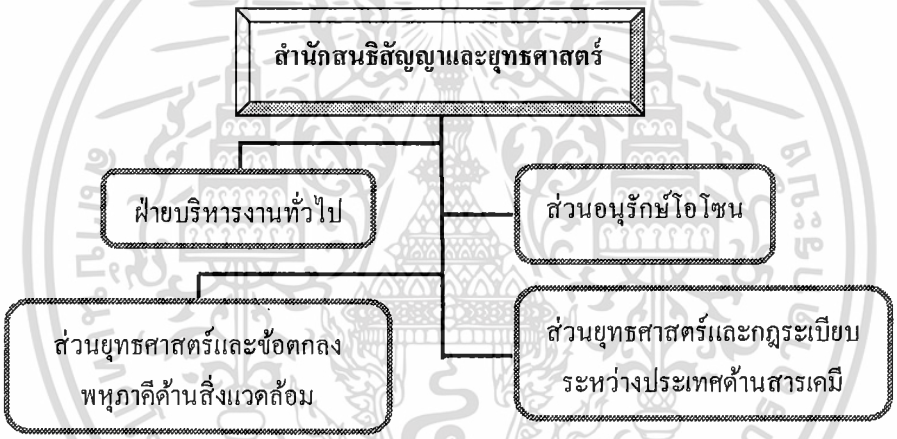
กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม มีภารกิจหลักด้านการกำกับดูแลผู้ประกอบการอุตสาหกรรม ให้เป็นไปตามกฎหมายและข้อตกลงระหว่างประเทศ รวมถึงให้การสนับสนุนข้อมูลและองค์ความรู้ด้านการผลิต เครื่องจักร สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และการให้บริการแปลงสินทรัพย์เครื่องจักรเป็นทุน เพื่อให้ธุรกิจอุตสาหกรรมมีศักยภาพในการแข่งขัน และพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยมีการแบ่งโครงสร้างหน่วยงานภายใน ออกเป็น 16 สำนัก 3 ศูนย์ 1 กอง และ 1 กลุ่ม แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างกรมโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภารกิจด้านข้อตกลงระหว่างประเทศ กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้มอบหมายให้สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ ดูแลรับผิดชอบ โดยมีหน้าที่ความรับผิดชอบด้านการดำเนินการในฐานะหน่วยงานกลางในการร่วมพิจารณาเพื่อกำหนดข้อตกลงระหว่างประเทศตามอนุสัญญาและพิธีสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับวัตถุอันตรายทางอุตสาหกรรม โดยประสานงานกับองค์การระหว่างประเทศรัฐภาคี ส่วนราชการและเอกชนภายในประเทศ เพื่อร่วมประชุมเจรจาให้ข้อคิดเห็นหรือข้อตกลงและดำเนินการให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างประเทศ ศึกษา ติดตามและประเมินผลกระทบของข้อกำหนดของอนุสัญญาและองค์การระหว่างประเทศ เสนอแนะแนวนโยบายในการกำหนดทิศทางการดำเนินงานให้สอดคล้องตามข้อกำหนดของอนุสัญญา อำนวยความสะดวกการปฏิบัติงานตามข้อตกลง ประสานความร่วมมือทางวิชาการระหว่างประเทศ ร่างมาตรฐานระหว่างประเทศที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ข้อมูลข้อตกลงและการดำเนินงานของอนุสัญญา โดยแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบภายในออกเป็น 3 ส่วน 1 ฝ่าย แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างสำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์

จากรูปที่ 3.2 ส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม มีหน้าที่ความรับผิดชอบในฐานะเป็นหน่วยงานผู้มีอำนาจและหน่วยงานกำกับดูแลอนุสัญญาและพิธีสารต่างๆ เช่น อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและพิธีสารเกียวโต อนุสัญญารอตเตอร์ดัมว่าด้วยกระบวนการแจ้งข้อมูลสารเคมีล่วงหน้าสำหรับสารเคมีอันตรายและสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชและสัตว์บางชิดในการค้าระหว่างประเทศ และอนุสัญญาสตอกโฮล์มว่าด้วยสารพิษที่ตกค้างยาวนาน เป็นต้น ซึ่งมีภารกิจหลัก คือ ทำการศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลทางวิชาการ เศรษฐกิจ และอุตสาหกรรม เพื่อจัดทำข้อเสนอด้านยุทธศาสตร์ นโยบาย แผนงาน มาตรการต่างๆ สำหรับการปฏิบัติตามข้อตกลง ติดตามและประเมินผลการดำเนินการเพื่อปฏิบัติตามพันธกรณี ตลอดจนประเมินผลข้อดีข้อเสียและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการจัดทำข้อตกลงหรือข้อบังคับต่างๆ จัดทำข้อมูล/ข้อคิดเห็นเพื่อประกอบการพิจารณาตอบรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อตกลงหรือตอบปฏิเสธข้อตกลงต่างๆ ในแนวทางที่ประเทศจะได้รับประโยชน์สูงสุด จัดทำข้อมูลและข้อคิดเห็นเพื่อเสนอผู้บริหารกำหนดเป็นแนวทางและท่าทีของผู้แทนประเทศไทยในการประชุมเพื่อพิจารณาตัดสินและร่างข้อตกลงพหุภาคี จัดทำความตกลงระดับทวิภาคี พหุภาคี และระดับภูมิภาคเสนอคณะรัฐมนตรีพิจารณา เป็นผู้แทนหน่วยงาน/ประเทศเข้าร่วมประชุมเพื่อดำเนินการให้เป็นไปตามพันธกรณีภายใต้อนุสัญญาทั้งในระดับภูมิภาคและระหว่างประเทศ รวมทั้งเป็นเจ้าภาพในการจัดประชุมระหว่างประเทศ ดำเนินการ/ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อจัดการสัมมนา และจัดทำเอกสารวิชาการเพื่อเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารต่างๆ ให้แก่ภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจได้ทราบ รวมทั้งการประชาสัมพันธ์การดำเนินงานตามข้อตกลงต่างๆ ผ่านทางสื่อต่างๆ และปฏิบัติงาน อื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย ปัจจุบันได้รับมอบหมายให้ดูแลในเรื่องการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และพิธีสารเกียวโต ซึ่งการดำเนินการต้องทำการสำรวจโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำข้อมูล อาทิ ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง ข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ข้อมูลผลิตภัณฑ์ เป็นต้น และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งข้อมูลจากการคำนวณที่ได้จะนำไปใช้กำหนดนโยบายของกระทรวงอุตสาหกรรมและในอนาคตอันใกล้ประเทศไทยต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้เป็นไปตามข้อตกลงหรือพันธกรณี โดยในเรื่องดังกล่าว ส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ เป็นหน่วยงานผู้รับผิดชอบโดยตรงในการเสนอแผนการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม เพื่อนำแผนไปกำหนดนโยบายของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการดำเนินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

3.2 การทำงานของระบบงานปัจจุบัน

ในแต่ละปีงบประมาณ ส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ จะพิจารณาจัดทำแผนการดำเนินงานด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม เสนอความเห็นต่อผู้บริหารระดับสูงของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ความเห็นชอบตามแนวทางที่ได้เสนอไป โดยการจัดทำแผนการดำเนินงาน จะพิจารณาจากองค์ประกอบที่สำคัญตามความเหมาะสม เช่น ประเภทของอุตสาหกรรม จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในแต่ละประเภท ขนาด และศักยภาพของโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยในระหว่างขั้นตอนการพิจารณาให้ความเห็นชอบ อาจมีข้อคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะจากผู้บริหารของกรมโรงงานอุตสาหกรรมในการปรับเปลี่ยนแผนการดำเนินงานที่กำหนดได้ตามความเหมาะสมและปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และเมื่อผู้บริหารของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้ให้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นชอบตามแผนการดำเนินการ ที่เสนอไปแล้วนั้น ผู้ปฏิบัติงานหรือเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องจึงจะดำเนินการตามแผนการดำเนินงานที่ได้กำหนดไว้ โดยการจัดทำแผนการดำเนินงานด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมดังกล่าวข้างต้น แสดงได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ประชุมวางแผนด้านการปฏิบัติงานและการลงพื้นที่เก็บข้อมูล

ก่อนที่ผู้ปฏิบัติงานจะลงพื้นที่สำรวจข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผู้ปฏิบัติงานต้องประชุมร่วมกันเพื่อวางแนวทางในการเก็บข้อมูล โดยพิจารณาและแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบตามความเหมาะสม เมื่อได้รับมอบหมายแล้วผู้ปฏิบัติงานจะเริ่มดำเนินการให้เป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้ข้างต้น ทั้งนี้ เป็นหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานเองที่ต้องรู้จักบริหารเวลาเพื่อให้การดำเนินการต่างๆ ประสบผลสำเร็จตามแผนการดำเนินงาน

2. ตรวจสอบข้อมูลพื้นฐานของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดในกลุ่มเป้าหมาย

ตรวจสอบและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นของโรงงานอุตสาหกรรมตามกลุ่มเป้าหมาย เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ กลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ เป็นต้น โดยอ้างอิงจากฐานข้อมูลโรงงานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล รวมถึงวางแผนการเดินทางไปสำรวจข้อมูล

3. ประสานงานกับโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มเป้าหมาย

ประสานงานเพื่อชี้แจงทำความเข้าใจกับผู้ประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรม ให้ทราบถึงความสำคัญและความประสงค์ในการลงพื้นที่เก็บข้อมูลของเจ้าหน้าที่ และขอความร่วมมือจากผู้ประกอบการในการช่วยเหลือ รวมทั้งอำนวยความสะดวกแก่เจ้าหน้าที่ในการลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูล

4. รวบรวมและจัดเตรียมเอกสารที่จำเป็นและเกี่ยวข้องในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล

จัดเตรียมแบบฟอร์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงรวบรวมเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเตรียมพร้อมในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล โดยแบบฟอร์มที่ใช้ในการเก็บข้อมูล จะประกอบไปด้วยข้อมูลจำเป็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการนำมาคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ ข้อมูลการจัดทำฐานข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรม รายละเอียดแบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรม แสดงได้ดังรูปที่ 3.3

5. ลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มเป้าหมาย

เดินทางลงพื้นที่เพื่อเริ่มทำการสำรวจและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มเป้าหมาย โดยการเก็บข้อมูลนั้น เจ้าหน้าที่จะบันทึกข้อมูลและตัวเลขลงในกระดาษแบบฟอร์ม และต้องเก็บข้อมูลด้วยความละเอียดรอบคอบ เนื่องจากหากมีการบันทึกข้อมูลหรือตัวเลขผิดพลาดแล้ว อาจส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเกิดความคลาดเคลื่อนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูลก่อนทำการคำนวณและประมวลผล

ดำเนินการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ เพื่อหาข้อผิดพลาดของข้อมูลในแต่ละเขตข้อมูล มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความยุ่งยากในการนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณและประมวลผล หรือทำให้ข้อมูลที่ได้ภายหลังการคำนวณเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

7. นำข้อมูลดิบที่ได้มาคำนวณและประมวลผล

เมื่อเจ้าหน้าที่ลงพื้นที่เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องในแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาจำแนกตามประเภทข้อมูลเพื่อทำการคำนวณและประมวลผลโดยยึดหลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 (เอกสารตามภาคผนวก ก) ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ กลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ เป็นต้น ทั้งนี้ ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญในเรื่องการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกโดยเฉพาะ และต้องปฏิบัติงานด้วยความรอบครอบ มิฉะนั้นอาจทำให้ข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลเกิดความผิดพลาด ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเวลาได้ การดำเนินการในขั้นตอนนี้ใช้กระดาษในการเก็บบันทึกข้อมูลทั้งหมด ทั้งที่เป็นข้อมูลดิบและข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล แล้วจึงนำไปรวบรวมจัดเก็บในรูปของแฟ้มเอกสาร

8. นำข้อมูลที่ได้มาจัดทำบัญชีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อนำเสนอผู้บริหาร

เมื่อคำนวณและประมวลผลข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำแนกตามกลุ่มอุตสาหกรรมเรียบร้อยแล้ว จึงจะนำข้อมูลเหล่านั้นมาจัดทำบัญชีรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Green House Gas Inventory) เพื่อเตรียมนำข้อมูลเหล่านั้นนำเสนอผู้บริหารระดับสูงของกรมโรงงานอุตสาหกรรมทราบต่อไป พร้อมทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ได้ตามภารกิจและตามความเหมาะสมได้ต่อไป

9. นำรายงานบัญชีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ได้มาพิจารณาแนวโน้มการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก

หลังจากที่ได้บัญชีรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว เจ้าหน้าที่จะนำข้อมูลจากบัญชีรายงานดังกล่าวมาวิเคราะห์ถึงแนวโน้มการปล่อยปริมาณก๊าซเรือนกระจก เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประชุมเจรจาในระดับหน่วยงานภาครัฐตลอดจนในระดับประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลรายโรงงานอุตสาหกรรม

รายละเอียดสถานประกอบการ

1.1 ชื่อหน่วยงาน..... 1.2 ชื่อนิติบุคคล.....

1.3 เลขทะเบียนโรงงาน..... 1.4 ประกอบกิจการ.....

1.5 พิกัดที่ตั้งโรงงาน..... 1.6 ที่ตั้ง.....

1.7 โทรศัพท์..... โทรสาร.....

1.8 E-mail ..... 1.9 เริ่มเปิดดำเนินการ ปี พ.ศ. .....

1.10 ประเภทผลิตภัณฑ์ (โปรดระบุผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตทั้งหมด)

ผลิตภัณฑ์ที่ 1 .....ปริมาณการผลิต.....ตัน/ปี

ผลิตภัณฑ์ที่ 2 .....ปริมาณการผลิต.....ตัน/ปี

1.11 จำนวนสายการผลิต.....

ข้อมูลการใช้เชื้อเพลิง	
ชนิดของเชื้อเพลิง	
ปริมาณ (ตัน/ปี)	
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (เมกกะจูล/ตัน)	
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิต (เมกกะวัตต์)	
ข้อมูลการผลิต	
ข้อมูลกระบวนการผลิต	
ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกี่ยวข้อง	
ค่าสัดส่วนปริมาณปูนเม็ดในปูนซีเมนต์	
ปริมาณการผลิตฝุ่นของวัตถุดิบ (CKD) (%)	
ข้อมูลวัตถุดิบ	
ข้อมูลผลิตภัณฑ์	
ปริมาณการนำเข้าปูนเม็ด (ตัน)	
ปริมาณการส่งออกปูนเม็ด (ตัน)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แบบฟอร์มการสำรวจข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงงานอุตสาหกรรม

3.3 ปัญหาและข้อจำกัดของระบบงานปัจจุบัน

จากการศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของระบบงานในปัจจุบันด้านการจัดการข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ประสบปัญหาและมีข้อจำกัด ดังต่อไปนี้

1. การเก็บข้อมูลของระบบงานปัจจุบันยังคงเป็นการบันทึกข้อมูลลงในกระดาษที่อาจก่อให้เกิดการสูญหายหรือเสื่อมสภาพของวัสดุในการจัดเก็บได้ อีกทั้ง พื้นที่ในการจัดเก็บแฟ้มเอกสารมีจำกัดและไม่เพียงพอต่อความต้องการ อีกทั้งปริมาณเอกสารก็มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

2. การคำนวณและประมวลผลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้น ผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการคำนวณข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละเขตข้อมูลที่มีอยู่เป็นจำนวนมากด้วยระบบมือ (Manual) จึงอาจก่อให้เกิดความล่าช้า และเกิดความผิดพลาดจากการประมวลผลข้อมูลได้ง่าย เมื่อเทียบกับระบบคอมพิวเตอร์

3. จำนวนเจ้าที่ผู้ปฏิบัติงานนั้นมีไม่เพียงพอเมื่อเทียบกับภาระงานที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้การปฏิบัติงานมักไม่เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในแผนการดำเนินงาน จึงก่อให้เกิดความล่าช้า ไม่ตรงกับวัตถุประสงค์และไม่ทันต่อความต้องการในการใช้ข้อมูล รวมทั้งไม่สามารถตอบสนองนโยบายได้อย่างทันท่วงที

4. การเก็บข้อมูลของระบบงานปัจจุบัน ข้อมูลจะถูกกระจายเก็บไว้กับเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบงานแต่ละส่วน ทำให้ข้อมูลถูกเก็บไว้แบบกระจัดกระจาย ไม่รวมไว้ให้อยู่ในที่เดียวกัน ส่งผลให้ข้อมูลอาจเกิดการสูญหาย อีกทั้ง เกิดความยุ่งยากในการเข้าถึงข้อมูลจำเป็นต่างๆ ในการนำข้อมูลไปพิจารณาแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอีกด้วย

5. จากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานในระบบปัจจุบัน พบว่าปัญหาหลัก คือ เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ยังขาดเครื่องมือที่ช่วยในการบริหารจัดการและวิเคราะห์แนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมถึงแนวทางการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ภาครัฐไม่มีข้อมูลประกอบการตัดสินใจเพื่อกำหนดนโยบายหรือแนวทางในการบริหารจัดการปริมาณก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมได้อย่างชัดเจนและเป็นรูปธรรม

3.4 การวิเคราะห์และออกแบบระบบงาน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และการออกแบบระบบงาน รวมทั้งกำหนดความต้องการของระบบใหม่ที่จะใช้ในการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยใช้หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Panel on Climate Change หรือ IPCC) ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นแนวทางเพื่อให้การพัฒนาแบบจำลองแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้งานได้จริง หลังจากได้หลักการในเบื้องต้นแล้ว ผู้เสนอโครงการจะนำหลักการดังกล่าวมาพัฒนาให้ได้แบบจำลอง (Simulation Model) โดยศึกษากระบวนการทำงานในภาพรวมของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์และระบบการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงการประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตามลำดับดังนี้

3.4.1 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 ดังภาคผนวก ก ได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 6 กลุ่ม ดังนี้ 1.กลุ่มการใช้พลังงาน 2.กลุ่มกระบวนการผลิต 3.กลุ่มการใช้สารระเหยอินทรีย์ 4.กลุ่มการเกษตร 5.กลุ่มการใช้และการเปลี่ยนแปลงที่ดินและป่า และ 6.กลุ่มขยะและของเสีย ทั้งนี้ ผู้เสนอโครงการได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมต้นแบบ ดังนั้น หลักการคำนวณก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องในการศึกษานี้ คือ กลุ่มการใช้พลังงาน และกลุ่มกระบวนการผลิต (อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์) โดยสามารถสรุปหลักการคำนวณก๊าซเรือนกระจกได้ดังต่อไปนี้

3.4.1.1 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มการใช้พลังงาน (ภาคผนวก ก Chapter 1 Energy หน้าที่ 1 ถึง หน้าที่ 33)

โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมมีกิจกรรมหลักที่เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจก ได้แก่

1) การเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ (Fuel Combustion)

- การเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบอยู่กับที่ (Stationary Combustion) เช่น การใช้เชื้อเพลิงในการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตได้แก่ เตาเผาอุตสาหกรรม เตาอบ หม้อไอน้ำ เป็นต้น

- การเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบเคลื่อนที่ (Mobile Combustion) เช่น การใช้เชื้อเพลิงในรถยนต์สำหรับขนส่งภายในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

ในการคิดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมจะต้องคิดการใช้เชื้อเพลิงทุกประเภท (รวมเชื้อเพลิงที่ได้จากการนำขยะและของเสียมาเผาแล้วได้พลังงานออกมา หรือ Waste to Energy) สำหรับแนวทางของ IPCC ได้จัดทำรายการของเชื้อเพลิงต่างๆ ไว้ ดังแสดงในตารางที่ 1-1 ตามภาคผนวก ก (Chapter 1 Energy หน้าที่ 12)

2) การเล็ดลอดของก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต ขนส่ง หรือใช้งาน

- การเล็ดลอดของก๊าซมีเทนจากการทำเหมืองถ่านหิน (CH_4 Fugitive from Coal Mining)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ โดยวิธีการคำนวณปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4 Fugitive from Oil and Gas Production) ที่เล็ดลอดจากแหล่งกำเนิด เช่น การเผาก๊าซทิ้ง ระบายทิ้ง และซ่อมบำรุง เป็นต้น

3) การใช้พลังงานไฟฟ้า

- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต

- การใช้พลังงานไฟฟ้าในหน่วยสนับสนุนกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ สัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับกิจกรรมหรือลักษณะทางเศรษฐกิจของประเทศนั้นๆ แต่สำหรับประเทศกำลังพัฒนาที่ไม่มีประสบการณ์ในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก สามารถใช้การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานซึ่งมีการปล่อยก๊าซ CO_2 เป็นแนวทางเบื้องต้น โดยในการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต้องนำข้อมูลปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเพื่อหาปริมาณคาร์บอนที่ใช้ และการแปลงค่าคาร์บอนไปเป็นปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ โดยการหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ 1.เชื้อเพลิงชนิดปฐมภูมิ และ 2.เชื้อเพลิงชนิดทุติยภูมิ รายละเอียดดังนี้

สำหรับเชื้อเพลิงชนิดปฐมภูมิ (Primary Fuel) หาได้จาก สมการที่ 3.1

$$Q_f = P_r + I_m - E_x - I_nB_u - S_tC_h \quad (3.1)$$

สำหรับเชื้อเพลิงชนิดทุติยภูมิ (Secondary Fuel) หาได้จาก สมการที่ 3.2

$$Q_f = I_m - E_x - I_nB_u - S_tC_h \quad (3.2)$$

โดยที่ Q_f = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ตัน)

P_r = ปริมาณการผลิต

I_m = ปริมาณการนำเข้า

E_x = ปริมาณการส่งออก

I_nB_u = ปริมาณการขนส่งเชื้อเพลิงระหว่างประเทศ

S_tC_h = ปริมาณการเปลี่ยนแปลงปริมาณคงคลัง

และยังมีวิธีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยใช้สมการการคำนวณหาปริมาณการปล่อยคาร์บอน (Carbon Emission) แสดงได้ดังสมการที่ 3.3

$$\text{Carbon Emission} = \sum [(Q_f \times CF \times EF_C - C_s) \times F_{OC}] \quad (3.3)$$

โดยที่ Q_f = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (ตัน)

CF = สัมประสิทธิ์การแปลงค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงานในหน่วย (TJ)

EF_C = สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน

C_s = คาร์บอนที่ถูกกักเก็บ

F_{OC} = สัดส่วนคาร์บอนที่เกิดการสันดาป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหาคาร์บอนที่ถูกกักเก็บ หาได้จากสมการที่ 3.4

$$C_s = \sum [Q_f \times CF \times EF_C \times F_C] \quad (3.4)$$

โดยที่ F_C = สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง

โดยการคำนวณการปล่อยคาร์บอน ตามหมวดต่างๆ มีข้อควรพิจารณา ดังนี้

1. ระบุปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่เผาไหม้

2. หาค่าสัดส่วน (Fraction) ของคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างการใช้เชื้อเพลิงและที่สะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

3. การปรับแก้ของคาร์บอนที่ไม่สันดาป (Carbon Unoxidized)

4. แยกการปล่อยก๊าซออกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากพืช (Biofuels)

3.4.1.2 หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มกระบวนการผลิต (อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์) (ภาคผนวก ก Chapter 2 Industrial Processes หน้าที่ 1 ถึง หน้าที่ 7)

วิธีการทั่วไปที่ใช้ในประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการทางอุตสาหกรรมแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับระดับข้อมูลของกิจกรรม เช่น ปริมาณของผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบที่เกิดขึ้นหรือใช้ไป และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบ โดยวิธีการคำนวณแสดงได้ดังสมการที่ 3.5

$$TOTAL_{ij} = A_j \times EF_{ij} \quad (3.5)$$

โดยที่ $TOTAL_{ij}$ = ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ตัน) i จากกระบวนการอุตสาหกรรม j

A_j = ปริมาณของกิจกรรม เช่น ปริมาณผลผลิตหรือวัตถุดิบจากกระบวนการอุตสาหกรรม j (ตัน/ปี)

EF_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก i ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลกิจกรรมจากกระบวนการอุตสาหกรรม j (ตัน CO_2 /ตันผลผลิต)

ในบางกรณีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการทางอุตสาหกรรมของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมเพียงไม่กี่แห่งในบางประเทศ ดังนั้นข้อมูลการตรวจวัด (Measurement Data) จึงหาได้ง่าย ดังนั้นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกควรใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแทนการใช้ข้อมูลทั่วไป และกรณีที่ไม่มีข้อมูลดังกล่าว การคำนวณควรใช้ข้อมูลเฉพาะเจาะจงของโรงงาน (Plant Specific Data)

ในส่วนกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ตามแนวทางของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 ผู้เสนอโครงการได้ทำการศึกษาและสามารถสรุปแนวทางการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ พบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตนี้ไม่นับว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกตามพิธีสารเกียวโต ดังนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเกิดจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 2-1 ตามภาคผนวก ก (Chapter 2 Industrial Processes หน้าที่ 3)

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์เป็นกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตปูนเม็ด อุณหภูมิที่สูงในเตาเผาปูนเม็ด (Kiln) ทำให้วัตถุดิบ (มีแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นองค์ประกอบจากหินปูน หินชอล์ค) เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไปเป็นปูนขาว (CaO) ในกระบวนการเรียกว่า Calcination หรือ Calcining ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นปูนเม็ด (เม็ดกลมสีเทาดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร ปูนเม็ดที่ได้จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซีเมนต์ชนิดต่างๆ และผลผลิตที่ได้เรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปัจจุบันกำลังมีการค้นคว้าหาวิธีการผลิตปูนให้ได้คุณสมบัติใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ใช้ปูนขาวในปริมาณที่น้อยกว่า เนื่องจากปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนขาวเป็นหลัก ดังนั้น หากจำนวนของปูนขาวที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ลดลง จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงด้วยเช่นกัน

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถทำได้โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor : EF) กับผลผลิตปูนเม็ดหรือผลผลิตปูนซีเมนต์ โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ สัดส่วนของปูนขาว (CaO) ในปูนเม็ด (Clinker) หรือปูนซีเมนต์ (Cement) กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณปูนขาว 1 หน่วย แสดงดังสมการที่ 3.6 และ 3.7

$$EF_{clinker} = \text{สัดส่วนของ } CaO_{clinke} \times (44.01 \text{ กรัม/โมล } CO_2 / 56.08 \text{ กรัม/โมล CaO}) \quad (3.6)$$

$$EF_{cement} = \text{สัดส่วนของ } CaO_{cement} \times (44.01 \text{ กรัม/โมล } CO_2 / 56.08 \text{ กรัม/โมล CaO}) \quad (3.7)$$

จากสมการ 3.6 - 3.7 ข้างต้น สามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปูนเม็ด โดยการหาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของ CaO ในปูนเม็ด ซึ่งการผลิตปูนซีเมนต์ต้องนำปูนเม็ดมาผสมกับยิปซั่ม โดยปราศจากส่วนผสมของปูนขาว ดังนั้นปริมาณปูนขาวในปูนเม็ดจะมีมากกว่าปริมาณปูนขาวในปูนซีเมนต์ ปริมาณของปูนขาวในปูนเม็ดมีค่าเฉลี่ย ร้อยละ 64.6 เมื่อนำค่าเฉลี่ยไปคูณกับสัดส่วนน้ำหนักโมลของ CO_2/CaO (0.785) จะทำให้ทราบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปูนเม็ด เท่ากับ 0.5071 ตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนเม็ด ดังสมการที่ 3.8

$$EF_{clinker} = 0.646 \times 0.785 = 0.5071 \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นกรณีที่ไม่มีข้อมูลการผลิตปูนเม็ด ดังนั้น การหาค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงใช้ข้อมูลจากการผลิตปูนซีเมนต์แทน โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะใช้ค่าส่วนประกอบ CaO ในปูนซีเมนต์ เท่ากับ ร้อยละ 63.5 ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.4985 คาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนซีเมนต์ ดังสมการที่ 3.9

$$EF_{cement} = 0.635 \times 0.785 = 0.4985 \quad (3.9)$$

หลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแล้ว นำไปคูณปริมาณของกิจกรรม ตามสมการที่ 3.5 ที่แสดงไว้ข้างต้น จะทำให้ได้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.4.2 การสร้างแบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

หลักจากที่ได้ศึกษาหลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างแบบจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีความสอดคล้องกับแนวทางของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 ซึ่งการดำเนินการจำเป็นต้องทราบกระบวนการหรือกรรมวิธีในการผลิตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ แล้วจำลองออกมาในรูปฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ ดังนั้น ผู้เสนอโครงการ จึงได้ศึกษากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดก๊าซเรือนกระจก ดังนี้

3.4.2.1 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ หมายถึง สารประกอบอย่างหนึ่ง มีลักษณะเป็นผงที่บดละเอียด ซึ่งเมื่อได้ผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่พอดีแล้วทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการแข็งตัว โดยมนุษย์ในสมัยโบราณได้ค้นพบว่าเมื่อเอาหินบางชนิด มาทำการเผาจนสลายเป็นผงแล้วบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมน้ำทิ้งไว้เป็นเวลาหนึ่ง ก็จะได้ผลผลิตที่แข็งเป็นก้อน เป็นรูปร่างตามต้องการ ปูนซีเมนต์ในปัจจุบันทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินั่ม หรือซิลิก้า เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ หินปูน หินเชลล์ ดินเหนียว เป็นต้น และอาจมีการผสมธาตุเหล็กด้วย ปัจจุบันปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันมาก คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยคุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่เป็นวัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิต สารประกอบที่อยู่ในวัตถุดิบเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันในขั้นตอนการเผาในเตาเผา (Rotary Kiln) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1. วัสดุธาตุปูน (calcareous materials) เป็นออกไซด์ของธาตุแคลเซียม (calcium) ได้แก่ หินปูน (limestone) และหินชอล์ก (chalk)

2. วัสดุอาจิลลาเซียส (argillaceous materials) เป็นออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (silicon) อลูมิเนียม (aluminium) ได้แก่ ดินเหนียว หินเชลล์หรือดินดาน (shale) และ หินชนวน (slate) ในบางครั้ง ดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีทั้งออกไซด์ของแคลเซียมและซิลิกอน ได้แก่ ดินมาร์ล (marl) นอกจากนี้ การผลิตปูนซีเมนต์ยังต้องการวัตถุดิบชนิดอื่นร่วมด้วย อาทิ ออกไซด์ของเหล็ก (iron oxide)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไซด์ของอลูมิเนียมและเหล็ก ช่วยให้ปฏิกิริยาในเตาเผาเกิดได้ง่ายขึ้น ยิปซัม (gypsum) ช่วยหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเกินไปโดยบดร่วมกับปูนเม็ด (clinker) ในขั้นตอนสุดท้าย

3.4.2.2 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

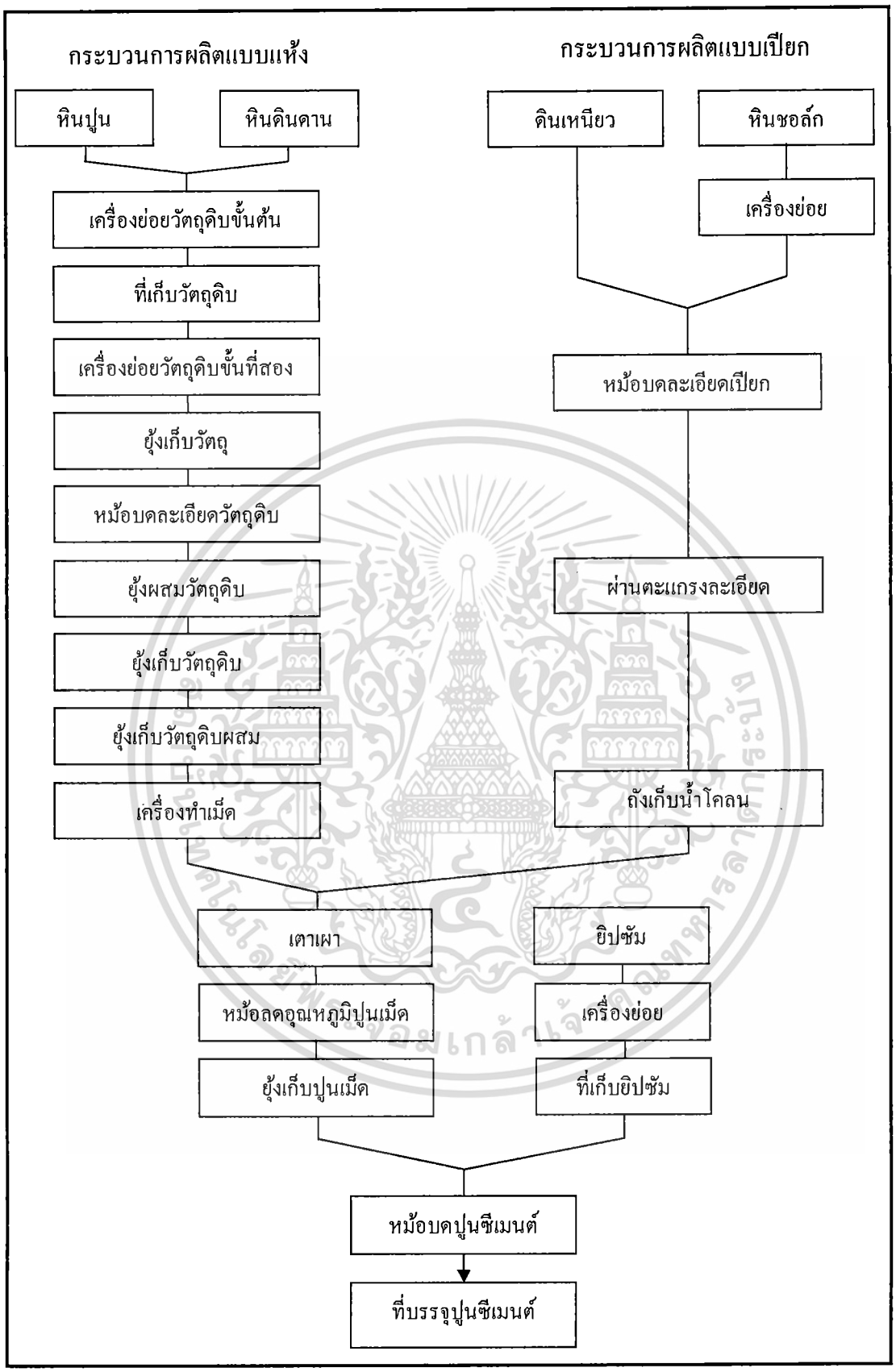
กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียก (wet process) และกระบวนการผลิตแบบแห้ง (dry process) แสดงดังรูปที่ 3.4 และตัวอย่างขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยการเลือกกระบวนการผลิตแบบใดขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุดิบในสภาพธรรมชาติ ความแข็งของวัตถุดิบ และชนิดของวัตถุดิบ ที่ความชื้นช่วงหนึ่ง การบดวัตถุดิบให้ละเอียดจะทำได้ยาก จำเป็นต้องขจัดความชื้นที่มีอยู่หรือเพิ่มน้ำให้มีปริมาณมากขึ้น ถ้าวัตถุดิบเป็นดินเหนียวจะมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงใช้กระบวนการผลิตแบบเปียก หากวัตถุดิบเป็นหินปูนและหินเชลล์จะมีความชื้นค่อนข้างต่ำจึงควรใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง ในปัจจุบันนิยมกระบวนการ ผลิตแบบแห้ง เพราะค่าใช้จ่ายถูกกว่ากระบวนการผลิตแบบเปียกมาก เนื่องจากเตาเผาของระบบแห้งมีขนาดเล็กกว่าระบบเปียก และพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเผาจะน้อยกว่าของระบบเปียกมาก

ในกระบวนผลิตแบบเปียก วัตถุดิบจะผสมกับน้ำตามสัดส่วนที่กำหนด โดยปกติถ้าใช้ดินเหนียวและหินชอล์ก จะใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำประมาณ 1:3 จากนั้นจะบดส่วนผสมให้ละเอียดในหม้อบดละเอียดเปียก (wash mill) ได้น้ำโคลนข้น (slurry) และนำไปผ่านตะแกรงละเอียดแล้วส่งเข้าเตาเผา วัตถุดิบที่ป้อนเข้าเตาเผาจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 35 ถึง 50

ในกระบวนการผลิตแบบแห้ง วัตถุดิบที่ระเบิดมาจากเหมืองจะนำมาย่อยให้เล็กลงในเครื่องย่อยขั้นต้น (primary crusher) และเครื่องย่อยขั้นที่สอง (secondary crusher) ตามลำดับ จากนั้นจึงนำวัสดุไปบดละเอียดในหม้อบดวัตถุดิบ (raw mill) แล้วผสมกันตามสัดส่วนที่ต้องการในไซโลผสมวัตถุดิบ (blending silo) จากนั้นเพิ่มความร้อนของวัตถุดิบด้วยลมร้อนก่อนส่งเข้าเตาเผา ในกรณีของกระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้ง (semi-dry process) จะนำวัตถุดิบไปทำเป็นเม็ดโดยการเติมน้ำเล็กน้อยและผ่านเข้าไปในเครื่องทำเม็ด (granulator) วัตถุดิบจะจับกันเป็นก้อนกลมขนาดประมาณ 12 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อทำให้การป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เตาเผาสะดวกขึ้น วัตถุดิบจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 ดังนั้น เตาเผาของกระบวนการผลิตแบบแห้งและกึ่งแห้งจึงมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาในกรณีกระบวนการผลิตแบบเปียก

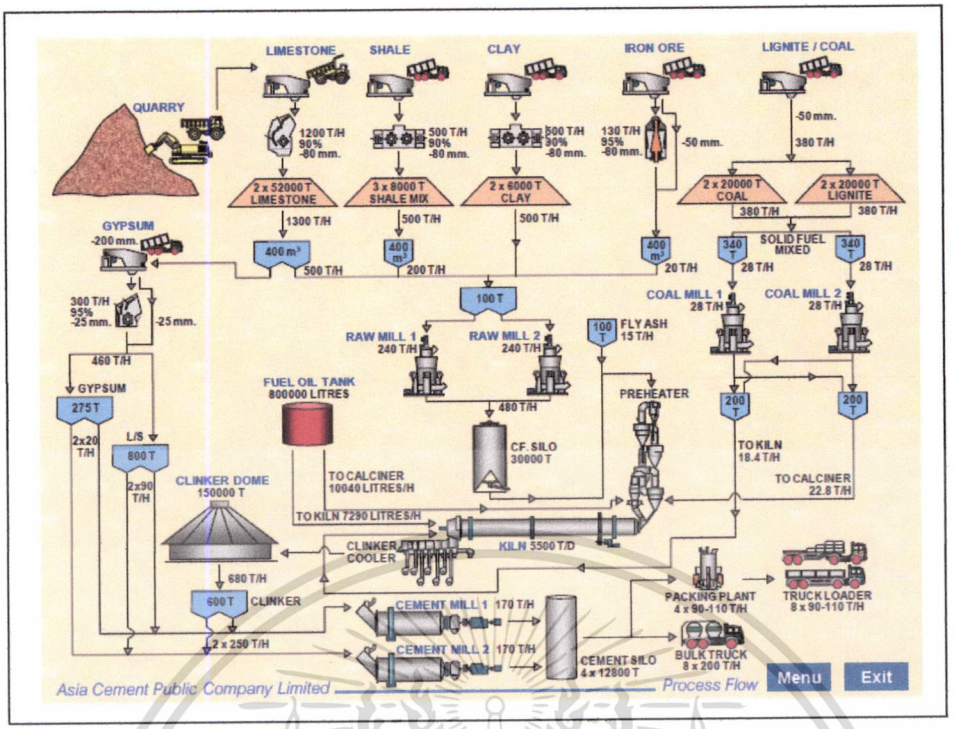
เตาเผาของโรงงานปูนซีเมนต์เป็นเตาเผาแบบหมุน (rotary kiln) ทำด้วยเหล็กกล้ารูปทรงกระบอก ข้างในบุด้วยอิฐทนไฟ เตาเผาแบบหมุนมีความเอียงจากแนวราบเล็กน้อยประมาณ 3 ถึง 5 ในร้อย และหมุนรอบแกนของทรงกระบอกอย่างช้าๆ ประมาณ 1 ถึง 3 รอบต่อนาที เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา เช่น ถ่านหิน น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ วัตถุดิบจะป้อนเข้าทางส่วนบนของเตา สำหรับกระบวนการผลิตแบบเปียกวัตถุดิบ อยู่ในเตาเผาเป็นเวลานาน 2 ถึง 2 ½ ชั่วโมง และใช้เวลา ½ ถึง 1 ชั่วโมง สำหรับกรณีการผลิตแบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรม

3.4.2.3 แหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตซีเมนต์ข้างต้น สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 2 แหล่ง ดังนี้

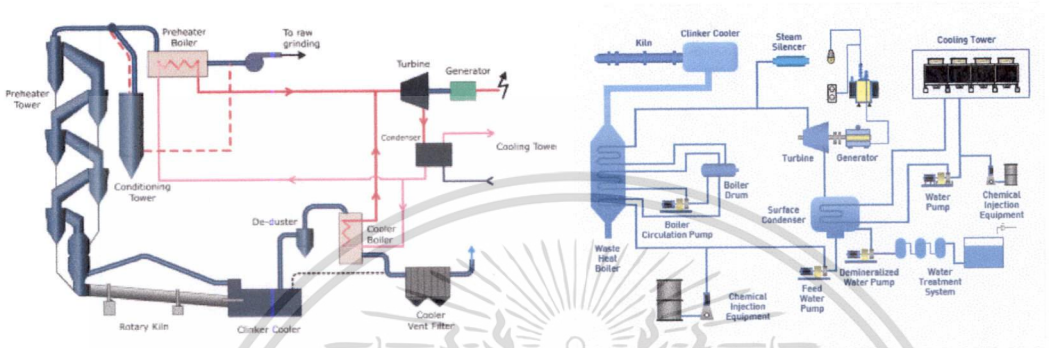
1. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดพลังงาน (Energy)

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงาน (Energy) ของอุตสาหกรรมซีเมนต์ เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Fuel combustion) ในอุปกรณ์ให้ความร้อนเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ อาทิ เตาเผา (Rotary Kiln) หม้ออุ่นน้ำมันเตา ((Boiler) รวมทั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนอื่นๆ (Heat Generator) และการผลิตพลังงานไฟฟ้า

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เกิดขึ้นในเตาเผา (Kiln) โดยส่วนใหญ่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อน ดังนั้น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิง ค่าความร้อน และการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (สันดาป) สมบูรณ์หรือไม่ นอกจากนี้ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์หลายๆ แห่ง ยังมีการใช้เชื้อเพลิงทดแทนชนิดอื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล น้ำมันใช้แล้ว ยาง พลาสติก และผ้า เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงทดแทนที่หาได้และการออกแบบระบบป้อนเชื้อเพลิง ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำเป็นต้องทำรายการเชื้อเพลิงที่ใช้ทุกรายการ รวมทั้งปริมาณการใช้ของเชื้อเพลิงแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์มีความร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงเป็นปริมาณมาก โดยบางโรงงานมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าโดยติดตั้งชุดหม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง (Waste Heat Boiler) ผลิตไอน้ำเพื่อนำไปหมุนกังหันไอน้ำซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) แสดงดังรูปที่ 3.6 โดยทั่วไปการผลิตไฟฟ้าจะใช้ความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตาม กรณีที่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมในการผลิตไฟฟ้า เช่น ช่วงเริ่มเดินเครื่องใหม่ หรือความร้อน ไม่เพียงพอ ต้องคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ด้วย



รูปที่ 3.6 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมในหมวดพลังงานสามารถประเมินจากข้อมูลการจัดหาพลังงาน (Energy Supply) และการปรับค่าการเกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (จากการที่คาร์บอนในเชื้อเพลิงไม่เกิดการสันดาปกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด) การจัดหาข้อมูลสำหรับเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ทั้งหมดประกอบกับปริมาณคาร์บอน (Carbon Content) ในเชื้อเพลิงซึ่งจะใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง สามารถสรุปขั้นตอนการประเมินการปล่อยก๊าซ CO_2 ได้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาปริมาณการใช้เชื้อเพลิง แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิงทุกประเภท

ขั้นตอนที่ 2 แปลงค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงานในหน่วยเทอราจูล (TJ)

ขั้นตอนที่ 3 เลือกสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (Carbon Emission Factor, C_{EF}) ของเชื้อเพลิงหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดและปริมาณคาร์บอน (Carbon Content) รวมของเชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 4 การประมาณปริมาณกักเก็บคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ (Carbon Stored in Products)

ขั้นตอนที่ 5 การประมาณคาร์บอนที่ไม่เกิดการสันดาป (Unoxidized Carbon) ในการเผาไหม้

ขั้นตอนที่ 6 การแปลงค่าการปล่อยคาร์บอนเป็นน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น ผู้เสนอโครงการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$\text{Actual Carbon Emission} = [(Q_f \times CF \times EF_C)(1 - F_C)(F_{OC} \times MWco_2/MW_C)]_i \quad (3.10)$$

โดยที่ Q_f = Quantity of Fuels คือ ปริมาณการการใช้เชื้อเพลิง (ตัน)

CF = Conversion Factor คือ สัมประสิทธิ์การแปลงค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงานในหน่วย (TJ) จากตารางที่ 3.1

EF_C = Carbon Emission Factor คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (kg.C/GJ) จากตารางที่ 3.2

F_C = สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง จากตารางที่ 3.3

F_{OC} = Fraction of Oxidized Carbon คือ ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป จากตารางที่ 3.4

$MWco_2$ = Molecular Weight of CO_2

MWc = Molecular Weight of C

i = ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน (Energy) นอกจากจะเกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Fuel combustion) ในอุปกรณ์ให้ความร้อน ซึ่งถือเป็นการปลดปล่อยแบบทางตรงแล้ว ยังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นการปลดปล่อยแบบทางอ้อม สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ มีทั้งการซื้อจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง เช่น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นต้น รวมทั้งการผลิตใช้เองหรือจำหน่าย ดังนั้นการคิดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานให้คิดปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าเท่านั้น ส่วนปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตใช้เองและจำหน่าย ไม่ต้องนำมาคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถูกรายงานในส่วนของการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว แสดงได้ดังสมการที่ 3.11

$$\text{Emission of Grid} = EF_{grid} \times Q_{PC} \quad (3.11)$$

โดยที่ EF_{grid} = Emission Factor คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า (0.5113 ton CO_2/MWh)

Q_{PC} = Power Consumption คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่นำเข้าจากการไฟฟ้า (MWh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการใช้พลังงาน แสดงดังสมการที่ 3.12

$$\text{Total Emission of Energy} = \sum (\text{Direct Emission} + \text{Indirect Emission})_i$$
$$= \sum (\text{Actual Carbon Emission} + \text{Emission of Grid})_i$$
$$= \sum [(Q_f \times CF \times EF_C)(1 - F_C)(F_{OC} \times MWco_2/MW_C)]_i + (EF_{grid} \times Q_{PC}) \quad (3.12)$$

โดยที่ Q_f = Quantity of Fuels คือ ปริมาณการการใช้เชื้อเพลิง (ตัน)

CF = Conversion Factor คือ สัมประสิทธิ์การแปลงค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงาน (TJ)

EF_C = Carbon Emission Factor คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (kg.C/GJ)

F_C = สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง

F_{OC} = Fraction of Oxidized Carbon คือ ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป

$MWco_2$ = 44.01

MWc = 12.0

i = ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

EF_{grid} = 0.5113 ton CO_2/MWh

Q_{PC} = Power Consumption คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่นำเข้าจากการไฟฟ้า (MWh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ค่า Default net calorific value (NCVs) และค่า Lower Limit และ Upper Limit

ประเภทเชื้อเพลิง		Net calorific Value (TJ/Gg)	Lower	Upper
น้ำมันดิบ (Crude oil)		42.3	40.1	44.8
ออริมัลชั่น (Orimulsion)		27.5	27.5	28.3
ก๊าซธรรมชาติเหลว (Natural Gas Liquids)		44.2	40.9	46.9
ก๊าซโซลีน	ใช้ในรถยนต์ (Motor Gasoline)	44.3	42.5	44.8
	ใช้ในเครื่องบินใบพัด (Aviation Gasoline)	44.3	42.5	44.8
	ใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet Gasoline)	44.3	42.5	44.8
น้ำมันก๊าดสำหรับใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet kerosene)		44.1	42.0	45.0
น้ำมันก๊าดชนิดอื่นๆ		43.8	42.4	45.2
หินน้ำมัน (Shale oil)		38.1	32.1	45.2
ก๊าซ/น้ำมันดีเซล (Gas/diesel oil)		43.0	41.4	43.3
กากน้ำมันเชื้อเพลิง (Residual Fuel oil)		40.4	39.8	41.7
ปิโตรเลียมก๊าซเหลว (Liquefied Petroleum Gas)		47.3	44.8	52.2
อีเธน (Ethane)		46.4	44.9	48.8
แนฟทา (Naphtha)		44.5	41.8	46.5
บิทูเมน (Bitumen)		40.2	33.5	41.2
น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant)		40.2	33.5	42.3
ถ่านโค้กปิโตรเลียม (Petroleum Coke)		32.5	29.7	41.9
วัตถุดิบในกระบวนการกลั่น (Refinery Feedstock)		43.0	36.3	46.4
น้ำมันอื่นๆ	ก๊าซจากกระบวนการกลั่น (Refinery Gas)	49.5	47.5	50.6
	พาราฟิน แว็กซ์ (Paraffin Waxes)	40.2	33.7	48.2
	White spirit และ SBP	40.2	33.7	48.2
	ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมประเภทอื่นๆ	40.2	33.7	48.2
แอนทราไซด์ (Anthracite)		26.7	21.6	32.2
Coking Coal		28.2	24.0	31.0
ถ่านหินบิทูมินัส		25.8	19.9	30.5
ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub bituminous)		18.9	11.5	26.0
ลิกไนต์ (Lignite)		11.9	5.50	21.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ประเภทเชื้อเพลิง		Net calorific Value (TJ/Gg)	Lower	Upper
หินน้ำมันและทรายน้ำมัน (Oil shale and Tar sand)		8.9	7.1	11.1
ถ่านหินสีน้ำตาลแบบอัดก้อน (Brown Coal Briquettes)		20.7	15.1	32.0
Patent fuel		20.7	15.1	32.0
ถ่านหิน	Coke Oven Coke และLignite Coke	28.2	25.1	30.2
	ก๊าซจากถ่านโค้ก (Gas Coke)	28.2	25.1	30.2
Coal Tar		28.0	14.1	55.0
Derived Gases	ก๊าซจากกระบวนการผลิตก๊าซ (Gas Work Gas)	38.7	19.6	77.0
	ก๊าซจากเตาเผาถ่านโค้ก (Coke Oven Gas)	38.7	19.6	77.0
	ก๊าซจาก Blast Furnace (Blast Furnace Gas)	2.47	1.20	5.00
	Oxygen Steel Furnace Gas	7.06	3.80	15.0
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas)		48.0	46.5	50.4
ขยะเทศบาล (Municipal Waste) (ไม่ใช่สารชีวมวล)		10	7	18
ขยะอุตสาหกรรม (Industrial Waste)		NA	NA	NA
กากน้ำมัน (Waste oil)		40.2	20.3	80.0
พีทหรือถ่านหินเลน (Peat)		9.76	7.80	12.5
Solid Biofuels	ไม้หรือเศษไม้	15.6	7.90	31.0
	Sulphite Lyes (Black Liquor)	11.8	5.90	23.0
	ของแข็งชีวมวลปฐมภูมิอื่นๆ	11.6	5.90	23.0
	Charcoal	29.5	14.9	58.0
Liquid Biofuels	ก๊าซโซลีนชีวภาพ (Biogasoline)	27.0	13.6	54.0
	น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel)	27.0	13.6	54.0
	เชื้อเพลิงชีวภาพประเภทอื่นๆ	27.4	13.8	54.0
Gas Biofuel	ก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบ (Landfill Gas)	50.4	25.4	100
	ก๊าซจากสลัจน์ (Sludge Gas)	50.4	25.4	100
	ก๊าซชีวภาพประเภทอื่นๆ	50.4	25.4	100
ขยะเทศบาล (เป็นสารชีวมวล)		11.6	6.80	18.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่ากลาง (Default value) สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง (Carbon Emission Factor)

ประเภทเชื้อเพลิง	Default Carbon Emission Factor (kgC/GJ)	Lower	Upper
น้ำมันดิบ (Crude oil)	20.0	19.4	20.6
ออริมัลชั่น (Orimulsion)	21.0	18.9	23.3
ก๊าซธรรมชาติเหลว (Natural Gas Liquids)	17.5	15.9	19.2
ก๊าซโซลีนที่ใช้ในรถยนต์ (Motor Gasoline)	18.9	18.4	19.9
ก๊าซโซลีนที่ใช้ในเครื่องบินใบพัด (Aviation Gasoline)	19.1	18.4	19.9
ก๊าซโซลีนที่ใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet Gasoline)	19.1	18.4	19.9
น้ำมันก๊าดสำหรับใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet kerosene)	19.5	19	20.3
น้ำมันก๊าดชนิดอื่นๆ	19.6	19.3	20.1
หินน้ำมัน (Shale oil)	20.0	18.5	21.6
ก๊าซ/น้ำมันดีเซล (Gas/diesel oil)	20.2	19.8	20.4
กากน้ำมันเชื้อเพลิง (Residual Fuel oil)	21.1	20.6	21.5
ปิโตรเลียมก๊าซเหลว (Liquefied Petroleum Gas)	17.2	16.8	17.9
อีเธน (Ethane)	16.8	15.4	18.7
แนฟทา (Naphtha)	20.0	18.9	20.8
บิทูเมน (Bitumen)	22.0	19.9	24.5
น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant)	20.0	19.6	20.5
ถ่านโค้กปิโตรเลียม (Petroleum Coke)	26.6	22.6	31.3
วัตถุดิบในกระบวนการกลั่น (Refinery Feedstock)	20.0	18.8	20.9
ก๊าซจากกระบวนการกลั่น (Refinery Gas)[2]	15.7	13.3	19.0
พาราฟิน แว็กซ์ (Paraffin Waxes)	20.0	19.7	20.3
White spirit และ SBP	20.0	19.7	20.3
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมประเภทอื่นๆ	20.0	19.7	20.3
แอนทราไซด์ (Anthracite)	26.8	25.8	27.5
Coking Coal	25.8	23.8	27.6
ถ่านหินบิทูมินัส	25.8	24.4	27.2
ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub bituminous)	26.2	25.3	27.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ประเภทเชื้อเพลิง	Default Carbon Emission Factor (kgC/GJ)	Lower	Upper
ลิกไนต์ (Lignite)	27.6	24.8	31.3
หินน้ำมันและทรายน้ำมัน (Oil shale and Tar sand)	29.1	24.6	34
ถ่านหินสีน้ำตาลแบบอัดก้อน (Brown Coal Briquettes)	26.6	23.8	29.6
Patent fuel	26.6	23.8	29.6
Coke Oven Coke และLignite Coke	29.2	26.1	32.4
ก๊าซจากถ่านโค้ก (Gas Coke)	29.2	26.1	32.4
Coal Tar	22.0	18.6	26.0
ก๊าซจากกระบวนการผลิตก๊าซ (Gas Work Gas)	12.1	10.3	15.0
ก๊าซจากเตาเผาถ่านโค้ก (Coke Oven Gas)	12.1	10.3	15.0
ก๊าซจาก Blast Furnace (Blast Furnace Gas)	70.8	59.7	84.0
Oxygen Steel Furnace Gas	49.6	39.5	55.0
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas)	15.3	14.8	15.9
ขยะเทศบาล (Municipal Waste) (ไม่ใช่สารชีวมวล)	25.0	20.0	33.0
ขยะอุตสาหกรรม (Industrial Waste)	39.0	30.0	50.0
กากน้ำมัน (Waste oil)	20.0	19.7	20.3
พีทหรือถ่านหินเลน (Peat)	28.9	28.4	29.5
ไม้หรือเศษไม้	30.5	25.9	36.0
Sulphite Lyes (Black Liquor)	26.0	22.0	30.0
ของแข็งชีวมวลปฐมภูมิอื่นๆ	27.3	23.1	32.0
Charcoal	30.5	25.9	36.0
ก๊าซโซลีนชีวภาพ(Biogasoline)	19.3	16.3	23.0
น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel)	19.3	16.3	23.0
เชื้อเพลิงชีวภาพประเภทอื่นๆ	21.7	18.3	26.0
ก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบ (Landfill Gas)	14.9	12.6	18.0
ก๊าซจากสลัจน์(Sludge Gas)	14.9	12.6	18.0
ก๊าซชีวภาพประเภทอื่นๆ	14.9	12.6	18.0
ขยะเทศบาล (เป็นสารชีวมวล)	27.3	23.1	32.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ค่าสัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง

ชนิดของเชื้อเพลิง	สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอน
Lubricants	0.50
Bitumen	1.0
Coal Oils and Tars from Coking Coal	0.75
Naphtha as Feedstock	0.75
Gas/Diesel Oil as Feedstock	0.50
Natural Gas as Feedstock	0.33
LPG as Feedstock	0.80
Ethane as Feedstock	0.80

ตารางที่ 3.4 ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป (Fraction of oxidized Carbon)

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป
ถ่านหิน (Coal)	0.980
น้ำมันและผลิตภัณฑ์น้ำมัน (Oil and Oil products)	0.990
ก๊าซ (Gas)	0.995
พีท (Peat for electricity generation)	0.990

2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดกระบวนการผลิต

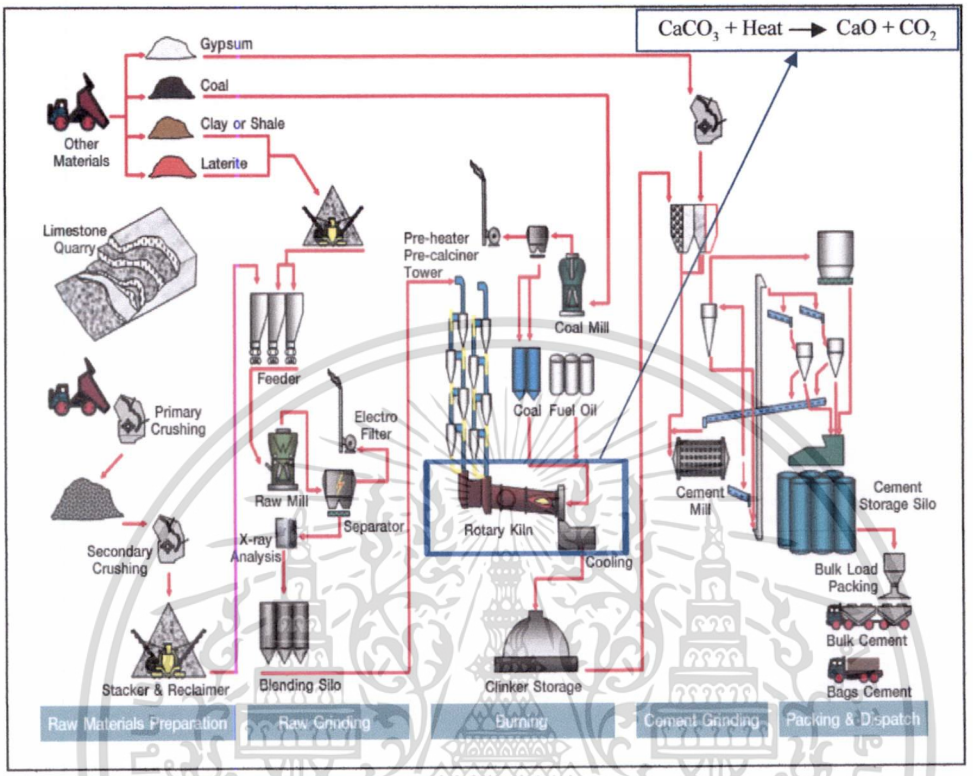
1) กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในขั้นตอนการเผาวัตถุดิบในเตาเผา (Rotary Kiln) ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอเนต (CO_3) เช่น หินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต : $CaCO_3$) แมกนีไซต์ (แมกนีเซียมคาร์บอเนต : $MgCO_3$) เป็นต้น ณ อุณหภูมิ 1,450 °C ทำให้วัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไปเป็นปูนขาว (แคลเซียมออกไซด์ : CaO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการ เรียกว่า Calcination ที่อุณหภูมิ 800-1,100 °C สำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทยใช้หินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นวัตถุดิบหลัก โดยเมื่อเผาหินปูน 1 โมล จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นปูนขาวและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างละ 1 โมล ดังสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 และรูปที่ 3.7 ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นปูนเม็ด ซึ่งปูนเม็ดที่ได้จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์

$$CaCO_3 + Heat \longrightarrow CaO + CO_2 \qquad (3.13)$$



รูปที่ 3.7 การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ดังนั้น การคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จึงเป็นการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาหินปูน ซึ่งจะไม่รวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตซึ่งจะรวมอยู่ในภาคพลังงาน และจากการที่ได้ศึกษาในข้อหัวที่ 3.4.1 แล้ว ทำให้ทราบว่าการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถทำได้โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor : EF) กับผลผลิตปูนเม็ดหรือผลผลิตปูนซีเมนต์ โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ สัดส่วนของปูนขาว (CaO) ในปูนเม็ด (Clinker) หรือปูนซีเมนต์ (Cement) กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณปูนขาว 1 หน่วย แสดงดังสมการที่ 3.8 และ 3.9 ซึ่งก็คือ $EF_{clinker} = 0.5071$ และ $EF_{cement} = 0.4985$ ตามลำดับ

ดังนั้น การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตปูนซีเมนต์ที่ควรนำไปใช้ คือ การนำจำนวนที่แน่นอนซึ่งมีหน่วยเป็นตันของปูนเม็ดที่ผลิต คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ 0.5071 ตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกวิธีหนึ่ง คือ การนำปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ 0.4985 ตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนซีเมนต์

จากหลักการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกข้างต้น เป็นการประมาณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างง่าย ใช้ในกรณีที่โรงงานอุตสาหกรรมไม่มีข้อมูลสัดส่วนของปูนขาว (CaO) ส่วนในกรณีที่โรงงานอุตสาหกรรมมีข้อมูลที่ละเอียดขึ้น เช่น สัดส่วนของปูนเม็ดในปูนซีเมนต์ ค่าปรับแก้จาก Cement Kiln Dust (CKD) เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ละเอียดขึ้นได้ 2 ระดับ ดังสมการต่อไปนี้

1. ระดับต้น (กรณีทราบปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์)

$$CO_2 \text{ Emissions} = \sum (M_c \times EF_{clc}) \tag{3.14}$$

หรือ

$$CO_2 \text{ Emissions} = [\sum (M_c \times C_{cl})_i - I_m + E_x] \times EF_{cl} \tag{3.15}$$

โดยที่ M_c = ปริมาณน้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ (ตัน)

C_{cl} = ค่าสัดส่วนของปูนเม็ดในซีเมนต์ (ตัน)

I_m = ปริมาณการนำเข้าปูนเม็ด (ตัน)

E_x = ปริมาณการส่งออกปูนเม็ด (ตัน)

EF_{clc} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของปูนเม็ด (ตัน CO_2/ตันปูนซีเมนต์)

2. ระดับละเอียด (กรณีทราบปริมาณการผลิตปูนเม็ด)

$$CO_2 \text{ Emissions} = M_{cl} \times EF_{cl} \times CF_{ckd} \tag{3.16}$$

โดยที่ M_{cl} = ปริมาณน้ำหนักของปูนเม็ดที่ผลิต (ตัน)

CF_{ckd} = ค่าการปรับแก้สำหรับ CKD (วัตถุดิบที่ไม่ถูกเผาไปเป็นปูนเม็ด)

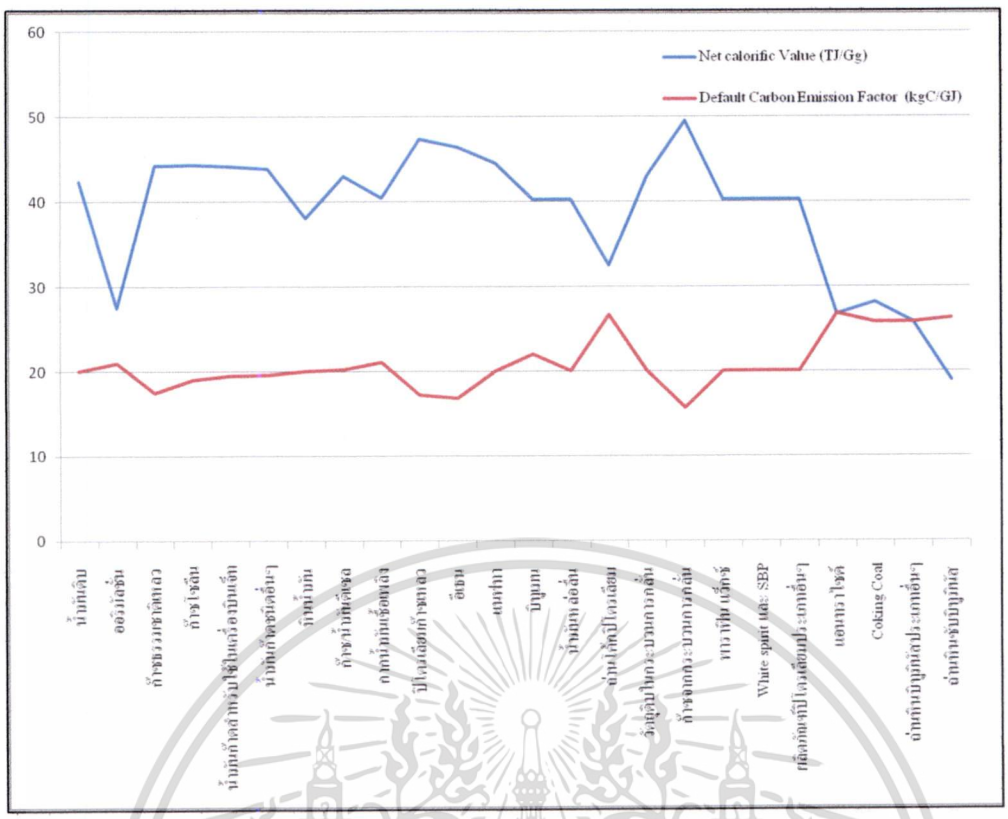
EF_{cl} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของปูนเม็ด (ตัน CO_2/ตันปูนเม็ด)

ค่ากลาง (Default Value) สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปูนเม็ด (EF_{cl}) ที่รวมค่าปรับแก้จาก Cement Kiln Dust (CKD) 2% = 0.52 ตัน CO_2/ตันปูนเม็ด

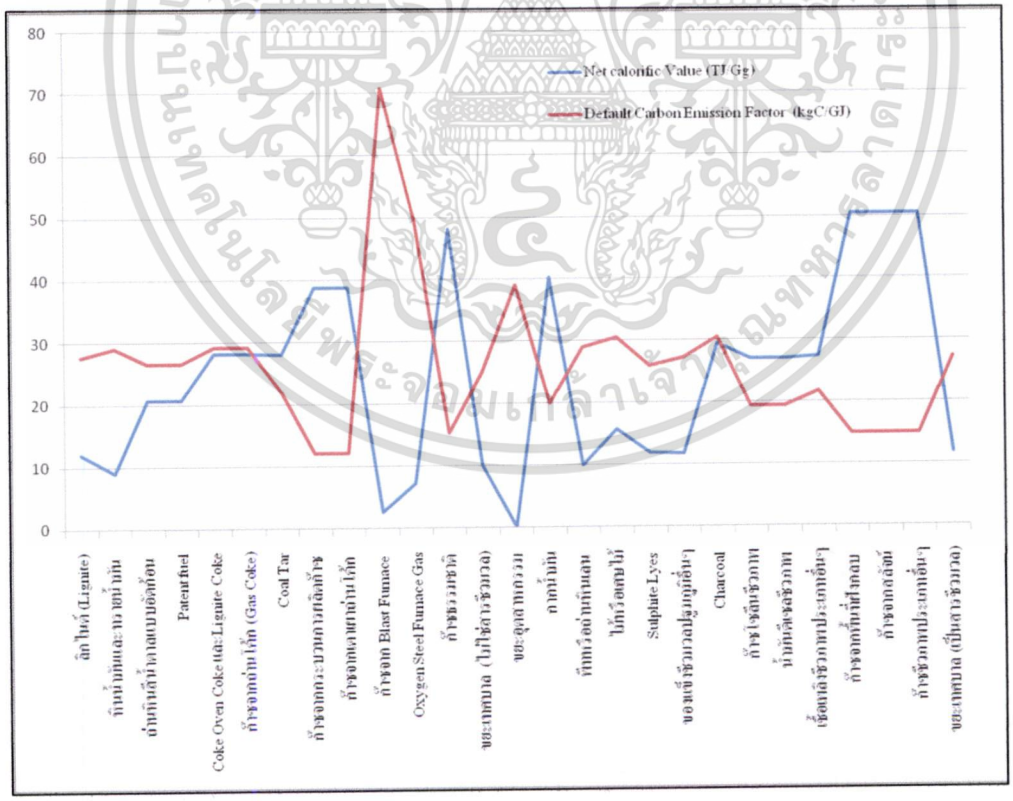
3.4.3 การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เมื่อศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในหัวข้อ 3.4.2 ดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผู้เสนอโครงการได้ความสัมพันธ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวแปรที่มีผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมากหรือน้อย ซึ่งก็คือชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.8 - 3.9 (ค่าพลังงานความร้อนและค่ากลางสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง) และรูปที่ 3.10 - 3.11 (ผลต่างของค่าพลังงานความร้อนกับค่าสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

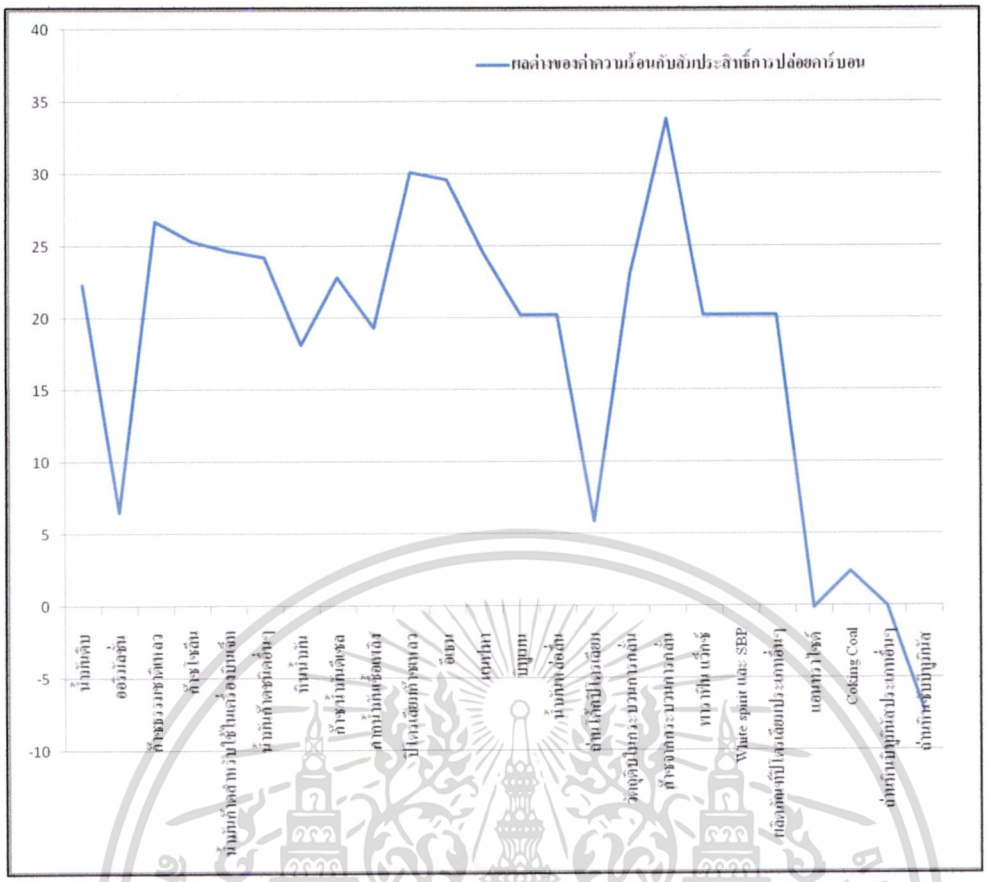


รูปที่ 3.8 ค่าพลังงานความร้อนและค่ากลางสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง

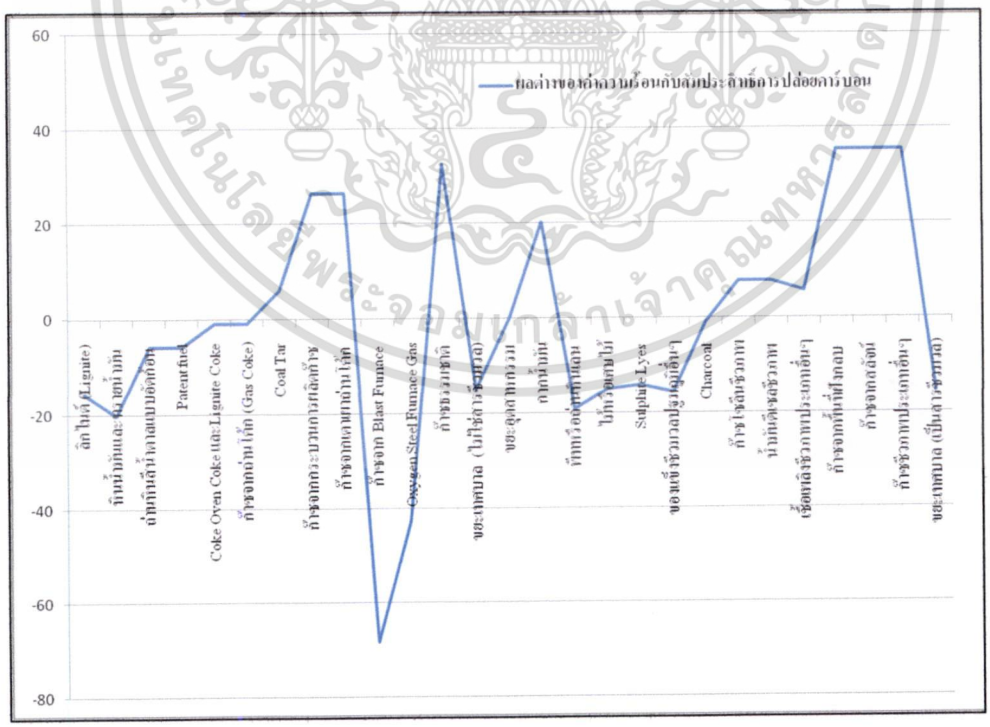


รูปที่ 3.9 ค่าพลังงานความร้อนและค่ากลางสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ผลต่างของค่าพลังงานความร้อนกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง



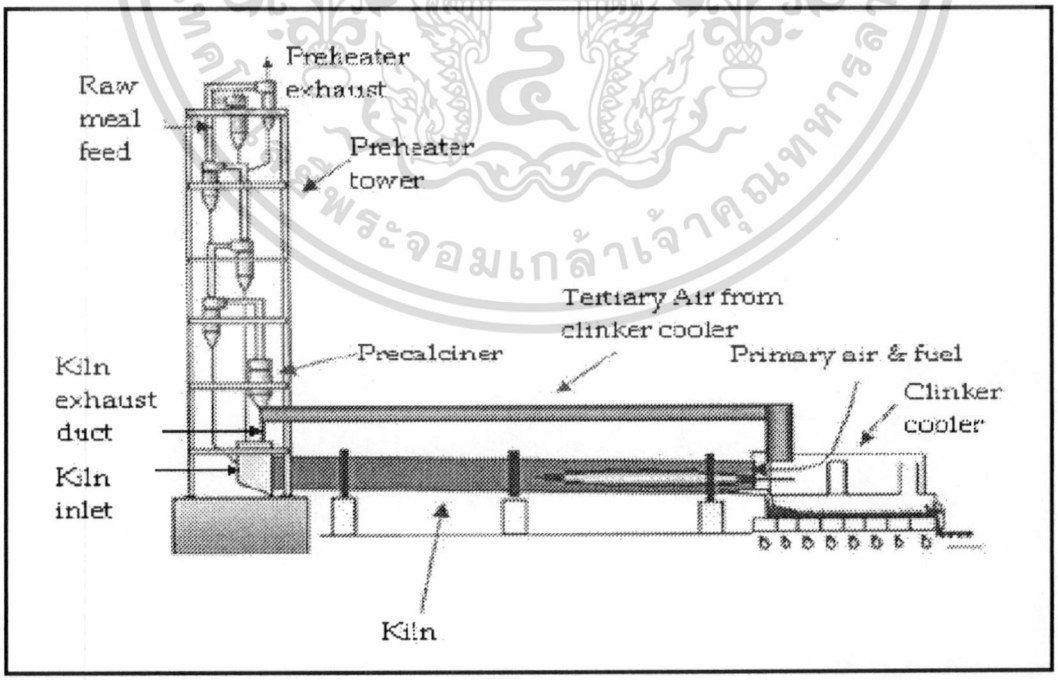
รูปที่ 3.11 ผลต่างของค่าพลังงานความร้อนกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก รูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 เป็นการแสดงให้เห็นถึงค่าพลังงานความร้อนและค่ากลางสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง เป็นตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่อปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยค่าพลังงานความร้อนที่สูงและค่ากลางสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิงต่ำจะทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ ซึ่งหมายถึงผลต่างของค่าพลังงานความร้อนกับค่าสัมประสิทธ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิงนั้นเอง แสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 โดยที่ค่าผลต่างสูงจะทำให้ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ ดังนั้น การลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้เผาไหม้ แต่การเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้นั้นจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มเติมจากการดำเนินการปัจจุบันของโรงงานอุตสาหกรรม ผู้เสนอโครงการจึงได้ขอความอนุเคราะห์ผู้เชี่ยวชาญในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย เพื่อร่วมกันพิจารณา วิเคราะห์ ตลอดจนการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับเปลี่ยนระบบหรือเทคโนโลยี ในเบื้องต้น สำหรับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยมีข้อสรุปดังต่อไปนี้

3.4.3.1 เทคโนโลยีการผลิตปูนซีเมนต์

ปัจจุบันการผลิตปูนซีเมนต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบแห้งที่มีหออุ่นวัตถุดิบ (Dry Process with Preheater) เผาไหม้เชื้อเพลิงที่ Main Burner และ Calciner แสดงได้ดังรูปที่ 3.12 และสรุปข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ได้ดังตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.12 การผลิตปูนซีเมนต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบแห้งที่มีหออุ่นวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

รายละเอียด	ชนิดเชื้อเพลิง	ชนิดเชื้อเพลิงทดแทน	
กระบวนการผลิต	ถ่านหินบิทูมินัส	ชีวมวล (แกลบ ไม้สับ ซังข้าวโพด ขี้เลื่อย อื่นๆ)	ก๊าซธรรมชาติ
ระบบการป้อนเชื้อเพลิง	ป้อนถ่านหินบดละเอียด (Pulverized Coal) ไปยัง Calciner	ป้อนเชื้อเพลิงโดยสายพานลำเลียงที่มีเครื่องชั่ง (Weigh scale) และชุด Triple Gate เข้าไปยัง Calciner	ป้อนเชื้อเพลิงโดยใช้หัวเผาก๊าซ (Gas Burner)
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	25.8 TJ/Gg (25,800 MJ/ตัน)	15.6 TJ/Gg (15,600 MJ/ตัน)	48 TJ/Gg (48,000 MJ/ตัน)
ราคาเชื้อเพลิง	2,000 บาท/ตัน	1,000 - 1,500 บาท/ตัน (ไม่รวมค่าขนส่ง) ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณชีวมวลที่จัดหาได้และระยะทางในการขนส่ง	11,300 บาท/ตัน
อุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง	เครื่องชั่งน้ำหนักและถ่านหินป้อนด้วยลม	สายพานลำเลียง (Belt conveyor), เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight scale), และประตูป้อนเชื้อเพลิง (Triple gate)	Gas Trains และ Gas Burners
การขนส่งเชื้อเพลิง	ทางเรือ และ/หรือทางรถบรรทุก	ทางเรือ และ/หรือทางรถบรรทุก	ทางรถบรรทุก / ทางท่อส่งก๊าซ
การเตรียมเชื้อเพลิง	บดหยาบด้วยเครื่องบดหยาบและบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด	ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิง	ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิง
การจัดเก็บเชื้อเพลิง	กองถ่านหินกลางแจ้งหรือในร่ม (Coal Storage)	กองชีวมวลกลางแจ้ง (Biomass Storage) หรือในถังไซโล	บรรจุในถังแบบ Bulk /ส่งมาตามท่อก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

รายละเอียด	ชนิดเชื้อเพลิง	ชนิดเชื้อเพลิงทดแทน	
การเปลี่ยน/ติดอุปกรณ์เพิ่ม	-	เพิ่มระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่ Calciner	Gas Station, Gas piping, Gas Trains, Gas burners ได้ทั้งที่ Main Burner และ Calciner
สัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิง	100%	0-100% ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณชีวมวลที่จัดหาได้	100% ได้ทั้งที่ Main Burner และ Calciner
ข้อจำกัดการเลือกเชื้อเพลิง	ปริมาณความชื้น ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า อัลคาร์ไลน์ คลอรีน โลหะหนัก (ถ้ามี)	ปริมาณความชื้น ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า อัลคาร์ไลน์ คลอรีน โลหะหนัก (ถ้ามี)	ปริมาณความชื้น ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า อัลคาร์ไลน์ คลอรีน โลหะหนัก (ถ้ามี)
เงินลงทุนการเปลี่ยนเทคโนโลยี/อุปกรณ์	การดำเนินธุรกิจแบบปกติ (Business as Usual, BAU)	ขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ทดแทน	ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเผา

จากข้อมูลในตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าการประเมินเงินลงทุนระบบหรือเทคโนโลยีในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ยังไม่สามารถประเมินได้อย่างละเอียดเนื่องจากมีปัจจัยหลายๆ ปัจจัย ดังนี้

1. ชนิดของเชื้อเพลิงทดแทน : ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลว่าเป็นชนิดใด ถึงแม้ว่าชีวมวลแต่ละชนิดจะมีระบบการป้อนเชื้อเพลิงเหมือนกัน แต่ในกรณีที่มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหลายๆ ชนิด จำเป็นต้องออกแบบให้มีระบบที่ควบคุมการป้อนอย่างแม่นยำ มิเช่นนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าความร้อนที่ป้อนให้กับเตาเผา หรือ Calciner ทำให้ยากต่อการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผา

2. ปริมาณเชื้อเพลิงทดแทน : ขึ้นอยู่กับปริมาณที่จัดหาได้และการออกแบบสัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิงเดิม หรือ % Fuel Substitutes

3. เทคโนโลยี/อุปกรณ์ : เนื่องจากระบบการป้อนเชื้อเพลิงมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับการออกแบบและอุปกรณ์ที่เลือกใช้ ดังนั้นเงินลงทุนอาจมีความแตกต่างกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัจจัยทั้ง 3 ข้อ ทำให้การประเมินในรายละเอียดนั้นทำได้ยาก ใช้เวลาศึกษานาน ดังนั้น ด้วยระยะเวลาที่จำกัดสามารถประเมินการลงทุนเปลี่ยนหรือปรับระบบ/เทคโนโลยีในเบื้องต้น ได้ดังนี้

3.4.3.2 การประเมินเงินลงทุนระบบหรือเทคโนโลยีในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในเบื้องต้น

การประเมินเงินลงทุนระบบหรือเทคโนโลยีในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในเบื้องต้น จึงเป็นการประเมินค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าขนส่งเชื้อเพลิง ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงที่ใช้กระบวนการผลิต เป็นหลัก โดยได้ทำการเปรียบเทียบเชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส (เดิม) กับเชื้อเพลิงทดแทน 2 ชนิด คือ 1. เชื้อเพลิงชีวมวล และ 2. เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ดังนี้

1. สำหรับ เชื้อเพลิงชีวมวล

ค่าใช้จ่าย = ระบบการป้อนเชื้อเพลิง (สายพานลำเลียงที่มีเครื่องชั่งและชุด Triple Gate) + ค่าขนส่งเชื้อเพลิง + ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง + ค่าอุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม (ระบบจ่ายเชื้อเพลิง) + ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลที่เปลี่ยนไปเทียบกับเชื้อเพลิงถ่านหิน

ตารางที่ 3.6 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รายละเอียด	เชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส (เดิม)	เชื้อเพลิงชีวมวล
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	25.8 TJ/Gg (25,800 MJ/ตัน) ใช้ ถ่านหิน 1 ตัน	15.6 TJ/Gg (15,600 MJ/ตัน) ต้องใช้ชีวมวล 1.65 ตัน
ราคาเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	2,000 บาท/ตัน	1,250 บาท/ตัน (2,060 บาท/1.65 ตัน)
การขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	25 ตัน/เที่ยว	25 ตัน/เที่ยว
ค่าขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	3,000 บาท/เที่ยว/50 กิโลเมตร	4,950 บาท/1.65 เที่ยว/ 50 กิโลเมตร
ระบบการป้อนเชื้อเพลิง ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง อุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม **รวม**	-	250,000 บาท 150,000 บาท 200,000 บาท **600,000 บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในตารางที่ 3.6 ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายของระบบการป้อนเชื้อเพลิง ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง และอุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม เป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนครั้งเดียว (คงที่) ส่วนค่าขนส่งเชื้อเพลิง ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้นั้นเป็นค่าใช้จ่ายที่มีอัตราไม่คงที่ แปรเปลี่ยนไปตามการใช้ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้หาความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ดังสมการที่ 3.17

ค่าใช้จ่าย = [จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ((1.65 × ราคาเชื้อเพลิงชีวมวล) – ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน)]
+ [0.65 × จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ราคาขนส่ง/ตัน] (3.17)

แทนค่าตัวแปรต่างๆ จากตารางที่ 3.6 ลงในสมการที่ 3.17 จะได้

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = [Q_{coal} \times ((1.65 \times 1{,}250) - 2{,}000)] + [0.65 \times Q_{coal} \times (3{,}000/25)]$$

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = [Q_{coal} \times (62.5)] + [Q_{coal} \times (78)]$$

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = 140.5 \times Q_{coal} \quad (3.18)$$

โดยที่ Q_{coal} = ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหิน

ราคาเชื้อเพลิงชีวมวล = 1,250 บาท/ตัน

ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน = 2,000 บาท/ตัน

ราคาขนส่ง/ตัน = 3,000/25 บาท/ตัน

จากสมการที่ 3.18 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ผู้ประกอบกิจการหรือผู้ที่ต้องการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกตันละ 140.5 บาท และค่าใช้จ่ายในการลงทุนอีกประมาณ 600,000 บาท

2. สำหรับ เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

ค่าใช้จ่าย = ระบบการป้อนเชื้อเพลิง (Gas Trains, Gas burners) + ค่าขนส่งเชื้อเพลิง + ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง + ค่าติดอุปกรณ์เพิ่ม (Gas Station, Gas piping) + ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่เปลี่ยนไปเทียบกับเชื้อเพลิงถ่านหิน

ตารางที่ 3.7 ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

รายละเอียด	เชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส (เดิม)	เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	25.8 TJ/Gg (25,800 MJ/ตัน) ใช้ ถ่านหิน 1 ตัน	48 TJ/Gg (48,000 MJ/ตัน) ต้องใช้ก๊าซธรรมชาติ 0.5375 ตัน
ราคาเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	2,000 บาท/ตัน	11,300 บาท/ตัน (6,074 บาท/0.5375 ตัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 (ต่อ)

รายละเอียด	เชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส (เดิม)	เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ
การขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	25 ตัน/เที่ยว	25 ตัน/เที่ยว
ค่าขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	3,000 บาท/เที่ยว/50 กิโลเมตร	1,612 บาท/0.5375 เที่ยว/ 50 กิโลเมตร
ระบบการป้อนเชื้อเพลิง	-	350,000 บาท
ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง		500,000 บาท
อุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม		150,000 บาท
รวม		**1,000,000** บาท

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายในตารางที่ 3.7 ดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายของระบบการป้อนเชื้อเพลิง ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง และอุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม เป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนครั้งเดียว (คงที่) ส่วนค่าขนส่งเชื้อเพลิง ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ที่ใช้นั้นเป็นค่าใช้จ่ายที่มีอัตราไม่คงที่ แปรเปลี่ยนไปตามการใช้ ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้หาความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ได้ดังสมการที่ 3.19

ค่าใช้จ่าย = [จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ((0.5375 × ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ) – ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน)] - [0.4625 × จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ราคาขนส่ง/ตัน] (3.19)

แทนค่าตัวแปรต่างๆ จากตารางที่ 3.7 ลงในสมการที่ 3.19 จะได้

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = [Q_{coal} \times ((0.5375 \times 11{,}300) - 2{,}000)] - [0.4625 \times Q_{coal} \times (3{,}000/25)]$$

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = [Q_{coal} \times (4073.75)] - [Q_{coal} \times (55.5)]$$

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = 4018.25 \times Q_{coal} \quad (3.20)$$

โดยที่ Q_{coal} = ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหิน

ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ = 11,300 บาท/ตัน

ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน = 2,000 บาท/ตัน

ราคาขนส่ง/ตัน = 3,000/25 บาท/ตัน

จากสมการที่ 3.20 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ผู้ประกอบกิจการหรือผู้ที่ต้องการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกตันละ 4018.25 บาท และค่าใช้จ่ายในการลงทุนอีกประมาณ 1,000,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 สรุปการคำนวณการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

จากผลการศึกษาทั้ง 3 หัวข้อดังกล่าวข้างต้น ได้ข้อสรุปในภาพรวมการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด เพื่อนำไปใช้ในแบบจำลองปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ แสดงได้ดังต่อไปนี้

1) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดพลังงาน (Energy)

$$\text{Emission of Energy} = \sum [(Q_f \times CF \times EF_C)(1 - F_C)(F_{OC} \times MWco_2/MW_C)]_i + (EF_{grid} \times Q_{PC}) \quad (3.12)$$

โดยที่ Q_f = Quantity of Fuels คือ ปริมาณการการใช้เชื้อเพลิง (ตัน)

CF = Conversion Factor คือ สัมประสิทธิ์การแปลงค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงาน (TJ)

EF_C = Carbon Emission Factor คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (kg.C/GJ)

F_C = สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง

F_{OC} = Fraction of Oxidized Carbon คือ ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป

$MWco_2$ = 44.01

MWc = 12.0

i = ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

EF_{grid} = 0.5113 ton CO_2/MWh

Q_{PC} = Power Consumption คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่นำเข้าจากการไฟฟ้า (MWh)

2) การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดกระบวนการผลิต (Industrial Process)

1. ระดับต้น (กรณีทราบปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์)

$$CO_2 \text{ Emissions} = \sum (M_c \times EF_{clc}) \quad (3.14)$$

หรือ

$$CO_2 \text{ Emissions} = [\sum (M_c \times C_{cl})_i - I_m + E_x] \times EF_{cl} \quad (3.15)$$

โดยที่ M_c = ปริมาณน้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ (ตัน)

C_{cl} = ค่าสัดส่วนของปูนเม็ดในซีเมนต์ (ตัน)

I_m = ปริมาณการนำเข้าปูนเม็ด (ตัน)

E_x = ปริมาณการส่งออกปูนเม็ด (ตัน)

EF_{cl} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของปูนเม็ด (ตัน CO_2/ตันปูนเม็ด)

EF_{clc} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของปูนเม็ด (ตัน CO_2/ตันปูนซีเมนต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระดับละเอียด (กรณีทราบปริมาณการผลิตปูนเม็ด)

$$CO_2 \text{ Emissions} = M_{cl} \times EF_{cl} \times CF_{ckd} \quad (3.16)$$

โดยที่ M_{cl} = ปริมาณน้ำหนักของปูนเม็ดที่ผลิต (ตัน)

CF_{ckd} = ค่าการปรับแก้สำหรับ CKD (วัตถุดิบที่ไม่ถูกเผาไปเป็นปูนเม็ด)

EF_{cl} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของปูนเม็ด (ตัน CO_2/ตันปูนเม็ด)

ค่ากลาง (Default Value) สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปูนเม็ด (EF_{cl}) ที่รวมค่าปรับแก้จาก Cement Kiln Dust (CKD) 2% = 0.52 ตัน CO_2/ตันปูนเม็ด

3) การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

<u>สำหรับเชื้อเพลิงชีวมวล</u> ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม = $140.5 \times Q_{coal}$

<u>สำหรับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ</u> ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม = $4018.25 \times Q_{coal}$

โดยที่ Q_{coal} = ปริมาณเชื้อเพลิงถ่านหิน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบระบบสารสนเทศ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม โดยนำแบบจำลองแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มาพัฒนาด้วยเครื่องมือที่อยู่ในโปรแกรม รวมถึงอธิบายเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ การออกแบบหน้าจอส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน และการทดสอบการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เพื่อจำลองการใช้งานจริงของผู้ใช้งาน

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบสารสนเทศ

ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมนี้ ถูกพัฒนาภายใต้คุณสมบัติ ดังต่อไปนี้

4.1.1 ฮาร์ดแวร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบระบบ มีคุณสมบัติดังนี้

- คอมพิวเตอร์แบบพกพา : Lenovo รุ่น Y430
- ซีพียู : Core II Duo P8400 2.26GHz
- แรม : 2 GB
- ฮาร์ดดิส : 320 GB
- ระบบปฏิบัติการ : Window 7

4.1.2 ซอฟต์แวร์

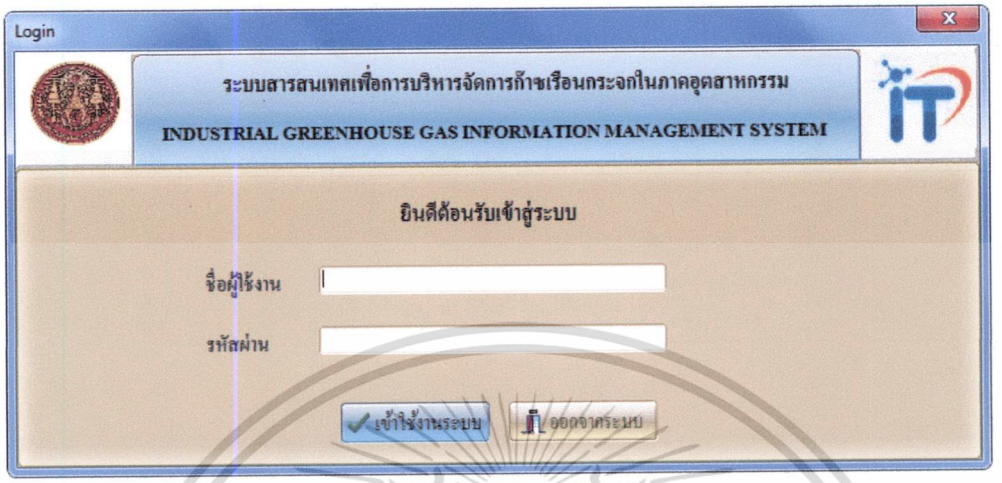
ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบระบบ : โปรแกรมเดลไฟล์ เวอร์ชั่น 5

4.2 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม เป็นระบบสารสนเทศเพื่อช่วยในการสืบค้น คำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงนำไปเป็นแบบจำลองด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งก่อให้เกิดความสะดวก ความถูกต้อง รวดเร็ว รวมทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ประจำส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานระบบจะครอบคลุมหน้าที่การทำงาน ดังนี้

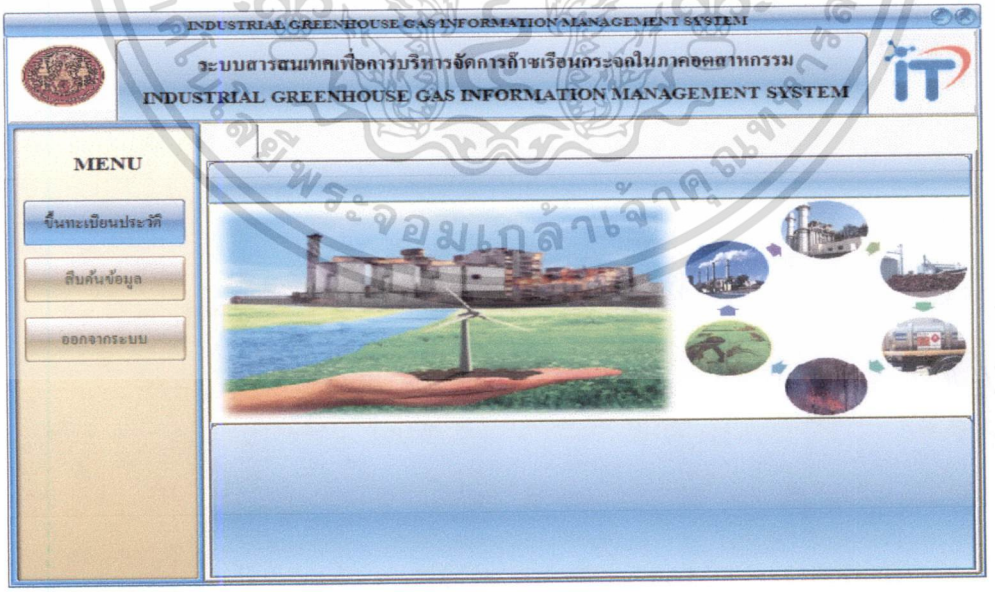
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หน้าจอล็อกอิน เป็นหน้าจอแรกสำหรับเริ่มการทำงานของระบบสารสนเทศ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำหรับป้อนชื่อและส่วนป้อนรหัสผ่านในการเข้าใช้ระบบสารสนเทศ รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอล็อกอิน

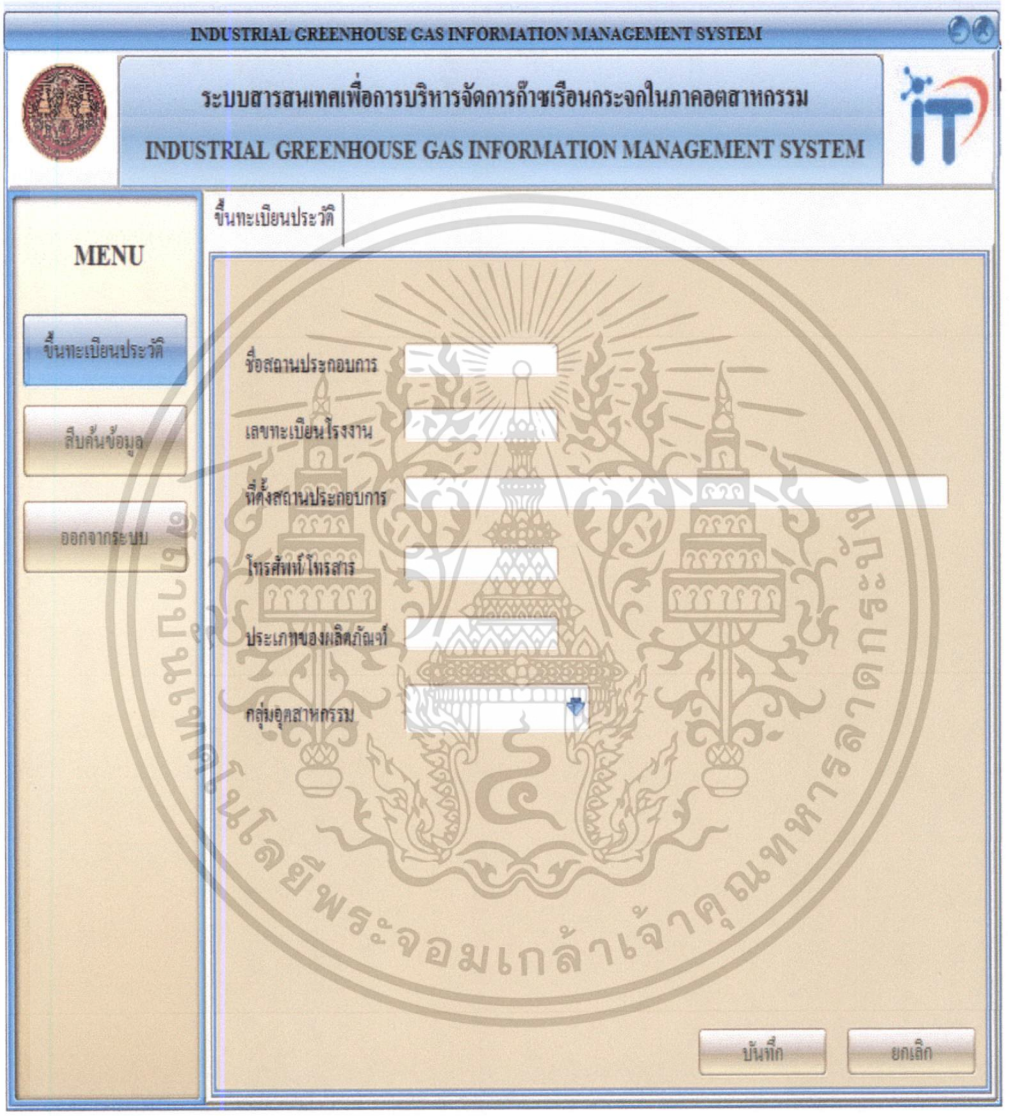
2) หน้าจอเมนู เป็นหน้าจอสำหรับเลือกการทำงานของระบบสารสนเทศ หลังจากผู้ใช้งานทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบแล้ว ระบบจะปรากฏหน้าจอเมนูขึ้นมาดังรูปที่ 4.2 โดยการทำงานของระบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1.ส่วนการทำงานในการขึ้นทะเบียนประวัติ 2.ส่วนการทำงานในการสืบค้น และ 3.ส่วนการทำงานในการออกจากระบบ



รูปที่ 4.2 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอเมนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

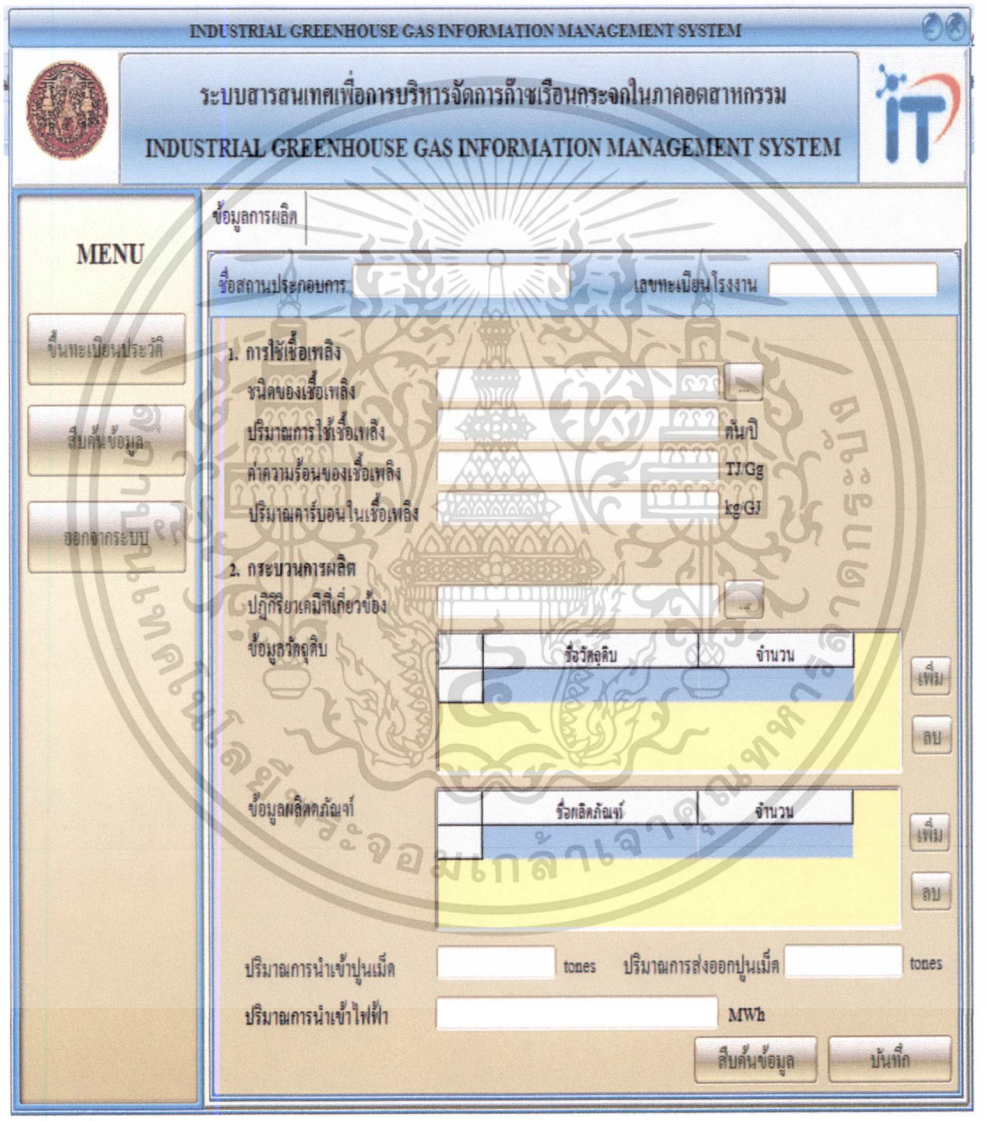
3) หน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ เมื่อผู้ใช้งานระบบเลือกฟังก์ชั่น “ขึ้นทะเบียนประวัติ” หลังจากนั้นระบบจะปรากฏหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติขึ้นมาดังรูปที่ 4.3 โดยผู้ใช้งานระบบจะทำการกรอกข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชื่อสถานประกอบการ เลขทะเบียนโรงงาน และกลุ่มอุสาหกรรม เป็นต้น หลังจากที่ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลครบสมบรูณ์แล้ว ผู้ใช้งานเลือก “บันทึก” ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลพร้อมกับปรากฏหน้าจอข้อมูลการผลิต



รูปที่ 4.3 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

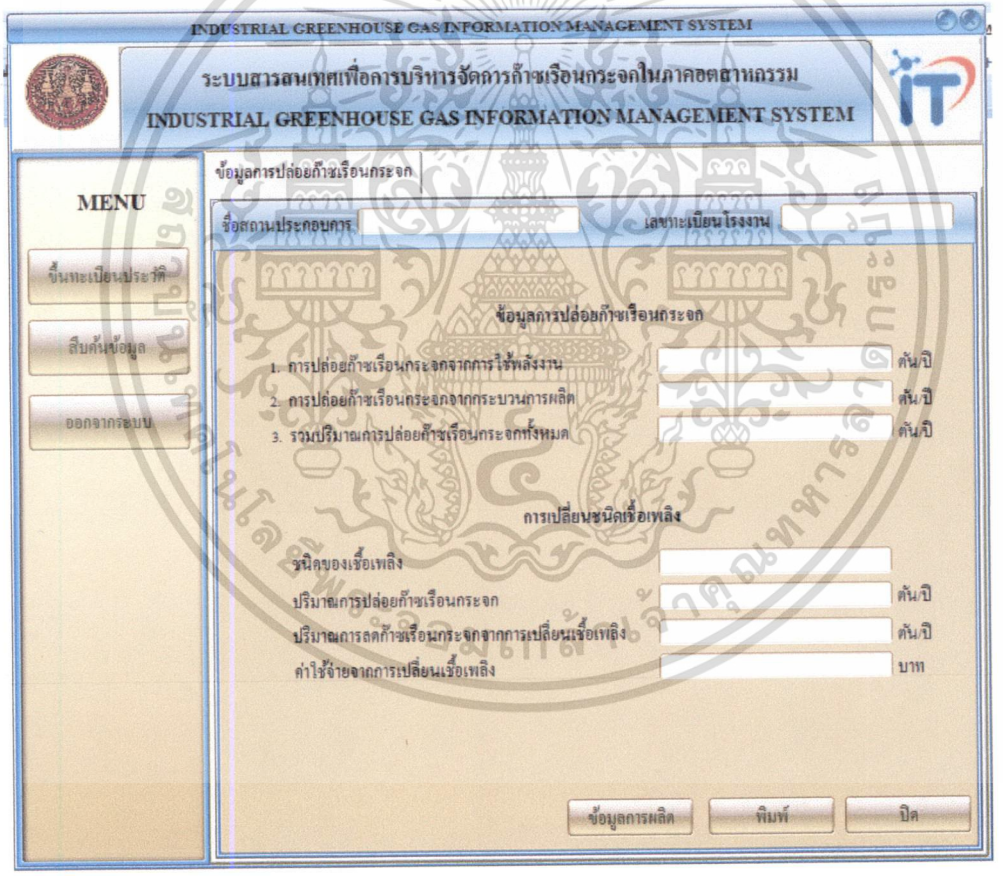
4) หน้าจอข้อมูลการผลิต หลังจากผู้ใช้งานเลือกบันทึกในหน้าจอ “ขึ้นทะเบียนประวัติ” แล้ว ระบบจะปรากฏหน้าจอข้อมูลการผลิตขึ้นมา ดังรูปที่ 4.4 โดยระบบจะแสดงข้อมูลชื่อสถานประกอบการและเลขทะเบียนโรงงานที่ระบบได้บันทึกไว้แล้ว และผู้ใช้งานระบบจะกรอกข้อมูลด้านเทคนิค 2 ส่วน คือ 1.การใช้เชื้อเพลิง เช่น ชนิดของเชื้อเพลิง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง เป็นต้น และ 2.กระบวนการผลิต เช่น ปฏิบัติกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลวัตถุดิบ ข้อมูลผลิตภัณฑ์ ปริมาณการนำเข้าและส่งออกปูนเม็ด เป็นต้น หลังจากที่ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลครบสมบรูณ์แล้ว ผู้ใช้งานเลือก “บันทึก” ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลพร้อมกับปรากฏหน้าจอข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก



รูปที่ 4.4 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอข้อมูลการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

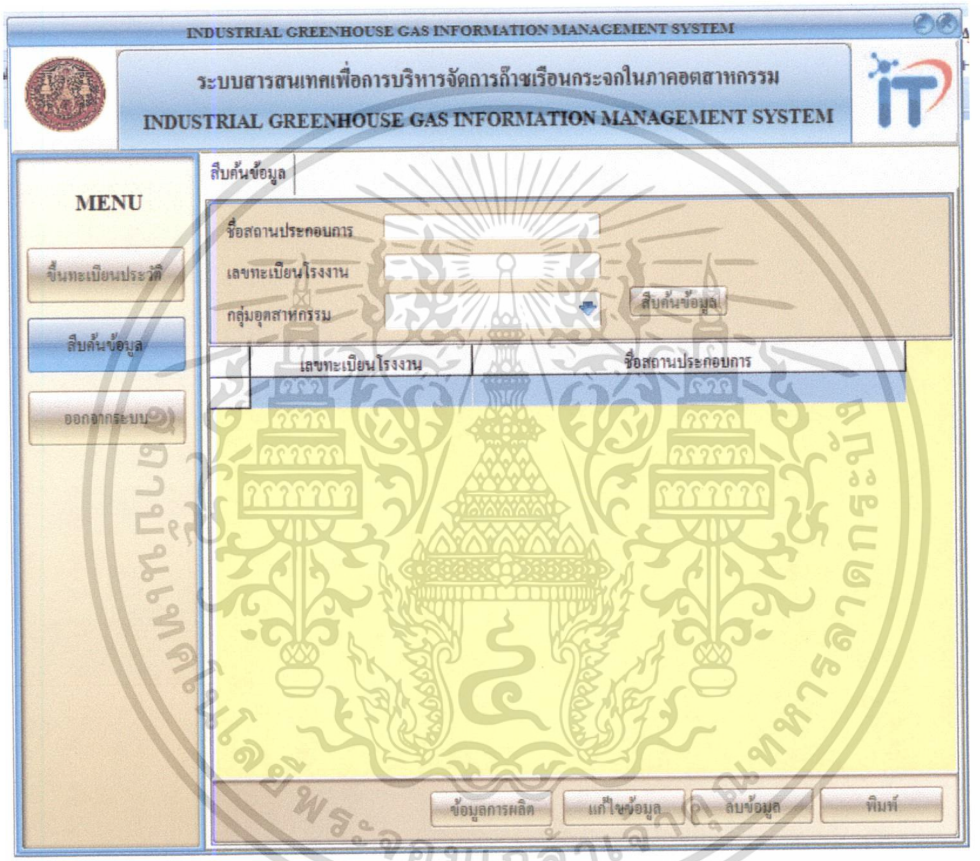
5) หน้าจอข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก หลังจากผู้ใช้งานเลือกบันทึกในหน้าจอ “ข้อมูลการผลิต” แล้ว ระบบจะปรากฏหน้าจอข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นมา ดังรูปที่ 4.5 โดยระบบจะแสดงข้อมูลชื่อสถานประกอบการ เลขทะเบียนโรงงาน รวมทั้งข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งการปล่อยจากใช้พลังงาน จากกระบวนการผลิต และปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมทั้งหมด อีกทั้ง ระบบสามารถให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยกรอกข้อมูลในส่วนของการเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิง หลังจากที่ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลครบสมบรูณ์แล้ว ผู้ใช้งานเลือก “พิมพ์” ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลพร้อมกับแสดงข้อมูลทั้งหมดออกมา และเมื่อผู้ใช้งานระบบเลือกข้อมูลการผลิต ระบบจะกลับไปปรากฏหน้าจอข้อมูลการผลิตเพื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูล แต่ถ้าผู้ใช้งานระบบดำเนินการเสร็จสิ้นแล้วต้องการออกจากหน้าจอนี้ ผู้ใช้งานระบบเลือก “ปิด” ระบบจะกลับไปปรากฏหน้าจอเมนู เพื่อให้ผู้ใช้งานระบบเลือกใช้งานฟังก์ชั่นการทำงานของระบบอื่นๆ ได้



รูปที่ 4.5 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) หน้าจอสืบค้นข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานระบบเลือกฟังก์ชั่น “สืบค้นข้อมูล” หลังจากนั้นระบบจะปรากฏหน้าจอสืบค้นข้อมูลขึ้นมาดังรูปที่ 4.6 โดยผู้ใช้งานระบบจะทำการกรอกข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชื่อสถานประกอบการ เลขทะเบียนโรงงาน และกลุ่มอุสาหกรรม หลังจากที่ผู้ใช้งานกรอกข้อมูลครบสมบรูณ์แล้ว ผู้ใช้งานเลือก “สืบค้น” ระบบจะเรียกข้อมูลในฐานข้อมูลที่เคยบันทึกไว้และถ้าการสืบค้นดังกล่าวมีข้อมูลอยู่ในฐานข้อมูล ระบบก็จะแสดงรายชื่อสถานประกอบการนั้น แต่ถ้าระบบตรวจสอบแล้วไม่พบข้อมูล ระบบไม่ปรากฏรายชื่อสถานประกอบการ โดยการทำงานของหน้าจอนี้สามารถดูข้อมูลการผลิต แก้ไขข้อมูล รวมถึงระบบสามารถจัดพิมพ์รายงาน



รูปที่ 4.6 ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าจอสืบค้นข้อมูล

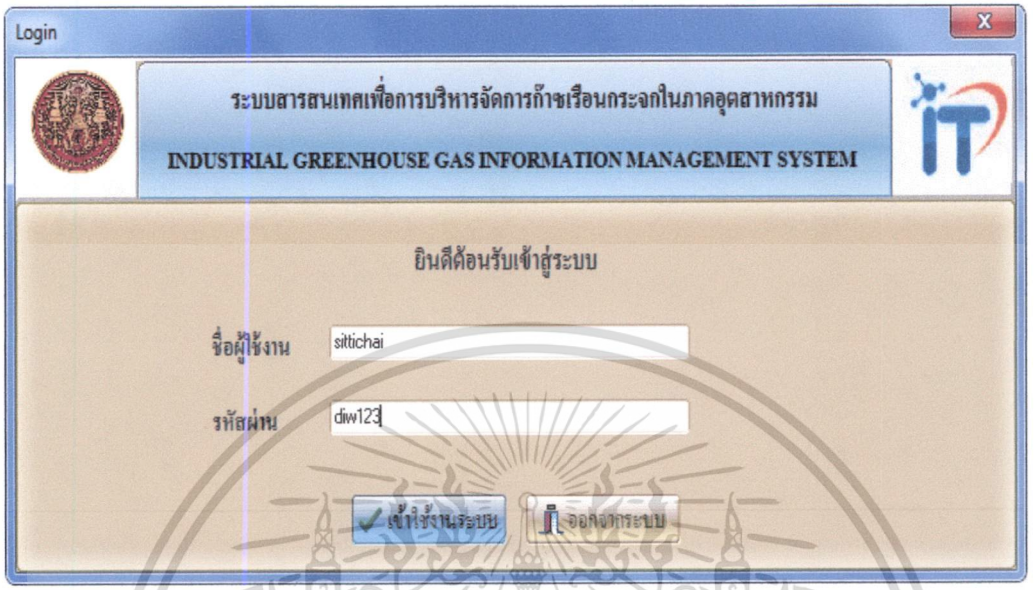
4.3 การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม เป็นการทดสอบการทำงานของระบบสารสนเทศภายใต้เงื่อนไขต่างๆ เพื่อจำลองการใช้ปฏิบัติงานจริงของผู้ใช้งาน

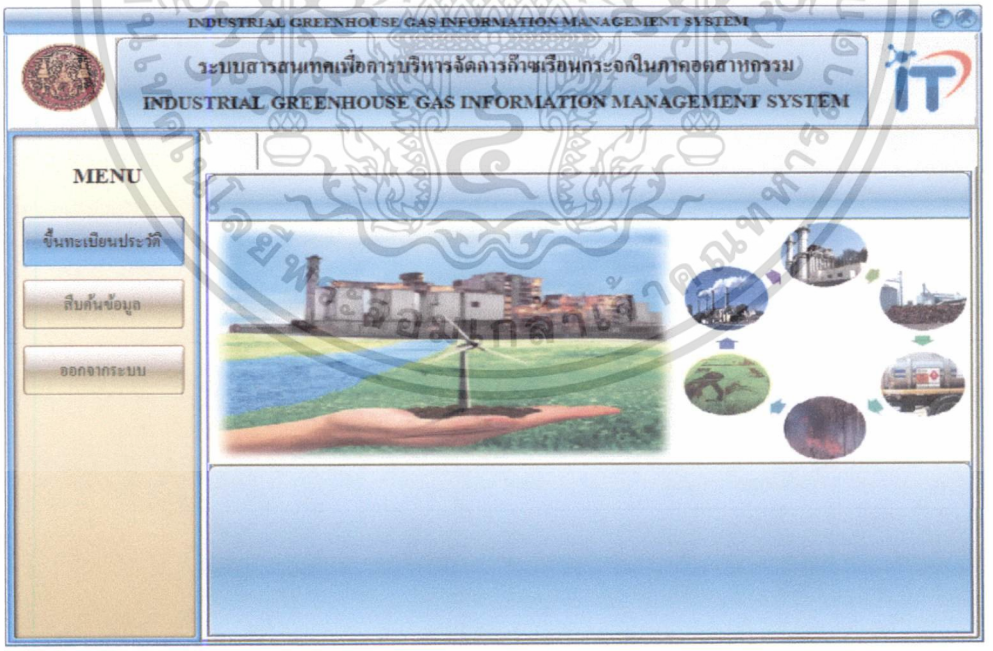
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การทดสอบการทำงานหน้าล็อกอิน แสดงดังรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8

- ป้อนชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่าน
- เลือกปุ่ม “เข้าใช้ระบบ”



รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานของหน้าล็อกอิน



รูปที่ 4.8 แสดงผลการทำงานของหน้าล็อกอิน

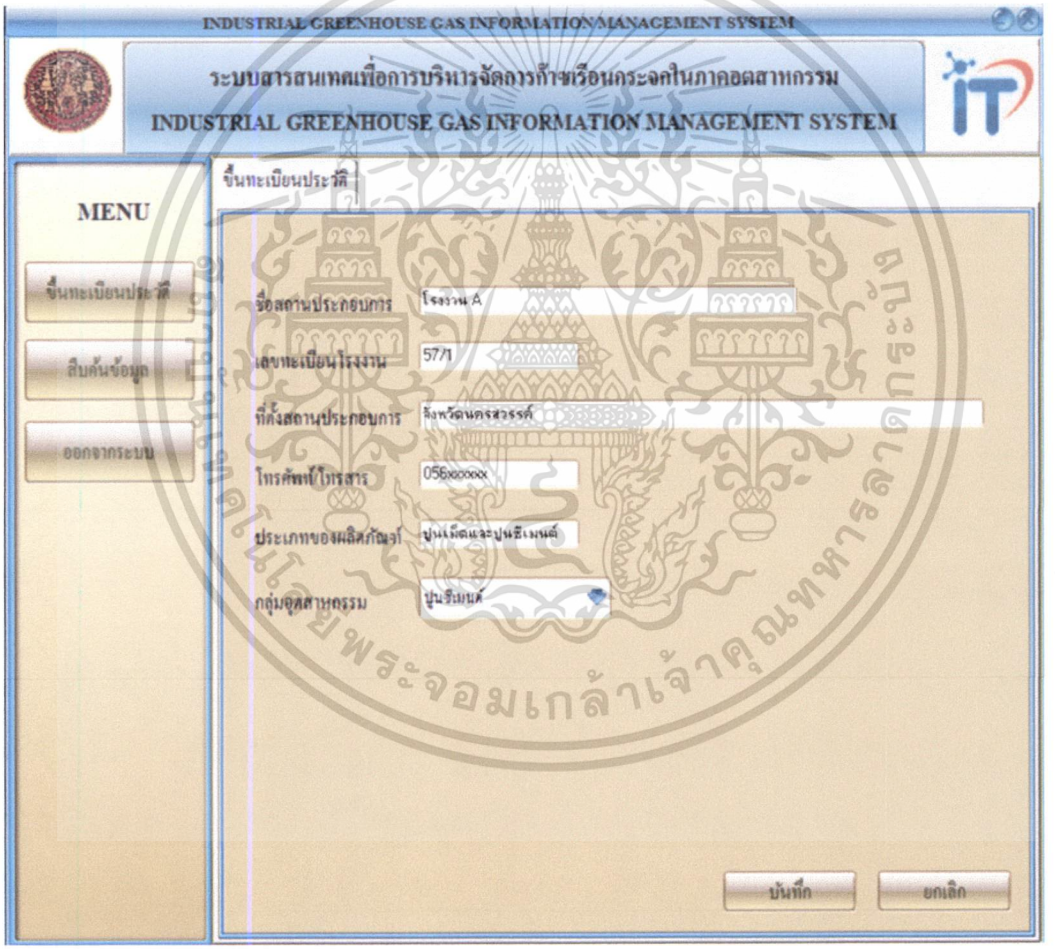
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การทดสอบการทำงานหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ แสดงดังรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11

4.3.2.1 ป้อนข้อมูลพื้นฐานของสถานประกอบการ แสดงดังรูปที่ 4.9 ดังนี้

- ชื่อสถานประกอบการ
- เลขทะเบียนโรงงาน
- ที่ตั้งสถานประกอบการ
- โทรศัพท์/โทรสาร
- ประเภทของผลิตภัณฑ์
- กลุ่มอุตสาหกรรม

4.3.2.2 เลือกกด “บันทึก”



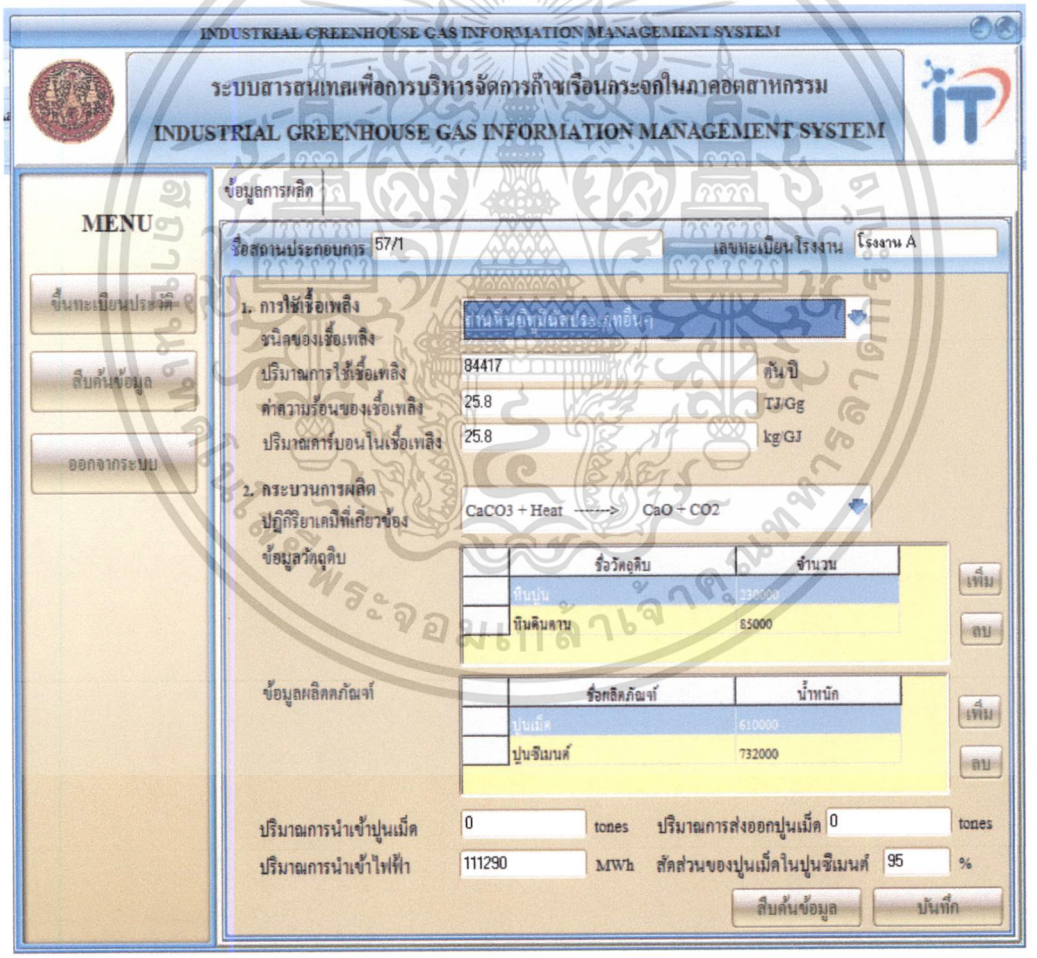
รูปที่ 4.9 แสดงการทำงานของหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 ป้อนข้อมูลการผลิตของสถานประกอบการ แสดงดังรูปที่ 4.10 ดังนี้

- การใช้เชื้อเพลิง
  - ชนิดเชื้อเพลิง
  - ปริมาณเชื้อเพลิง
- กระบวนการผลิต
  - ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง
  - ข้อมูลวัตถุดิบ
  - ข้อมูลผลิตภัณฑ์
  - ปริมาณการนำเข้า – ส่งออก ปูนเม็ด
  - ปริมาณการนำเข้าไฟฟ้า
  - สัดส่วนของปูนเม็ดในปูนซีเมนต์

4.3.2.4 เลือกกด “บันทึก”



รูปที่ 4.10 แสดงการทำงานของหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ ส่วนของข้อมูลการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.5 แสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แสดงดังรูปที่ 4.11 ดังนี้

- การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน
- การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต
- การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด

4.3.2.6 แสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิง ดังนี้

- เลือกชนิดเชื้อเพลิงที่ต้องการเปลี่ยน เมื่อเลือกเสร็จแล้วระบบจะแสดงแสดงข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากเชื้อเพลิงชนิดเดิมและหลังเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงชนิดใหม่ รวมทั้งแสดงค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิง

รูปที่ 4.11 แสดงการทำงานของหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ ส่วนของข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

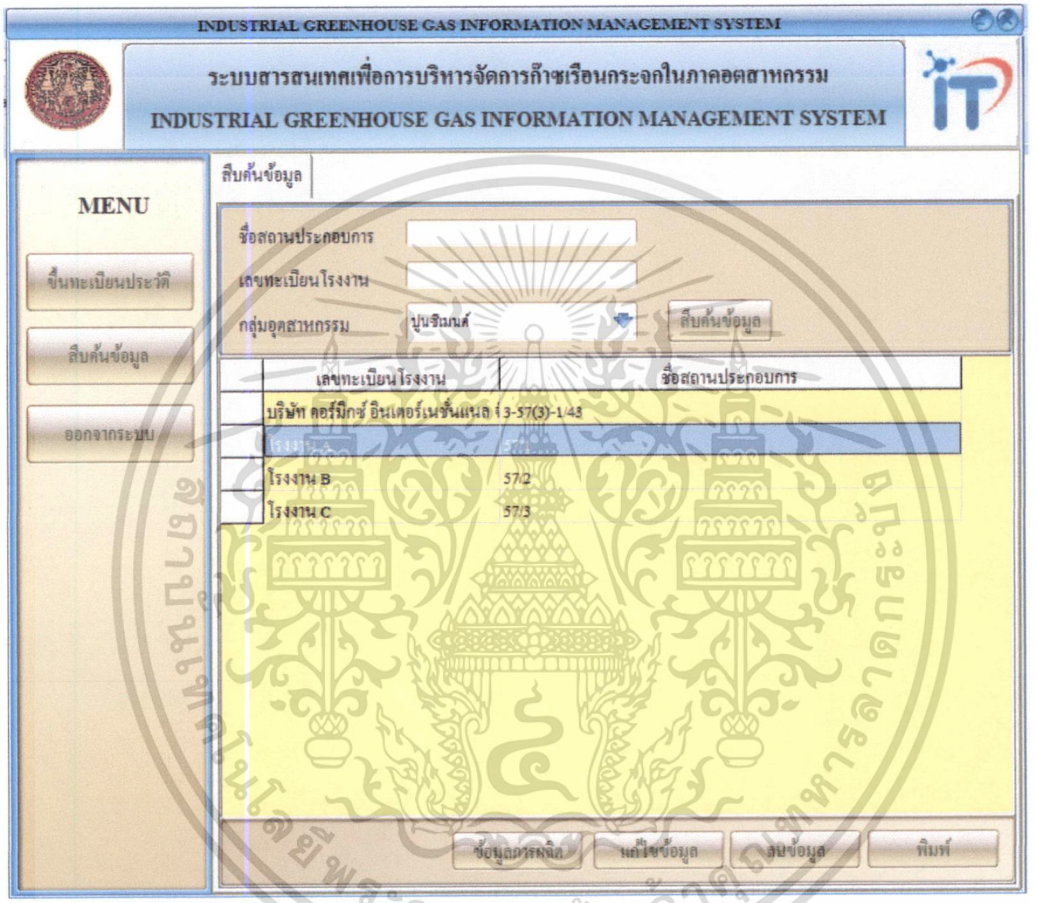
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การทดสอบการทำงานหน้าจอสืบค้นข้อมูล

4.3.2.1 ป้อนข้อมูลพื้นฐานของสถานประกอบการ ดังนี้

- ชื่อสถานประกอบการ
- เลขทะเบียนโรงงาน
- กลุ่มอุตสาหกรรม

4.3.2.2 เลือกกด “สืบค้นข้อมูล” หน้าจอจะแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงการทำงานของหน้าจอสืบค้นข้อมูล

4.3.2.3 เลือกกด “โรงงาน A” หน้าจอจะแสดงดังรูปที่ 4.9 และผู้ใช้งานก็สามารถใช้งานได้ตามรายละเอียดใน หัวข้อ 4.3.2 การทดสอบการทำงานหน้าจอขึ้นทะเบียนประวัติ

4.3.4 การออกจากระบบ เมื่อผู้ใช้งานต้องการออกจากระบบให้เลือกกด “ออกจากระบบ”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป

ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมได้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบงานด้านการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของกรมโรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้งานได้อย่างสะดวก ถูกต้อง แม่นยำรวดเร็ว ทันต่อความต้องการ และเป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้ โดยการสร้างแบบจำลอง (Simulation Model) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ให้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายด้านการลดก๊าซเรือนกระจก และสามารถนำไปเป็นอุตสาหกรรมต้นแบบในการพัฒนาแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากภาคอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการพัฒนาระบบสารสนเทศ

ผู้เสนอโครงการได้พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม โดยได้สร้างแบบจำลองแนวทางการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปใช้คำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ จากการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นได้แบ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 2 แหล่ง คือ 1. ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และ 2. ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกระบวนการผลิต ทั้งนี้ผู้เสนอโครงการได้ศึกษาและขอคำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคเกี่ยวกับกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการดำเนินงานของระบบสารสนเทศนี้ บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษาและสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบสารสนเทศนี้ เป็นการคำนวณหาแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ซึ่งสอดคล้องกับหลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับสากล (คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี ค.ศ. 1996) โดยผลการคำนวณจากสมการในแบบจำลองนี้ สามารถนำไปใช้วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ รวมทั้งสามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงหรือเทคโนโลยีที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การใช้งานระบบสารสนเทศได้นำข้อมูลที่ได้จากการสร้างแบบจำลองไปใช้ประโยชน์ในการประกอบการตัดสินใจ การกำหนดวิสัยทัศน์ นโยบาย และวางแนวทางการดำเนินการเรื่องการบริหารจัดการด้านการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากอุตสาหกรรมกลุ่มนี้ได้อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งยังก่อให้ความถูกต้อง รวดเร็ว แม่นยำและมีประสิทธิภาพในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลให้กับผู้ใช้งานด้วย

5.2 ปัญหาและข้อจำกัด

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม พบข้อจำกัดบางอย่าง คือ การพัฒนาระบบสารเทศได้รับการพัฒนามาจากแบบจำลองแนวทางการเกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นหลัก ดังนั้นเมื่อนำระบบสารสนเทศนี้ไปพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของอุตสาหกรรมอื่นๆ อาจต้องปรับปรุงการใช้งานของระบบบางส่วนอันเนื่องมาจากแบบจำลองแนวทางการเกิดก๊าซเรือนกระจกสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ มีลักษณะเฉพาะด้าน และอีกประการหนึ่ง คือ การพัฒนาแบบจำลองภายใต้หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996 ดังนั้นหากเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการรายงานและวิธีการคำนวณต่างๆ จะทำให้ระบบสารสนเทศนี้อาจใช้ได้ไม่ครอบคลุมแนวทางใหม่ๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ผู้เสนอโครงการได้พัฒนาแบบจำลองและนำมาใช้กับระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมแล้ว ผู้เสนอโครงการเล็งเห็นว่าระบบสารสนเทศที่พัฒนาขึ้นมานี้หากจะทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานมากยิ่งขึ้น ควรเพิ่มเติมองค์ประกอบการทำงานให้กับระบบสารสนเทศดังต่อไปนี้

1) นำไปเชื่อมโยงกับข้อมูลโรงงานอุตสาหกรรมที่มีอยู่ในระบบฐานข้อมูลของศูนย์สารสนเทศโรงงานอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม

2) นำแบบจำลองนี้ไปเป็นต้นแบบให้กับการพัฒนาแบบจำลองแนวโน้มปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมเห็นชอบ

3) ในอนาคตควรนำไปพัฒนาแบบจำลองสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆ ในรูปแบบของซอฟต์แวร์สำเร็จรูป และนำไปไปใช้งานกับสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดทั่วประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับบทสรุปที่เป็นการแนะนำเกี่ยวกับทางด้านการนำไปใช้ปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ในประเด็นที่สำคัญ คือ ระบบที่ดีต้องได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งาน สามารถปรับปรุงให้ตรงกับความต้องการที่เปลี่ยนแปลงไปตามเทคโนโลยี และควรมีการดูแลระบบให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งตัวระบบต้องมีความปลอดภัยสามารถป้องกันการลักลอบเข้าใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ทาดาโอะ มิยากาวะ. 2529. **เศรษฐมิติเบื้องต้น.** แปลโดย คงศักดิ์ สันติพฤกษวงศ์. กรุงเทพฯ: รู้แจ้ง.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. 2555. **บทที่ 3 การจำลองสถานการณ์ (Simulation).** [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.science.cmru.ac.th/scienceblog/admin/blog/file/50711083526.pdf

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. 2555. **.บทที่ 5 การวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis).** [Online]. เข้าถึงได้จาก http://www.management.cmru.ac.th/home3/book/weerasak/econ2202/lesson5.pdf

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ. 2551. **คู่มือการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วิชุตา สองเมือง และคนอื่นๆ. 2551. "การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลในเขตพื้นที่ภาคใต้ : Computer Simulation Modeling for Biodiesel Refinery Industry in the Southern Part of Thailand". หน้า 443-448. ใน **การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 5.** กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2542?. **การจำลองแบบปัญหา.** กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมจินต์ พ่วงเจริญชัย. 2554. "การจำลองการถ่ายโอนความร้อนภายในแผงท่อให้ความร้อนโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ : Simulation of Heat Transfer in Heating Tube Bundle with Finite Element Method". **วิชาการและวิจัย.** 5 (2): 12-19.

สรวิศ รัตนพิไชย และธนัญญา วสุศรี. 2551. "การปรับปรุงกระบวนการจัดซื้อจัดหาพัสดุโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ กรณีศึกษาการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. หน้า 678-689. ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการประจำปีด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 8.** เพชรบุรี: โรงแรมลองบีช ชะอำ.

Kelton , W. David. 2007. **Simulation with Arena.** 4th ed. New York: McGraw-Hill.

Intergovernmental Panel on Climate Change. 1996. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volumes I, II and III.** [Online]. Available: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html

Page, Ernest H. 1994. "Simulation Modeling Methodology: Principles and Etiology of Decision Support". Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Thomas, Ruth. 2003. **What Are Simulations? – The JeLSIM Perspective.** [Online]. Available: http://www.jelsim.org/resources/whataresimulations.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

หลักการคำนวณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทาง ของ IPCC ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHAPTER 1
ENERGY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. ENERGY

1.1 Overview

This chapter discusses inventory methods for emissions of SO_2 and direct and indirect greenhouse gases from energy sources, comprising CO_2, CH_4, N_2O, NO_x, CO and NMVOC. Energy systems are extremely complex and widespread components of national economies. The full range of greenhouse gases is emitted from the production, transformation, handling and consumption of energy commodities. Chapter 2, Industrial Processes, discusses emissions which arise jointly from fuel use in industrial processes and provides guidance on attributing the emissions to the energy or industrial process categories. The various emissions from energy systems are organised in two main categories: Emissions from Fuel Combustion and Fugitive Emissions.

Emissions from Fuel Combustion

CO_2 emissions from fuel combustion are discussed separately and in some depth because they can be calculated accurately at a highly aggregated level, unlike other gases. CO_2 emissions are primarily dependent on the carbon content of the fuel. The IPCC Reference Approach for CO_2 emissions is a simple, accurate and internationally transparent approach which takes advantage of this fact.

CO_2 from energy activities can be estimated from energy supply data, with a few adjustments such as for carbon non-oxidised. Supply data for all commercial fuels are available from international data bases covering individual countries of the world. These data, together with typical carbon content figures, provide a sound starting point for the estimation of CO_2 inventories, particularly for global or regional studies. However, because fuel qualities and emission factors may differ markedly between countries, sometimes by as much as ten percent for nominally similar fuels, national inventories should be prepared using local emission factors and energy data where possible.

Unlike CO_2, national inventories of CH_4, N_2O, NO_x, CO and NMVOCs require more detailed information. Accurate estimation of their emissions depends on knowledge of several interrelated factors, including combustion conditions, technology, and emission control policies, as well as fuel characteristics. The methods must, in general, be applied at a detailed activity/technology level. CO_2 emissions may also be calculated at the more detailed level required for other gases. Indeed, when calculating non-CO_2 emissions national experts are encouraged to calculate CO_2 emissions at the same time, as reconciliation of total CO_2 emissions estimated in this manner with those obtained from the Reference Approach provides a valuable verification process. Procedures for estimating CO_2 and non-CO_2 emissions at the detailed or more aggregated levels of activity are presented in this chapter. The methods for estimating the gases are divided in "Tiers" encompassing different levels of activity and technology detail. Tier 1 methods are generally very simple requiring less data and expertise than the most complicated Tier 3 methods.

Fugitive Emissions

In addition to the emission of greenhouse gases from fuel combustion, other emissions into the atmosphere occur in an unplanned or a deliberate manner. These are fugitive emissions. Fugitive emissions are intentional or unintentional releases of gases from anthropogenic activities. In particular, they may arise from the production, processing, transmission, storage and use of fuels, and include emissions from combustion only where it does not

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

support a productive activity (e.g., flaring of natural gases at oil and gas production facilities). The most significant greenhouse gas emissions in this category are methane emissions from coal mining and from oil and gas systems. There are also emissions of other gases, such as CO_2 and NMVOCs as fugitive or by-product emissions from energy systems.

1.1.1 Recent Developments

As part of Phase II of the IPCC/OECD/IEA Programme on National Greenhouse Gas (GHG) Inventories an expert group on GHG Emissions from Fuel Combustion was set up. The group included over forty experts from various geographical and professional backgrounds. The terms of reference of this group were to continue improving the estimation methodologies on emissions from fuel combustion which had been published in the *IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories* in March 1995.

The issues addressed by the group can be divided into several broad areas:

- harmonisation of international emission estimation methodologies and reporting;
- improvement and review of emission factors;
- development of a new Tier 1 method for estimating non-CO_2 GHG and SO_2 emissions based on fuel consumption;
- development of a new Tier 2 method for estimating emissions from aircraft.

In addition the group identified areas for further work. These are listed at the end of this chapter.

The results of the group's work on the final three items listed above are contained in the sections which follow. The experts' conclusions following a review and discussion of the harmonisation of methodologies are summarised in the following statement.

Harmonisation of International Emission Estimation Methodologies and Reporting

Two approaches to drawing up and presenting national emission inventories in comparable form are currently in use:

- The IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, and
- the joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook.

Countries which are Parties to both Conventions have to apply both reporting procedures to each Convention. The IPCC approach meets FCCC needs for calculating national totals (without further spatial resolution) and identifying sectors within which emissions occur, whereas the EMEP/CORINAIR approach is technology based and includes spatial allocation of emissions (point and area sources).

Both systems follow the same basic principles :

- complete coverage of anthropogenic emissions (CORINAIR also considers natural emissions);
- annual source category totals of national emissions;
- clear distinction between energy and non-energy related emissions;
- transparency and full documentation permitting detailed verification of activity data and emission factors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To date, considerable progress has been made in the harmonisation of the IPCC and EMEP/CORINAIR approaches. The IPCC Expert Group on Fuel Combustion has made changes to the fuel list and to the source/sink categories to allow more direct comparison of the two approaches:

- Biomass fuels will be allocated to the various source categories (CO_2 from biomass will not be reported in national totals).
- In order to estimate the full emissions of the industry sector, emissions from autoproduction should be included with emissions from other fuel use within industry. At the same time the emissions from the autoproduction of electricity and heat should be excluded from the energy transformation source category to avoid double counting. This change brings the IPCC source categories for manufacturing and transformation industries into line with those used by CORINAIR.
- Treatment of evaporative emissions (NMVOC) from road transport in the IPCC Tier 2 method is consistent with CORINAIR. Combustion and evaporative emissions should be reported separately. In the IPCC Tier 1 method, all emissions from road transport are included together under fuel combustion.

The CORINAIR programme has now developed its approach further to include additional sectors and sub-divisions (e.g. the definition of civil aviation is now in line with the IPCC definition) so that a complete CORINAIR inventory, including emission estimates, can be used to produce reports in both the FCCC/IPCC or EMEP/CORINAIR reporting formats for submission to their respective Conventions. Minor adjustments based on additional local knowledge may be necessary to complete such reports for submission.

One difference between the approaches remains:

- Spatial allocation of road transport emissions: here CORINAIR, with a view to the input requirements of atmospheric dispersion models, applies the principle of territoriality (emission allocation according to fuel consumption) whereas the IPCC is bound to the principle of political responsibility (allocation according to fuel sale). For the IPCC, countries with a big disparity between emissions from fuel sales and fuel consumption have the option of estimating true consumption and reporting the emissions from consumption and trade separately. However, national totals must be on the basis of fuel sales.

1.1.2 Organisation of the Chapter

In addition to this introduction, this chapter is organised into four separate substantive sections covering fuel combustion and fugitive emissions:

- **Simple Methods (Tier 1)**: Emissions from all sources of combustion are estimated on the basis of the quantities of fuel consumed and average emission factors. The IPCC Reference Approach for CO_2 is presented together with new methods for the estimation of CO_2 and non-CO_2 emissions from the main source categories.
- **Detailed Methods (Tiers 2/3)**: Emission estimations are based on detailed fuel/technology information covering stationary and mobile sources.
- **Fugitive emissions from coal mining and handling**: Emissions are generated as a result of the mining and handling of coal, primarily methane emissions from coal mining. Other emissions of GHGs from coal mine and waste fires are briefly discussed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- **Fugitive emissions from oil and natural gas activities**: Methane emissions from natural gas flaring and venting, and from natural gas production, transmission and distribution are the most important for this category. CO_2 emissions from venting and flaring are included as are NMVOC emissions from production, processing and distribution of oil and oil products. A new section briefly describes the estimation of emissions of ozone precursors and SO_2 from refineries.

1.2 Data

1.2.1 Data Sources

Activity Data

Subject to the requirements outlined below and intended to ensure the comparability of country inventories, the IPCC approach to the calculation of emission inventories encourages the use of fuel statistics collected by an officially recognised national body, as this is usually the most appropriate and accessible activity data. In some countries, however, those charged with the task of compiling inventory information may not have ready access to the entire range of data available within their country and may wish to use data specially provided by their country to the international organisations whose policy functions require knowledge of energy supply and use in the world.

There are, currently, two main sources of international energy statistics: the International Energy Agency of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD/IEA), and the United Nations (UN). The primary energy data sources cited in this report include:

- From the OECD/IEA: Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries (OECD/IEA, 1996b); Energy Balances of OECD Countries (OECD/IEA, 1996a); and Energy Statistics of OECD Countries (OECD/IEA, 1996*c*).
- From the United Nations: Energy Statistics Yearbook (UN, 1996).

Both international organisations collect energy data from the national administrations of their member countries through systems of questionnaires. The data gathered are therefore "official" data. To avoid duplication of reporting, where countries are members of both organisations, the UN receives copies of the IEA questionnaires for the OECD member countries rather than requiring these countries to complete the UN questionnaires. When compiling its statistics of non-OECD member countries the IEA, for certain countries, uses UN data to which it may add additional information obtained from the national administration, consultants or energy companies operating within the countries. Statistics for other countries are obtained directly from national sources. The number of countries covered by the IEA publications is fewer than that of the UN. [1]

Emission Factors

Emissions of GHGs from fuel combustion and fuel supply activities are calculated by multiplying levels of activity by emission factors usually expressed as mass of pollutant per

---

[1] Approximately 130 countries (of about 170 UN Member countries) are included in the IEA data, but the countries it includes account for about 98 per cent of worldwide energy consumption and nearly all energy production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

energy unit of activity (e.g. kg N_2O/TJ). The most commonly used activity measure for energy-related emissions is the amount of fuel burned or, where fugitive emissions are concerned, the amount of fuel produced or distributed. In some cases other measures of activity are used, most notably in calculating emissions from the transport sector.

A number of international and national sources of energy activity data and industry emission factors exist largely as a result of international and national analyses of alternative control policies for SO_x, NO_x and NMVOC. A few sources have also recently emerged on various other GHGs. The more detailed factors (for gases other than CO_2) do not relate directly to national energy activity data described below, but require some additional information. The sources of emission factor data, and procedures for making these linkages are discussed in the context of specific gases and source types, in the relevant sections which follow.

1.2.2 Comparability of Reporting

In order to meet the objectives of the IPCC/OECD/IEA programme, inventories must be readily comparable. This requires a large measure of commonality of definitions of activities (source/sink categories) and fuel product groups and the use of a reporting discipline which makes evident the construction of the inventory from the activity data. Specific guidelines for reporting have been prepared. In order to reduce the uncertainty created by possibly different definitions, the IPCC *Reporting Instructions* have largely adopted definitions utilised by the IEA for the regular collection of energy data from OECD member countries. The active co-operation between the UN Statistical Division (New York), the UN ECE (Geneva), Eurostat and the IEA has ensured that there are now very few differences between the definitions employed by these organisations for the collection of their energy data. The IEA definitions may be found in the Glossary at the end of the *Reporting Instructions* (Volume 1).

Although common standards for the collection of data by international organisations exist the presentation of the data collected can be different. At least five aspects of energy data presentations need to be checked prior to using data for greenhouse gas inventories:

- Are the energy data expressed in terms of net calorific values (NCV) or gross calorific values (GCV)?[2] Since most of the world uses net calorific values, the IPCC *Guidelines* uses net calorific values.
- Are non-commercial fuels, including wood and other biomass fuels, included?[3]
- Are wood waste, agricultural wastes or waste-derived fuels included if combusted for energy production? These fuels should be accounted for in the IPCC methodology, but are included with biomass fuels.

---

[2] The IEA generally reports data in net calorific values. The difference between the net and the gross calorific value of a fuel is the heat of condensation of moisture in the fuel during combustion. The net calorific value excludes this. The IEA assumes that net calorific values are 5 per cent lower than gross calorific values for oil and coal, and 10 per cent lower for natural gas.

[3] While some of these fuels (such as wood) may be included in national or international data sets, it is likely that they are underestimated due to poor record-keeping and lack of statistical information for non-commercial fuels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- Is non-energy fuel usage (if non-oxidised) accounted for?[4]
- How are international bunker fuels for air and ship transport treated?[5]

Given responses to these questions, several adjustments may need to be made to the energy data being used in order to formulate a complete inventory of greenhouse gases. If published IEA data are being used the following corrections must be made:

1 Consumption of vegetal fuels in non-OECD countries should be added to commercial fuel consumption. Estimates of the former are available in the IEA publication cited. Consumption of vegetal fuels, as declared by OECD countries in their reports to the IEA, are included as "Combustible Renewables and Wastes" in the IEA statistics for these countries.

2 International energy statistics show fuel consumption by industrial and commercial electricity generators (autoproducers) as an identified part of fuel use by the energy industries. In order to harmonise inventory preparation with the EMEP/CORINAIR methods, countries preparing IPCC inventories should include autoproducer fuel consumption in the industry and commercial sectors and remove it from energy industries. See *Recent Developments* above.

3 Care is required when estimating the amount of fuel used without oxidation in the manufacture of non-energy products. IEA data generally cover only deliveries to the industry sector manufacturing such products. Some of the fuels delivered will be oxidised by the user. See Chapter 2, Industrial Processes, Overview.

4 IEA data do not include deliveries of oil for international air transport as part of the International Bunkers data. Where data are available they are identified as part of the national transport sector fuel consumption. UN estimates are available for many countries.

1.2.3 Uncertainty

The *Reporting Instructions*, Volume 1, make explicit provision for the reporting of estimates from all source categories identified in the Standard Data Tables. Energy activity data and emission factors are both subject to wide variations through uncertainties in basic data, identification of fuel qualities, calorific values and measurements in emissions. Furthermore, the uncertainties in estimates of fugitive emissions can be larger than those from fuel combustion as wider ranges in natural resource conditions and operations practice exist for fuel extraction and processing. This topic is discussed further in Section 1.8.7. Managing and combining uncertainty estimates from several sources is discussed in Appendix 1 to the *Reporting Instructions*.

---

[4] This is normally reported in primary energy requirements but is not combusted and therefore does not contribute directly to greenhouse gas emissions.

[5] International bunker fuels are combusted in ships at sea and by airplanes (both undertaking international movements) and therefore should be included in global greenhouse gas estimations. Following guidance from the INC, the IPCC recommends that every country estimate emissions from international bunker fuels sold within national boundaries, but that these emissions would be reported separately and, as far as possible, excluded from national totals.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 Fuel Combustion: Overview

In the initial stages of the IPCC/OECD/IEA programme it was recognised that work on both methods development and national inventories needed to be prioritised, as it was not possible to deal with all of the gases and sources simultaneously. Priority was given to the direct GHGs in the order: carbon dioxide, methane and nitrous oxide (IPCC/OECD, 1991). In Phase II of the *Guidelines* development, an attempt has been made to identify default methods for a simplified Tier I method for estimating emissions of the GHGs and SO_2.

The purpose of a Tier 1 method is to assist countries that cannot access detailed fuel use and technology data to develop emission inventories. Consequently, the Tier 1 method should enable at least rough emission estimations of CO_2, CH_4, N_2O, NO_x, CO and NMVOC using energy statistics, and of SO_2 by using additional assumptions on the sulphur content of the fuels.

The Tier 1 method should be used in cases where no detailed information is available on fuel type, technology and operating conditions. If countries have more exact national emission factors, these (and not the default factors) should be used.

Countries wanting to do more detailed emission estimations may use the Tier 2 method described in Section 1.5. A third option which may be used (Tier 3) is the CORINAIR 94 methodology which is described in the EEA TF Emission Inventory Guidebook and is available on CD-ROM[6].

1.4 Simple Methods (Tier 1) for Fuel Combustion

The Tier 1 method for CO_2 is fairly well established and is explained in Section 1.4.1. For non-CO_2 gases, a simplified methodology has been developed to estimate emissions by applying emission factors to fuel statistics which are organised by sector. In reality, emissions of these gases depend on the fuel type used, combustion technology, operating conditions, control technology, and on maintenance and age of the equipment. However, since it is unlikely that many countries will have this detailed data, the Tier 1 method ignores these refinements (see Box 1).

Section 1.4.2 provides average non-CO_2 emission factors for the agreed IPCC source categories together with additional information on the range of these factors and their use. The proposed values are based on emission factors included in Radian Corporation (1990), US EPA (1995), the EDGAR database[7], the CORINAIR 1990 database and scientific reports from different countries. SO_2 emission factors are estimated using a formula based on sulphur content in the fuel. The compilation of default factors for biomass fuels in the "Other Sectors" has been based on measurement data reported by Smith and Ramakrishna (1990), Berdowski et al. (1993a and 1993b), Delmas (1993), Smith et al. (1993), Delmas et al. (1995), Veldt and Berdowski (1995) and Brocard et al. (1996).

---

[6] The CD-ROM may be obtained by contacting the European Environment Agency, Kongens Nytorv 6, 1050 Copenhagen, Denmark.

[7] EDGAR Version 2.0 was developed by TNO and RIVM and is a set of global emission inventories of greenhouse gases and ozone-depleting substances for all anthropogenic and most natural sources on a per country basis and on 1° x 1° grid (Olivier et al., 1995).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For aircraft, the emission factors for the Tier 1 method are based on the fleet average values of NO_x, CO and NMVOC of the global inventories compiled by NASA, ECAC/ANCAT, WSL and NLR [Wuebbles et al. (1993); Olivier (1995); Brok (1995)].

BOX 1
MAIN FUEL GROUPS

In the Tier 1 method for non-CO_2 gases, the fuels are aggregated into the following main groups:

- **coal**
- **natural gas**
- **oil**
  gasoline for transport;
  diesel oil for transport;
  other oil products.
- **biomass**
  wood / wood waste;
  charcoal;
  other biomass and wastes (includes dung, agricultural, municipal and industrial wastes, bagasse and agricultural residues).

Note: Refer to Section 1.2 of the Common Reporting Framework in the *Reporting Instructions* for details on which products are included in each of the main groups.

The default emission factors are internally consistent and it is essential to preserve this consistency when replacing the default by local values so that total emissions of carbon (for example) do not exceed the carbon available in the fuel.

1.4.1 Carbon Dioxide (CO_2) Emissions

In this section the methodology for estimating CO_2 emissions from energy is discussed. Carbon dioxide (CO_2) is the most common greenhouse gas produced by anthropogenic activities, accounting for about 60 per cent of the increase in radiative forcing since pre-industrial times (IPCC, 1992). By far the largest source of CO_2 emissions is from the oxidation of carbon when fossil fuels are burned, which accounts for 70-90 per cent of total anthropogenic CO_2 emissions. When fuels are burned, most carbon is emitted as CO_2 immediately during the combustion process. Some carbon is released as CO, CH_4, or non-methane hydrocarbons, which oxidise to CO_2 in the atmosphere within a period from a few days to 10-11 years. The IPCC methodology accounts for all of the carbon from these emissions in the total for CO_2 emissions. The other carbon-containing gases are also estimated and reported separately (see following sections for methodologies for estimating CH_4, CO, and NMVOCs).[8]

[8] It is important to note that there is an intentional double counting of carbon emitted from combustion. This format treats the non-CO_2 gases as a subset of CO_2 emissions and ensures that the CO_2 emission estimates reported by each country represent the entire amount of carbon that would eventually be present in the atmosphere as CO_2. The

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuel combustion is widely dispersed throughout most activities in national economies making assembly of a complete record of the quantities of each fuel type consumed in each "end use" activity a considerable task which some countries have not yet completed. Fortunately, it is possible to estimate national CO_2 emissions by accounting for the carbon in fuels supplied to the economy. This is the basis of the IPCC Reference Approach. The supply of fuels is simple to record and is more likely to be available in many countries than detailed end use consumption statistics.

The Reference Approach requires statistics for production of fuels and their external trade as well as changes in their stocks. It also needs a limited number of figures for the consumption of fuels used for non-energy purposes where carbon may be stored. It uses a simple assumption: once carbon is brought into a national economy in fuel, it is either saved in some way (e.g., in increases of fuel stocks, stored in products, left unoxidised in ash) or it must be released to the atmosphere. In order to calculate the carbon released it is not necessary to know exactly how the fuel was used or what intermediate transformations it underwent. In this respect the methodology may be termed a "top-down" approach compared with the "bottom-up" methods used for other gases. As stated in the *Overview*, this does not mean that a "bottom-up" approach should not be followed for estimating CO_2 emissions but the total emissions must be compared with those obtained from the Reference Approach. A "bottom-up" method for CO_2 is briefly discussed later in this section.

When estimating CO_2 emissions from fuel combustion there are a number of points of a statistical, technical or procedural nature which affect several of the estimation methods.

- **Fuel Carbon and Energy Content:** There is considerable variation in the carbon and energy content by weight of fuels. However, expressing the carbon emission factor as the carbon content per unit of energy released reduces this variation because of the close link between the carbon content and energy value of the fuel. It is natural therefore that all fuel supply and consumption data for combustion emission calculations be expressed in energy units. Energy data expressed in other units should be converted to terajoules before use.

- **Unoxidised Carbon:** When energy is consumed not all of the carbon in the fuel oxidises to CO_2. Incomplete oxidation occurs due to inefficiencies in the combustion process that leave some of the carbon unburned or partly oxidised as soot or ash.

- **Stored Carbon:** Some of the fuel supplied to an economy is used as a raw material (or feedstock) for manufacture of products such as plastics, fertiliser, or in a non-energy use (e.g. bitumen for road construction, lubricants). In some cases, the carbon from the fuels is oxidised quickly to CO_2. In other cases the carbon is stored (or sequestered) in the product, sometimes for as long as centuries. The amounts stored for long periods are called *stored carbon* and should be deducted from the carbon emissions calculation. Estimation of stored carbon requires data on fuel used as feedstock and/or quantities of non-energy fuel products produced. The calculations are discussed within each of the alternative approaches presented in this section.

- **Bunker Fuels:** The IPCC methodology subtracts the quantities delivered to and consumed by ships or aircraft *for international transport* from the fuel supply to the country. In this manner, the CO_2 emissions arising from the use of international bunkers

---

reasons for this double counting are discussed in the Overview of the IPCC Guidelines, General Notes on the Guidelines.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

are not included in the national total. To simplify the preparation of global estimates, these emissions should be brought together in a separate table.

- **Biomass Fuels:** Biomass fuels are included in the national energy and emissions accounts for completeness. These emissions should not be included in national CO_2 emissions from fuel combustion. If energy use, or any other factor, is causing a long term decline in the total carbon embodied in standing biomass (e.g. forests), this net release of carbon should be evident in the calculation of CO_2 emissions described in the *Land Use Change and Forestry* chapter.

All of the above issues are addressed within the methods presented in the remainder of this section.

Approaches For Estimating CO_2 Emissions

The estimation process can be divided into six steps that lead to figures for CO_2 emissions from fuel combustion.

1 Estimate consumption of fuels by fuel/product type.

2 Convert the fuel data to a common energy unit (TJ), if necessary.

3 Select carbon emission factors for each fuel/product type and estimate the total carbon content of the fuels.

4 Estimate the amount of carbon stored in products for long periods of time.

5 Account for carbon not oxidised during combustion.

6 Convert emissions of carbon to full molecular weight of CO_2 .

1.4.1.1 IPCC REFERENCE APPROACH

Estimate Fuel Consumption

The first step of the IPCC Reference Approach is to estimate apparent consumption of fuels within the country. This requires a balance of primary fuels produced, plus imports, minus exports, minus international bunkers and minus net changes in stocks. In this way carbon is brought into the country from energy production and imports (adjusted for stock changes) and moved out of the country through exports and international bunkers. In order to avoid double counting it is important to distinguish between *primary fuels*, which are fuels found in nature such as coal, crude oil and natural gas, and *secondary fuels* or fuel products, such as gasoline and lubricants, which are derived from primary fuels.

To calculate the supply of fuels to the country, the following data are required for each fuel and inventory year:

- the amounts of primary fuels produced (production of secondary fuels and fuel products is excluded);
- the amounts of primary and secondary fuels and fuel products imported;
- the amounts of primary and secondary fuels and fuel products exported;
- the amounts of primary and secondary fuels used in international bunkers;
- the net increases or decreases in stocks of fuels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The apparent consumption of *primary* fuels is, therefore, calculated from the above data as:

Apparent Consumption = Production + Imports - Exports - International Bunkers - Stock Change.

An increase in stocks is a positive stock change which withdraws supply from consumption. A stock reduction is a negative stock change which, when subtracted in the equation, causes an increase in apparent consumption.

Apparent consumption of secondary fuels should be added to primary apparent consumption. The production (or manufacture) of secondary fuels should be ignored in the calculations because the carbon in these fuels will already have been included in the supply of primary fuels from which they were derived; for instance, the estimate for apparent consumption of crude oil already contains the carbon from which gasoline would be refined. Apparent consumption of secondary fuels is calculated as follows:

Apparent Consumption = Imports - Exports - International Bunkers - Stock Change.

Note that this calculation can result in negative numbers for apparent consumption. This is a perfectly acceptable result for the purposes of this calculation since it indicates a net export or stock increase in the country.

Since carbon content typically varies by fuel type, data should be reported for detailed categories of fuel and product types as shown in Table 1-1. The table also illustrates the inputs and calculations recommended for the IPCC Reference Approach.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 1-1
IPCC REFERENCE APPROACH
ENTRIES AND CALCULATIONS FOR STEPS (1) AND (2)

Fuel	(1) Production	(2) Imports	(3) Exports	(4) International Bunkers	(5) Stock Change	(6) Apparent Consumption[a]	(7) Conversion Factor	(8) Apparent Consumption (TJ)
A) Liquid Fossil						sum[b]		sum
Primary Fuels								
1) Crude Oil	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
2) Orimulsion	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
3) N. Gas Liquids	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
Secondary Fuels / Products								
4) Gasoline	NA	input	input	input	input	calc	input	calc
5) Jet Kerosene	NA	input	input	input	input	calc	input	calc
6) Other Kerosene	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
7) Shale Oil	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
8) Gas / Diesel Oil	NA	input	input	input	input	calc	input	calc
9) Residual Fuel Oil	NA	input	input	input	input	calc	input	calc
10) LPG	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
11) Ethane	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
12) Naphtha	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
13) Bitumen	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
14) Lubricants	NA	input	input	input	input	calc	input	calc
15) Petroleum Coke	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
16) Refinery Feedstocks	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
17) Other Oil	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
B) Solid Fossil						sum		sum
Primary Fuels								
18) Anthracite[c]	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
19) Coking Coal	input	input	input	NA	input	calc	input[d]	calc
20) Other Bit. Coal	input	input	input	input	input	calc	input[d]	calc
21) Sub-bit. Coal	input	input	input	input	input	calc	input[d]	calc
22) Lignite	input	input	input	NA	input	calc	input[d]	calc
23) Oil Shale	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
24) Peat	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
Secondary Fuels								
25) BKB & Patent Fuel	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
26) Coke Oven/Gas Coke	NA	input	input	NA	input	calc	input	calc
C) Gaseous Fossil						sum		sum
27) Natural Gas (Dry)	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
Total[e]						**sum**		**sum**
Information Entries								
Biomass Total						sum		sum
28) Solid Biomass	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
29) Liquid Biomass	input	input	input	NA	input	calc	input	calc
30) Gas Biomass	input	input	input	NA	input	calc	input	calc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 1-1 (CONTINUED)
IPCC REFERENCE APPROACH
ENTRIES AND CALCULATIONS FOR STEPS (3) TO (6)

Fuel	(8) Apparent Consumption (TJ)	(9) Carbon Emission Factor[f] (t C/TJ)	(10) Carbon Content (Gg C)	(11) Carbon Stored (Gg C)	(12) Net Carbon Emissions (Gg C)	(13) Actual Carbon Emissions (Gg C)	(14) Actual CO_2 Emissions (Gg CO_2)
A) Liquid Fossil	sum		sum	sum	sum	sum	sum
Primary Fuels							
1) Crude Oil	calc	20.0	calc		calc	calc	calc
2) Orimulsion	calc	22.0	calc		calc	calc	calc
3) N. Gas Liquids	calc	17.2	calc		calc	calc	calc
Secondary Fuels / Products							
4) Gasoline	calc	18.9	calc		calc	calc	calc
5) Jet Kerosene	calc	19.5	calc		calc	calc	calc
6) Other Kerosene	calc	19.6	calc		calc	calc	calc
7) Shale Oil	calc	20.0	calc		calc	calc	calc
8) Gas / Diesel Oil	calc	20.2	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
9) Residual Fuel Oil	calc	21.1	calc		calc	calc	calc
10) LPG	calc	17.2	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
11) Ethane	calc	16.8	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
12) Naphtha	calc	(20.0)	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
13) Bitumen	calc	22.0	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
14) Lubricants	calc	(20.0)	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
15) Petroleum Coke	calc	27.5	calc		calc	calc	calc
16) Refinery Feedstocks	calc	(20.0)	calc		calc	calc	calc
17) Other Oil	calc	(20.0)	calc		calc	calc	calc
B) Solid Fossil	sum		sum	sum	sum	sum	sum
Primary Fuels							
18) Anthracite[c]	calc	26.8	calc		calc	calc	calc
19) Coking Coal	calc	25.8	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
20) Other Bit. Coal	calc	25.8	calc		calc	calc	calc
21) Sub-bit. Coal	calc	26.2	calc		calc	calc	calc
22) Lignite	calc	27.6	calc		calc	calc	calc
23) Oil Shale	calc	29.1	calc		calc	calc	calc
24) Peat	calc	28.9	calc		calc	calc	calc
Secondary Fuels							
25) BKB & Patent Fuel	calc	(25.8)	calc		calc	calc	calc
26) Coke Oven/Gas Coke	calc	29.5	calc		calc	calc	calc
C) Gaseous Fossil	sum		sum	sum	sum	sum	sum
27) Natural Gas (Dry)	calc	15.3	calc	Table 1-5	calc	calc	calc
Total[e]	**sum**		**sum**	**sum**	**sum**	**sum**	**sum**
Information Entries							
Biomass Total	sum		sum		sum	sum	sum
28) Solid Biomass	calc	29.9	calc		calc	calc	calc
29) Liquid Biomass	calc	(20.0)	calc		calc	calc	calc
30) Gas Biomass	calc	(30.6)[g]	calc		calc	calc	calc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 1-1 (CONTINUED)
IPCC REFERENCE APPROACH
EMISSIONS FROM INTERNATIONAL BUNKERS
(INTERNATIONAL MARINE AND AIR TRANSPORT)[h]

Fuel	(15) Quantities delivered[i]	(16) Conversion Factor (TJ/units)	(17) Quantities Delivered (TJ)	(18) Carbon Emission Factor (t C/TJ)	(19) Carbon Content (t C)	(20) Carbon Content (Gg C)
A) Solid Fossil						
Primary Fuels						
1) Other Bituminous Coal	input	input	calc	25.8	calc	calc
2) Sub-Bituminous Coal	input	input	calc	26.2	calc	calc
Liquid Fossil						
Secondary Fuels						
3) Gasoline	input	input	calc	18.9	calc	calc
4) Jet Kerosene	input	input	calc	19.5	calc	calc
5) Gas / Diesel Oil	input	input	calc	20.2	calc	calc
6) Residual Fuel Oil	input	input	calc	21.1	calc	calc
7) Lubricants	input	input	calc	(20.0)	calc	calc
Total			**sum**			

TABLE 1-1 (CONTINUED)
IPCC REFERENCE APPROACH
EMISSIONS FROM INTERNATIONAL BUNKERS
(INTERNATIONAL MARINE AND AIR TRANSPORT)

Fuel	(21) Fraction of Carbon Stored	(22) Carbon Stored (Gg C)	(23) Net Carbon Emissions	(24) Actual Carbon Emissions (Gg C)	(25) Actual CO_2 Emissions (Gg CO_2)
A) Solid Fossil					
Primary Fuels					
1) Other Bituminous Coal	NA	calc	calc	calc	calc
2) Sub-Bituminous Coal	NA	calc	calc	calc	calc
Liquid Fossil					
Secondary Fuels					
3) Gasoline	NA	calc	calc	calc	calc
4) Jet Kerosene	NA	calc	calc	calc	calc
5) Gas / Diesel Oil	NA	calc	calc	calc	calc
6) Residual Fuel Oil	NA	calc	calc	calc	calc
7) Lubricants	0.5	calc	calc	calc	calc
Total					**sum**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-1 (CONTINUED)
EXPLANATORY NOTES

calc = value to be calculated, NA = not applicable

(a) Apparent Consumption = Production + Imports - Exports - International Bunkers - Stock Changes. A stock build is positive; a stock draw is negative.

(b) Apparent Consumption for the aggregate categories of Liquid Fossil, Solid Fossil, Gaseous Fossil, and Biomass Fuels equal the sum of Apparent Consumption over the fuel types within the appropriate categories.

(c) If anthracite is not separately identifiable, include it with Other Bituminous Coal.

(d) If data are in 10^3t, separate conversion factors are available for Production, Imports and Exports in Table 1-2. Each of these entries should be multiplied by the appropriate conversion factor. Then, the results should be summed to find Apparent Consumption in TJ (Column 8).

(e) Total should include Liquid, Solid, and Gaseous Fossil Fuel subtotals only. Biomass subtotals are for reference purposes only and should not be included in the totals.

(f) If value is in parenthesis it is a default value until a fuel-specific CEF is determined.

(g) Based on the assumption that 50 per cent of the carbon in the biomass is converted to methane.

(h) The bunker emissions are not to be added to national totals.

(i) See Column 4, "International Bunkers".

Convert Fuel Data to a Common Energy Unit (if necessary)

In the OECD/IEA *Energy Statistics*, and other energy data compilations, production and consumption of solid and liquid fuels are specified in 10^3 tonnes. To convert tonnes to terajoules, net calorific values (NCV) must be applied. The values to convert from 10^3 tonnes to terajoules are in Table 1-2. In some cases, particularly for coal, different NCVs are given for production, imports and exports in a given country and are used to convert each category separately when calculating apparent consumption. For international bunkers and stock changes national experts can use a weighted average of the different NCVs, or use the one for the coal type which meets the largest share of total apparent consumption. For refined products the NCVs from 10^3 tonnes to terajoules do not normally vary greatly by country and global default values are provided in Table 1-3.[9]

National experts may use more detailed locally available NCVs. In this case, the values used should also be reported and documented. If original data are expressed in other energy units such as British thermal units (Btu's) or million tons of oil equivalent (Mtoe), they should be converted to terajoules using standard conversion factors. If energy data are already available in terajoules on a net calorific value basis, no conversion is necessary and Column 7 of Table 1-1 can be ignored.

[9] Throughout the *Guidelines* net calorific values are used and expressed in SI units or multiples of SI units (for example TJ/kt). The term *Conversion Factor* has two uses. First, as net calorific value, to convert quantities expressed in natural units to energy units, and second as a scaling factor to convert one form of energy unit to another (e.g., Btu's to GJ).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 1-2
1990 COUNTRY-SPECIFIC NET CALORIFIC VALUES FOR SELECTED NON-OECD COUNTRIES

(Terajoule per kilotonne)

	Albania	Algeria	Angola Cabinda	Argentina	Armenia	Azer-baijan	Bahrain	Bangla-desh	Bela-russia	Benin	Bolivia
OIL											
Crude Oil	41.45	43.29	42.75	42.29	-	42.08	42.71	42.16	42.08	42.58	43.33
NGL	-	43.29	-	42.50	-	-	42.71	42.71	-	-	43.33
COAL											
Hard Coal											
Production	-	25.75	-	24.70	-	-	-	-	-	-	-
Imports	27.21	25.75	-	30.14	18.58	18.58	-	20.93	25.54	-	-
Exports	-	-	-	24.70	18.58	18.58	-	-	25.54	-	-
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	9.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imports	-	-	-	-	14.65	14.65	-	-	14.65	-	-
Exports	9.84	-	-	-	14.65	14.65	-	-	14.65	-	-
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	-	-	-	-	29.31	29.31	-	-	29.31	-	-
Coke Oven/Gas Coke	27.21	27.21	-	28.46	25.12	25.12	-	-	25.12	-	-

	Brazil	Brunei	Bulgaria	Came-roon	Chile	China	Colombia	Congo	Cuba	Cyprus	Czech Republic
OIL											
Crude Oil	42.54	42.75	42.62	42.45	42.91	42.62	42.24	42.91	41.16	42.48	41.78
NGL	45.22	42.75	-	-	42.87	-	41.87	-	-	-	-
COAL											
Hard Coal											
Production	18.42	-	24.70	-	28.43	20.52	27.21	-	-	-	24.40
Imports	30.56	-	24.70	-	28.43	20.52	-	-	25.75	25.75	23.92
Exports	-	-	-	-	-	20.52	27.21	-	-	-	27.98
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	-	-	7.03	-	17.17	-	-	-	-	-	12.26
Imports	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exports	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.26
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	-	-	20.10	-	-	-	-	-	-	-	21.28
Coke Oven/Gas Coke	28.30	-	27.21	-	28.43	28.47	20.10	-	27.21	-	27.01

Note: A few of these countries have become OECD members subsequent to the production of this table.

Crude oil conversion factors are based on weighted average production data.

The conversion factors are those used by the IEA in the construction of energy balances.

Source: OECD/IEA, 1993b.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2 (CONTINUED)
1990 COUNTRY-SPECIFIC NET CALORIFIC VALUES FOR SELECTED NON-OECD COUNTRIES

(Terajoule per kilotonne)

	Ecuador	Egypt	Estonia	Ethiopia	Gabon	Georgia	Ghana	Guate-mala	Hong Kong	Hungary	India
OIL											
Crude Oil	42.45	42.54	-	42.62	42.62	42.08	42.62	42.45	-	40.36	42.79
NGL	42.45	42.54	-	-	-	-	-	-	-	45.18	43.00
COAL											
Hard Coal											
Production	-	-	-	-	-	18.58	-	-	-	16.42	19.98
Imports	-	25.75	18.58	-	-	18.58	25.75	-	25.75	26.33	25.75
Exports	-	-	18.58	-	-	18.58	-	-	-	24.15	19.98
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	-	-	14.65	-	-	-	-	-	-	10.55	9.80
Imports	-	-	14.65	-	-	14.65	-	-	-	9.91	-
Exports	-	-	14.65	-	-	14.65	-	-	-	-	-
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	-	-	20.10	-	-	29.31	-	-	-	21.44	20.10
Coke Oven/Gas Coke	-	27.21	25.12	-	-	25.12	-	-	27.21	30.11	-

	Indonesia	Iran	Iraq	Israel	Ivory Coast	Jamaica	Jordan	Kazakh-stan	Kenya	Kuwait	Kyrgy-zstan
OIL											
Crude Oil	42.66	42.66	42.83	42.54	42.62	42.16	42.58	42.08	42.08	42.54	42.08
NGL	42.77	42.54	42.83	-	-	-	-	-	-	42.62	-
COAL											
Hard Coal											
Production	25.75	25.75	-	-	-	-	-	18.58	-	-	18.58
Imports	25.75	25.75	-	26.63	-	25.75	-	18.58	25.75	-	18.58
Exports	25.75	-	-	-	-	-	-	18.58	-	-	18.58
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	-	-	-	-	-	-	-	14.65	-	-	14.65
Imports	-	-	-	-	-	-	-	14.65	-	-	14.65
Exports	-	-	-	-	-	-	-	14.65	-	-	14.65
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	-	-	-	-	-	-	-	29.31	-	-	29.31
Coke Oven/Gas Coke	27.21	-	-	-	-	-	-	25.12	-	-	25.12

Note: A few of these countries have become OECD members subsequent to the production of this table.
Crude oil NCVs are based on weighted average production data.
The NCVs are those used by the IEA in the construction of energy balances.
Source: OECD/IEA, 1993b.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 1-2 (CONTINUED)
1990 COUNTRY-SPECIFIC NET CALORIFIC VALUES FOR SELECTED NON-OECD COUNTRIES

(Terajoule per kilotonne)

	Latvia	Leb-anon	Libya	Lithu-ania	Malaysia	Malta	Mexico	Moldova	Mor-occo	Mozam-bique	Myan-mar
OIL											
Crude Oil	-	42.16	43.00	42.08	42.71	-	42.35	-	43.00	-	42.24
NGL	-	-	-	-	43.12	-	46.81	-	-	-	42.71
COAL											
Hard Coal											
Production	-	-	-	-	25.75	-	24.72	-	23.45	25.75	25.75
Imports	18.58	-	-	18.59	25.75	25.75	30.18	18.58	27.63	25.75	25.75
Exports	18.58	-	-	18.59	25.75	-	22.41	18.58	-	-	-
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.37
Imports	14.65	-	-	14.65	-	-	-	14.65	-	-	-
Exports	14.65	-	-	14.65	-	-	-	14.65	-	-	-
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	29.31	-	-	29.31	-	-	-	29.31	-	-	-
Coke Oven/Gas Coke	25.12	-	-	25.12	27.21	-	27.96	25.12	27.21	-	27.21

	Nepal	Neth. Antilles	Neutral Zone	Nigeria	North Korea	Oman	Paki-stan	Panama	Para-guay	Peru	Philip-pines
OIL											
Crude Oil	-	42.16	42.12	42.75	42.16	42.71	42.87	42.16	42.54	42.75	42.58
NGL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42.75	-
COAL											
Hard Coal											
Production	-	-	-	25.75	25.75	-	18.73	-	-	29.31	20.10
Imports	25.12	-	-	-	25.75	-	27.54	25.75	-	29.31	20.52
Exports	-	-	-	25.75	25.75	-	-	-	-	-	-
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	-	-	-	-	17.58	-	-	-	-	-	8.37
Imports	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exports	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coke Oven/Gas Coke	-	-	-	27.21	27.21	-	-	-	-	27.21	27.21

Note: A few of these countries have become OECD members subsequent to the production of this table.

Crude oil NCVs are based on weighted average production data.

The NCVs are those used by the IEA in the construction of energy balances.

Source: OECD/IEA, 1993b.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2 (CONTINUED)
1990 COUNTRY-SPECIFIC NET CALORIFIC VALUES FOR SELECTED NON-OECD COUNTRIES

(Terajoule per kilotonne)

	Poland	Qatar	Romania	Russia	Saudi Arabia	Senegal	Sing-apore	South Africa	South Korea	Slovak Republic	Sri Lanka
OIL											
Crude Oil	41.27	42.87	40.65	42.08	42.54	42.62	42.71	44.13	42.71	41.78	42.16
NGL	-	43.00	-	-	42.62	-	-	-	-	-	-
COAL											
Hard Coal											
Production	22.95	-	16.33	18.58	-	-	-	25.09	19.26	-	-
Imports	29.41	-	25.12	18.58	-	-	-	-	27.21	23.92	25.75
Exports	25.09	-	-	18.58	-	-	-	25.09	-	-	-
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	8.36	-	7.24	14.65	-	-	-	-	-	12.26	-
Imports	-	-	7.24	14.65	-	-	-	-	-	-	-
Exports	9.00	-	-	14.65	-	-	-	-	-	15.26	-
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	20.93	-	14.65	29.31	-	-	-	-	-	21.28	-
Coke Oven/Gas Coke	27.76	-	20.81	25.12	-	-	27.21	-	-	27.01	-

	Sudan	Syria	Chinese Taipei	Tajik-istan	Tanz-ania	Thai-land	Trini-dad / Tobago	Tunisia	Turk-meni-stan	Ukraine	Utd Arab Emir-ates
OIL											
Crude Oil	42.62	42.04	41.41	42.08	42.62	42.62	42.24	43.12	42.08	42.08	42.62
NGL	-	-	-	-	-	46.85	-	43.12	-	-	-
COAL											
Hard Coal											
Production	-	-	25.96	18.58	25.75	-	-	-	-	21.59	-
Imports	-	-	27.42	18.58	-	26.38	-	25.75	18.58	25.54	-
Exports	-	-	-	18.58	-	-	-	-	18.58	21.59	-
Lignite and Sub-Bituminous Coal											
Production	-	-	-	-	-	12.14	-	-	-	14.65	-
Imports	-	-	-	14.65	-	-	-	-	14.65	14.65	-
Exports	-	-	-	14.65	-	-	-	-	14.65	14.65	-
Coal Products											
Patent Fuel/BKB	-	-	-	29.31	-	-	-	-	29.31	29.31	-
Coke Oven/Gas Coke	-	-	-	25.12	27.21	27.21	-	27.21	25.12	25.12	-

Note: A few of these countries have become OECD members subsequent to the production of this table.

Crude NCVs are based on weighted average production data.

The NCVs are those used by the IEA in the construction of energy balances.

Source: OECD/IEA, 1993b.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2 (CONTINUED)
1990 COUNTRY-SPECIFIC NET CALORIFIC VALUES FOR SELECTED NON-OECD COUNTRIES

(Terajoule per kilotonne)

	Uruguay	Uzbek-istan	Venez-uela	Viet Nam	Yemen	Former Yugo-slavia	Zaire	Zambia	Zim-babwe
OIL									
Crude Oil	42.71	42.08	42.06	42.61	43.00	42.75	42.16	42.16	-
NGL	-	-	41.99	-	-	-	-	-	-
COAL									
Hard Coal									
Production	-	18.58	25.75	20.91	-	23.55	25.23	24.71	25.75
Imports	-	18.58	-	-	-	30.69	25.23	-	25.75
Exports	-	18.58	25.75	20.91	-	-	-	24.71	25.75
Lignite and Sub-Bituminous Coal									
Production	-	-	-	-	-	8.89	-	-	-
Imports	-	14.65	-	-	-	16.91	-	-	-
Exports	-	14.65	-	-	-	16.90	-	-	-
Coal Products									
Patent Fuel/BKB	-	29.31	-	-	-	20.10	29.31	-	-
Coke Oven/Gas Coke	-	25.12	27.21	27.21	-	26.90	27.21	-	27.21

Note: A few of these countries have become OECD members subsequent to the production of this table.
Crude oil NCVs are based on weighted average production data.
The NCVs are those used by the IEA in the construction of energy balances.
Source: OECD/IEA, 1993b.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 1-2 (CONTINUED)
1990 COUNTRY-SPECIFIC NET CALORIFIC VALUES FOR OECD COUNTRIES

(Terajoule per kilotonne)

	Australia	Austria	Belgium	Canada	Den-mark	Finland	France	Germany	Greece	Iceland	Ireland	Italy
OIL												
Crude Oil	43.21	42.75	42.75	42.79	42.71	42.66	42.75	42.75	42.75	-	42.83	42.75
NGL	45.22	45.22	-	45.22	-	-	45.22	-	45.22	-	-	45.22
Refinery Feedst.	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	-	42.50	42.50
COAL												
Coking Coal												
Production	28.34	-	-	28.78	-	-	28.91	28.96	-	-	-	-
Imports	-	28.00	29.31	27.55	-	34.33	30.50	28.96	-	27.44	29.10	30.97
Exports	28.21	-	-	28.78	-	-	-	28.96	-	-	-	-
Other Bituminous Coal and Anthracite[a]												
Production	24.39	-	25.00	28.78	-	-	26.71	24.96	-	-	26.13	26.16
Imports	-	28.00	25.00	27.55	26.09	26.38	25.52	26.52	27.21	25.85	29.98	26.16
Exports	25.65	-	25.00	28.78	26.09	-	26.43	31.71	-	-	26.13	-
Sub-Bituminous Coal												
Production	17.87	-	18.06	17.38	-	-	-	-	-	-	-	-
Imports	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Exports	-	-	18.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lignite												
Production	9.31	10.90	-	14.25	-	-	17.94	8.41	5.74	-	-	10.47
Imports	-	10.90	21.56	-	-	-	17.94	14.88	-	-	19.82	10.47
Exports	-	10.90	-	14.25	-	-	-	8.40	-	-	-	-
Coal Products												
Patent Fuel/BKB	21.00	19.30	23.81	-	18.27	-	28.80	20.64	15.28	-	20.98	-
Coke Oven/Gas Coke	25.65	28.20	29.31	27.39	31.84	28.89	28.71	28.65	29.30	26.65	32.66	29.30

) In IEA statistics Anthracite is combined with Other Bituminous Coal – the NCVs given above reflect this combination.
he NCVs for oil and coal are those used by the IEA in the construction of energy balances.
he NCVs for coal product groupings listed are calculated from the values of their constituents.
ource: OECD/IEA, 1993a.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2 (CONTINUED)
1990 COUNTRY-SPECIFIC NET CALORIFIC VALUES FOR OECD COUNTRIES

(Terajoule per kilotonne)

	Japan	Luxem-bourg	Nether-lands	NZ	Norway	Portugal	Spain	Sweden	Switzer-land	Turkey	UK	USA
OIL												
Crude Oil	42.62	-	42.71	43.12	42.96	42.71	42.66	42.75	42.96	42.79	42.83	42.71
NGL	46.05	-	45.22	46.05	45.22	-	45.22	-	-	-	46.89	45.22
Refinery Feedst.	42.50	-	42.50	44.80	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50
COAL												
Coking Coal												
Production	30.63	-	-	28.00	-	-	29.16	-	-	33.49	29.27	29.68
Imports	30.23	-	29.30	28.00	-	29.30	30.14	30.00	-	33.49	30.07	-
Exports	-	-	-	28.00	-	-	-	-	-	-	29.27	29.68
Other Bituminous Coal and Anthracite[a]												
Production	23.07	-	-	26.00	28.10	-	21.07	14.24	-	29.30	24.11	26.66
Imports	24.66	29.30	29.30	-	28.10	26.59	25.54	26.98	28.05	27.21	26.31	27.69
Exports	-	-	29.30	-	28.10	-	23.00	26.98	28.05	-	27.53	28.09
Sub-Bituminous Coal												
Production	-	-	-	21.30	-	17.16	11.35	-	-	-	-	19.43
Imports	-	-	-	-	-	-	11.35	-	-	-	-	-
Exports	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lignite												
Production	-	-	-	14.10	-	-	7.84	-	-	9.63	-	14.19
Imports	-	20.03	20.00	-	-	-	-	8.37	-	12.56	-	-
Exports	-	-	20.00	-	-	-	-	-	-	-	-	14.19
Coal Products												
Patent Fuel/BKB	27.05	20.10	23.53	-	-	-	20.31	20.10	21.76	20.93	26.26	-
Coke Oven/Gas Coke	28.64	28.50	28.50	-	28.50	28.05	30.14	28.05	28.05	29.28	26.54	27.47

(a) In IEA statistics Anthracite is combined with Other Bituminous Coal – the NCVs given above reflect this combination.

The NCVs for oil and coal are those used by the IEA in the construction of energy balances.

The NCVs for coal product groupings listed are calculated from the values of their constituents.

Source: OECD/IEA, 1993a.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสวงหากำไร ทั้งนี้ ยกเว้นไม่ได้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-3
NET CALORIFIC VALUES FOR OTHER FUELS
($TJ/10^3$ tonnes)

Refined Petroleum Products	
Gasoline (aviation and auto)	44.80
Jet Kerosene	44.59
Other Kerosene	44.75
Shale Oil	36.00
Gas/Diesel Oil	43.33
Residual Fuel Oil	40.19
LPG	47.31
Ethane	47.49
Naphtha	45.01
Bitumen	40.19
Lubricants	40.19
Petroleum Coke	31.00
Refinery Feedstocks	44.80
Refinery Gas	48.15
Other Oil Products	40.19
Other Products	
Coal Oils and Tars derived from Coking Coal	28.00
Oil Shale	9.40
Orimulsion	27.50

Source: OECD/IEA, Paris, 1996a.

Select Carbon Emission Factors and Estimate Carbon Content

Carbon emission factors may vary considerably both among and within primary fuel types:

- For natural gas, the carbon emission factor depends on the composition of the gas which, in its delivered state, is primarily methane, but can include small quantities of ethane, propane, butane, and heavier hydrocarbons. Natural gas flared at the production site will usually be "wet", i.e., containing far larger amounts of non-methane hydrocarbons. The carbon emission factor will be correspondingly different.
- Carbon content per unit of energy is usually less for light refined products such as gasoline than for heavier products such as residual fuel oil.
- For coal, carbon emissions per tonne vary considerably depending on the coal's composition of carbon, hydrogen, sulphur, ash, oxygen, and nitrogen.

Estimates of carbon emission factors for fuels from several studies are summarised in Table 1-4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-4
CARBON EMISSION FACTORS FOR FUELS FROM DIFFERENT STUDIES
(t C/terajoule, net calorific value basis)[a]

Study	Anthracite	Bit. Coal	Sub-Bit. Coal	Lignite	Peat
Marland & Rotty (1984)		25.5[a]			
Marland & Pippin (1990)		25.4[a]			
Grubb (1989)	26.8[a]	25.8[a]		27.6[a]	28.9[a]
OECD (1991)		25.8[a,b]			

Study	Crude Oil	Gasoline	Kerosene	Gas/Diesel Oil	Fuel Oil	Natural Gas
Marland & Rotty (1984)	21.0[a]				15.2[a]	
Marland & Pippin (1990)	21.0[a]	19.4[a]	19.4[a]	19.9[a]	21.1[a,c]	15.3[a]
Grubb (1989)	20.0[a]	18.9[a]	19.5[a]	20.0[a]	21.1[a]	15.3[a]
OECD (1991)	20.0					15.3

(a) Values were originally based on gross calorific value; they were converted to net calorific value by assuming a 5% difference in calorific value for coal and oil, and 10% for natural gas. These percentage adjustments are the IEA assumptions on how to convert from gross to net calorific values.

(b) Average value for all coal: sub-bituminous through anthracite.

(c) Midpoint of range from 20.7 for light fuel oil (#4 fuel oil) to 21.6 for residual fuel oil (#6 fuel oil).

One approach for estimating the carbon emission factors was presented by Marland and Rotty (1984). For natural gas, the carbon emission factor was based on the actual composition of dry natural gas. They sampled the composition of natural gas from 19 countries and then calculated a weighted average global gas composition, breaking the gas out into methane, ethane, propane, other hydrocarbons, CO_2 and other gases. The composition of the gas then determined both the calorific values of the gas and the carbon content. The carbon emission factor of the gas (t C/terajoule, using gross calorific values) was expressed using the following relationship:

$$C_g = 13.708 + (0.0828 \times 10^{-3}) \times (H_v - 37\,234)$$

where C_g is the carbon emission factor of the gas in t C/terajoule (TJ) and H_v is the calorific value of the gas (gross calorific value, see OECD/IEA, 1996a) in kJ/cubic metre. The coefficients of the equation (13.708, 0.0828×10^{-3}, and 37 234) were estimated using regression analysis based on data from the 19 countries. The carbon content of oil was assumed to be a function of the API gravity: using an estimate of world average API gravity of $32.5° \pm 2°$, they estimated a composition of 85 ± 1 per cent carbon. Converting this to units of carbon per terajoule yielded an estimate of 21.0 t C/TJ on a net calorific value basis (assuming 42.62 terajoules per kilotonne, gross calorific value, as reported in Marland & Rotty, 1984). For coal, the literature suggested that the carbon content of coal was predominantly a function of the energy content (calorific value) and that the carbon content on a per tonne coal-equivalent basis was around 74.6 ± 2 per cent (Marland and Rotty 1984). The carbon emission factor was estimated to be 25.5 t C/TJ.

The approach used by Grubb (1989) to estimate carbon emission factors is very similar but based on more recent research. All carbon emission factors were originally reported on a gross calorific value basis, but are converted here to a net calorific value basis. He provides carbon factors for methane, ethane, propane, and butane and using data from

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Marland and Rotty (1984), estimates an average emission factor for natural gas of 15.3 t C/TJ ± 1 per cent. For oil and some refined petroleum products the estimates are based on data from the literature, as summarised in Table 1-4. The carbon emission factor of coal, excluding anthracite, was defined as:

$$C_c = 32.15 - (0.234 \times H_v)$$

where C_c is the carbon emission factor in t C/TJ and H_v is the gross calorific value of the coal when the calorific value is from 31 to 37 TJ/kilotonne on a dry mineral matter free (dmf) basis. Anthracites fall outside this range and a value of 26.8 t C/TJ is used.

Since the publication of the original OECD Background Document (OECD 1991), additional information has been made available on carbon emission factors. At an IPCC-sponsored workshop in October 1992 (IPCC/OECD, 1993), experts recommended several revised emission factors based on national inventory submissions to the OECD. Additional emission factors were also made available based on the work of the expert group on GHG Emissions from Fuel Combustion during Phase II of the IPCC/OECD/IEA Programme on National GHG Inventories in 1996.

The IPCC Reference Approach relies primarily on the emission factors from Grubb (1989), with additions from other studies as discussed above, to estimate total carbon content. The suggested carbon emission factors are listed in Table 1-1. The basic formula for estimating total carbon content is:

$$\text{Total Carbon Content (Gg C)} = \sum \text{Apparent Energy Consumption (by fuel type in TJ)} \times \text{Carbon emission factor (by fuel type in t C/TJ)} \times 10^{-3}$$

Apparent consumption of the fuels is estimated in Table 1-1 (Column 6). The carbon emission factors for the fuels are average values based on net calorific value. This approach has been recommended by the IPCC because it explicitly treats each major fuel type differently according to its carbon emission factor. When countries use local values for the carbon emission factors they should note the differences from the default values and provide documentation supporting the values used in the national inventory calculations.

Estimate Carbon Stored in Products

The next step is to estimate the amount of fossil fuel carbon that is stored in non-energy products and the portion of this carbon expected to oxidise over a long time period (e.g., greater than 20 years). All fossil fuels are used for non-energy purposes to some degree. Natural gas is used for ammonia production. LPGs are used for a number of purposes, including production of solvents and synthetic rubber. A wide variety of products is produced from oil refineries, including asphalt, naphthas and lubricants. Two by-products of the coking process, oils and tars, are used in the chemical industry.

Not all non-energy uses of fossil fuels, however, result in storage of carbon. For example, the carbon from natural gas used in ammonia production is oxidised quickly. Many products from the chemical and refining industries are burned or decompose within a few years. Several approaches for estimating the portion of carbon stored in products are reviewed in Box 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

BOX 2
APPROACHES FOR ESTIMATING CARBON STORED IN PRODUCTS

The approach used by Marland and Rotty (1984) relied on historical data for determining non-energy applications and varied depending on fossil fuel type. For natural gas they assume that close to 1/3 of the carbon used for non-energy purposes (equivalent to 1 per cent of total carbon from natural gas production) does not oxidise over long periods of time. For oil products they assume that some portion of LPG, ethane, naphthas, asphalt and lubricants does not oxidise quickly. Specifically, they assume that about 50 per cent of LPG and ethane from gas processing plants is sold for chemical and industrial uses and that 80 per cent of this amount, or 40 per cent of all LPG and ethane, goes into products that store the carbon. About 80 per cent of the carbon in naphthas is assumed to end up in products such as plastics, tires, and fabrics and oxidises slowly. All of the carbon in asphalt is assumed to remain unoxidised for long periods, while about 50 per cent of the carbon in lubricants is assumed to remained unoxidised. For coal they assume that on average 5.91 per cent of coal going to coke plants ends up as light oil and crude tar, with 75 per cent of the carbon in these products remaining unoxidised for long periods.

Grubb (1989) basically uses the Marland and Rotty (1984) approach, but suggests several changes, including higher estimates of methane losses during production and transportation of natural gas to market and a wide range of estimates concerning the fraction of carbon in refinery products that remain unoxidised. He does use Marland and Rotty's estimate of the amount of carbon in coal that does not oxidise, but also quantifies the amount of carbon emissions from SO_2 scrubbing (in which CO_2 is released during the chemical interactions in the desulphurisation process) using the formula: (% sulphur by weight) x (coal consumption) x 12/32.

Okken and Kram (1990) introduce the concept of actual and potential emissions of CO_2 where potential emissions are defined as carbon that is stored in products from non-energy uses or by-products from combustion and actual emissions as all carbon from fuels that are emitted immediately or within a short period of time. Actual emissions plus potential emissions equal total carbon in the fuels. They assume that carbon from the following non-energy uses of fossil fuels oxidises quickly: fertiliser production (ammonia), lubricants, detergents, volatile organic solvents, etc. Carbon from the following non-energy uses of fossil fuels remains stored for long periods of time (in some cases, hundreds of years): plastics, rubber, bitumen, formaldehyde, and silicon carbide.

For the IPCC Reference Approach, the suggested formula for estimating carbon stored in products for each country is:

Total Carbon Stored (Gg C) =
Non-Energy Use (10^3 t)
x Conversion Factor (TJ/10^3 t)
x Emission Factor (t C/TJ)
x Fraction Carbon Stored
x 10^{-3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Most of the suggested categories conform to those used by Marland and Rotty (1984) and include naphthas, bitumen (asphalt), lubricants, LPG, and coal oils and tars. The data available from the UN reports (e.g., 1996) correspond to these categories, with the exception of coal oils and tars, which are not reported.

The assumptions of 75 per cent for naphtha as a feedstock and 50 per cent for gas/diesel oil as a feedstock, used in Table 1-5 (Column 6) should be viewed as potential overestimates, since not all of the carbon from the intermediate products will be stored. For example, carbon emissions may occur due to losses in the production of final products or incineration of final products. At this time these percentages can be used as the upper bound when determining stored carbon.

This suggested approach for estimating carbon stored in products is illustrated in Table 1-5. Whenever possible, countries should substitute assumptions that represent more accurately the practices within their own countries and provide documentation for these assumptions. The resulting estimates from Table 1-5 (Column 7) should be subtracted from carbon content of apparent consumption to determine net carbon emissions that could be oxidised. This calculation is done by entering the values from Table 1-5 (Column 7) for the relevant fuels/products into Table 1-1 (Column 11). In Table 1-1, carbon stored in products is subtracted from total carbon in the fuels ("carbon content") to get net carbon available for emission ("net carbon emissions").

Currently the fraction of carbon stored applied to the carbon content of the fuels used for product manufacture takes into account the release of carbon from the use or destruction of the products in the short term. The fraction is therefore lower than the fraction of carbon entering the products (see Box 2). The emissions resulting from the use or destruction of the products may occur in:

- industrial processes – both the production of non-fuel products from energy feedstocks, and the emissions from use of these products in industrial processes (e.g., oxidation of anodes made from petroleum coke which occurs during aluminium production);
- other end uses of products (e.g., lubricants oxidised in transportation);
- waste disposal – particularly incineration of plastics and other fossil fuel based products.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 1-5
ESTIMATION OF CARBON STORED IN PRODUCTS

	1	2	3	4	5	6	7
	Estimated Fuel Quantities[a]	Conversion Factor	Estimated Fuel Quantities[b]	Emission Factor	Carbon Content[c]	Fraction Carbon Stored	Carbon Stored[d]
Product/Fuel[e]	(Original Units)	TJ/Units	(TJ)	(t C/TJ)	(Gg C)		(Gg C)
Lubricants	calc	Table 1-3	calc	Table 1-1	calc	0.50	calc
Bitumen	calc	Table 1-3	calc	Table 1-1	calc	1.0	calc
Coal Oils and Tars from Coking Coal	calc[f]	Table 1-3	calc	Table 1-1[g]	calc	0.75	calc
Naphtha as Feedstock	calc	Table 1-3	calc	Table 1-1	calc	0.75	calc
Gas/Diesel Oil as Feedstock	calc	Table 1-3	calc	Table 1-1	calc	0.50	calc
Natural Gas as Feedstock	calc	Table 1-3	calc	Table 1-1	calc	0.33	calc
LPG as Feedstock	calc	Table 1-3	calc	Table 1-1	calc	0.80	calc
Ethane as Feedstock	calc	Table 1-3	calc	Table 1-1	calc	0.80	calc

(a) Either Apparent Consumption plus domestic (manufactured) production, or Feedstock Use.

(b) Estimated Fuel Quantities in TJ (Col. 3) equals Estimated Fuel Quantities (Col. 1) times a Conversion Factor (Col. 2).

(c) Carbon Content (Col. 5) equals Estimated Fuel Quantities in TJ (Col. 3) times an Emission Factor (Col. 4).

(d) Carbon Stored (Col. 7) equals Carbon Content (Col. 5) times Fraction Carbon Stored (Col. 6) divided by 10^3.

(e) This is an incomplete list of products/fuels which account for the majority of carbon stored. Where data are available for other fuels, the estimation of stored carbon is strongly encouraged.

(f) Use 6% of apparent consumption of Coking Coal.

(g) Use the emission factor for coking coal (25.8 t C/TJ).

Estimate Carbon Unoxidised During Fuel Use

A small part of the fuel carbon entering combustion escapes oxidation but the majority of this carbon is later oxidised in the atmosphere. It is assumed that the carbon that remains unoxidised is stored indefinitely. Based on work by Marland and Rotty (1984), since 1991 the IPCC has been recommending that 1 per cent of the carbon in fossil fuels would remain unoxidised. This assumption was based on the following findings from Marland and Rotty for the amount unoxidised:

- For natural gas, less than 1 per cent of the carbon is unoxidised during combustion and remains as soot in the burner, stack, or in the environment.
- For oil 1.5% ±1% passes through the burners and is deposited in the environment without being oxidised. This estimate is based on 1976 US statistics of emissions of hydrocarbons and total suspended particulates.
- For coal 1% ±1% of carbon supplied to furnaces is discharged unoxidised, primarily in the ash.

However, several countries have commented that the amount of carbon remaining unoxidised is more variable than indicated by the 1 per cent assumption across all fuels. For example, it has been noted that the amount of unburnt carbon varies depending on several factors, including type of fuel consumed, type of combustion technology, age of the equipment, and operation and maintenance practices.

Information submitted by the Coal Industry Advisory Board of the OECD (Summers 1993), provided the following observations for coal combustion technologies:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- Unoxidised carbon from electric power stations in Australia averaged about 1 per cent. Test results from stoker-fired industrial boilers, however, were higher, with unoxidised carbon amounting to 1 to 12 per cent of total carbon with coals containing from 8 to 23 per cent ash. As average values, 2 per cent carbon loss was suggested for best practices, 5 per cent carbon loss for average practices, and 10 per cent carbon loss for worst practices. In those cases when coal is used in the commercial or residential sectors, carbon losses would be on the order of 5 to 10 per cent (Summers, 1993).
- In related work British Coal has provided information on the percentage of unburnt carbon for different coal combustion technologies:

Pulverised Coal	1.6%
Travelling Grate Stoker	2.7-5.4%
Underfeed Stoker	4.0-6.6%
Domestic Open Fire	0.6-1.2%
Shallow Bed AFBC[10]	Up to 4.0%
PFBC/CFBC[10]	3.0%

- Evaluations at natural gas-fired boiler installations indicate that combustion efficiency is often 99.9 per cent at units reasonably well-maintained.

It is clear from the available information that a single global default assumption of 1 per cent unoxidised carbon is not always accurate. While some additional information is available to refine the assumptions for this portion of the methodology, most of the new information requires some level of detail on the type of technology in which the fuel is combusted or information on which sector is consuming the fuel. The Reference Approach requires data only on the amount of fuels consumed in a country, not data by technology type or sector of the economy. As a result, based on the information available at this point, the default values presented in Table 1-6 are recommended for the percentage of carbon oxidised during combustion by fuel. It should be recognised that the value for coal is highly variable based on fuel quality and technology types. National experts are encouraged to vary this assumption if they have data on these factors, suggesting that different average values for their countries are appropriate. It is clear from the information available at this time that additional research should be conducted on this topic.

TABLE 1-6
FRACTION OF CARBON OXIDISED
(RECOMMENDED DEFAULT ASSUMPTIONS)

Coal[(a)]	0.98
Oil and Oil Products	0.99
Gas	0.995
Peat for electricity generation[(b)]	0.99

(a) This figure is a global average but varies for different types of coal, and can be as low as 0.91.

(b) The fraction for peat used in households may be much lower.

[10] AFBC = Advanced Fluidised Bed Combustion
CFBC = Circulating Fluidised Bed Combustion
PFBC = Pressurised Fluidised Bed Combustion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Convert carbon emissions to full molecular weight CO_2

Net carbon emissions (Column 12 in Table 1-1) are then multiplied by the fraction of carbon oxidised to give actual carbon emissions (Column 13 of Table 1-1), and then summed across all fuel types, to determine the total amount of carbon oxidised from the combustion of fuel. To express the results as carbon dioxide (CO_2), total carbon oxidised should be multiplied by the molecular weight ratio of CO_2 to C, (44/12).

1.4.1.2 EMISSIONS BY SOURCE CATEGORIES

A sectoral breakdown of national CO_2 emissions using the defined IPCC source categories is needed for monitoring and abatement policy discussions. The IPCC Reference Approach provides a rapid method to estimate the total CO_2 emissions from fuels supplied to the country but it does not break down the emissions by sector. The development of a Tier 1 method giving non-CO_2 GHG emissions by sector (Section 1.4.2) has been extended to CO_2 so that sectoral information can be obtained simply for this gas. However, the range of the carbon emission factors for fuels and the special consideration given to CO_2 emissions from biofuels mean that the calculations for CO_2 differ in a number of respects from those used for the non-CO_2 gases.

The more detailed calculations used for this approach are essentially similar in content to those used for the Reference Approach.

The formula is:

carbon emissions

=

$\sum$ fuel consumption expressed in energy units (TJ) for each sector

x carbon emission factor

- carbon stored

x fraction oxidised

There are seven key considerations when calculating CO_2 emissions by sector some of which have already been discussed for the Reference Approach:

- Identification of the quantities of fuels consumed (combusted) in energy industries;
- A clear understanding of how emissions from electricity generation and heat are treated;
- Identification of the fraction of carbon released during the use of fuels for non-energy purposes;
- Adjustments for carbon unoxidised;
- Identification of the quantities of fuels used for international transport;
- Separation of the emissions from the combustion of biofuels;
- Separation of the quantities of fuels used in the Agriculture/Forestry/Fisheries between mobile sources and stationary plant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quantities of fuels combusted in the energy industries.

For emission calculations there are three principal groups of activities involving fuels in the energy and transformation sector:

(i) The transformation of primary fuels into secondary fuels by physical or chemical processes not involving combustion of the primary fuel. For example, manufacture of petroleum products from crude oil.

(ii) The production of heat for sale or for electricity generation.

(iii) Combustion of fuels to support the main energy extraction or production business of the enterprise. For example, use of refinery gas for heating distillation columns, use of colliery methane at mines for heating purposes.

Activities within the first group are mainly those of refining and manufacture of solid fuels and derived gases. By definition, group (i) does not lead to fuel combustion emissions. Only fuels entering the activities in groups (ii) and (iii) should be considered for the calculation of emissions.

The underlying model of carbon flow which drives the reporting for the energy and transformation sector is that primary fuel carbon entering group (i) will appear either in the secondary products or be lost as fugitive emissions which are reported separately in Category 1B, Fugitive Emissions from Fuels. Carbon in secondary products will be partly or entirely stored or combusted either:

1) within the transformation industry as a group (iii) activity (e.g, refinery fuel or coke oven gas for heating coke ovens), or

2) as a group (ii) activity, or

3) by final consumers outside the energy industry.

In short therefore, because the pathways for carbon *leaving* a transformation process are covered by reporting on the worksheets in Module 1, there is no need to report quantities of primary fuels used exclusively for refining or solid fuel manufacture, notably, crude oil and coking coal. If, however, a country does use crude oil for electricity generation, for example, then the relevant quantity should be reported.

The scope of the activities to be included under group (ii) also needs further definition and this will be considered now.

Generation of electricity and heat

The Overview to this chapter (Section 1.1) describes the steps taken to harmonise reporting and inventory compilation required from those countries completing inventories according to both IPCC and EMEP/CORINAIR reporting requirements. An important step towards harmonisation has been the decision to align the IPCC reporting of emissions from electricity and heat generation by autoproducers (see Box 3) with that of CORINAIR.

In the 1995 *Guidelines* emissions from autoproducers were included with those from main power producers (referred to as "Public Electricity and Heat"). In this edition of the *Guidelines*, emissions from autoproduction are attributed to the industrial or commercial branches in which the generation activity occurs. Emissions reported under "Public Electricity and Heat" should be those from main power producers only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BOX 3
AUTOPRODUCERS

An autoproducer of electricity or heat is an enterprise which generates electricity or sells heat as a secondary activity, i.e., not as its main business. This should be contrasted with main power producers who generate electricity or who sell heat as their main business (primary activity) and may be publicly or privately owned. Supplies from main power producers are referred to as "Public" electricity and heat supply although an increasing part of public supply is being met by autoproducers.

Wherever possible the quantities of fuel used for, and the resulting emissions from, autoproduction should be identified in the worksheets used for this calculation. The worksheets make provision for this. As a growing amount of public electricity supply comes from autoproduction, calculation of the related emissions will assist identification of total emissions from electricity generation.

Carbon release during the non-energy use of fuels

The calculation of carbon content of fuels consumed, as a step for the estimation of the CO_2 emissions from fuel combustion, must be adjusted for the quantities of carbon which are stored within products made from fuels used as raw materials or within products used for their physical properties rather than combusted (e.g., bitumen or lubricants). The approach used to do this and the types of fuels involved are fully discussed under "Stored Carbon" in Section 1.4.1.1 and the arguments will not be repeated. There are two aspects of this adjustment, however, which need to be mentioned explicitly here because the calculation of carbon release at the level of fuel deliveries permits certain simplifications not available at the level of fuel supplies used for the Reference Approach. This arises because the Reference Approach estimates emissions from the supply of primary fuels and external trade in secondary fuels whereas the sectoral approach uses the carbon content of delivered fuels from which the full quantities of fuels entering long-term storage may be identified.

1 Bitumen and coal tars are usually not combusted but used in a manner which causes most of the carbon content to enter long-term storage. As a result, these products are excluded from the calculation of fuel combustion emissions and do not feature in the list of commodities on the worksheet.

2 Other fuels that are only partly combusted are included within the worksheet and the fraction of carbon entering long-term storage estimated by means of a carbon storage factor. A similar method is used for the Reference Approach. In the present sectoral calculation, however, no special steps are required to obtain deliveries data as the approach relies on them for all of its calculations.

Adjustments For Carbon Unoxidised

As discussed above under the Reference Approach, the amount of carbon that may remain unoxidised from combustion activities can vary for many reasons, including type of fuel consumed, type of combustion technology, age of the equipment, and operation and maintenance practices. Since the present approach relies on more disaggregated fuel consumption data, it is possible to specify the assumptions for unoxidised carbon by application. Unless other data are available, countries should use as default values the assumptions recommended in the Reference Approach: 2 per cent of carbon in fuel consumed is unoxidised for coal, 1 per cent for oil-derived fuels, 0.5 per cent for natural

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gas and 1 per cent for peat used for electricity generation. In addition, the following assumptions (from Summers, 1993) are recommended:

- For stoker-fired industrial boilers an average value for carbon unoxidised is 5 per cent. If countries believe that their operation and maintenance procedures achieve maximum efficiency, a 2 per cent carbon loss is suggested. If these procedures are believed to lead to very poor efficiency, then a 10 per cent carbon loss is recommended.
- In those cases when coal is used in the commercial or residential sectors, the assumption for unoxidised carbon should be 5 per cent.

Clearly, much additional research needs to be done in this area. These adjustments are suggested as initial default values. As more work is done, countries are encouraged to report any additional information they may have to refine understanding of the amount of carbon unoxidised in various applications.

Fuels used for international transport

The exclusion from national totals of emissions from (bunker) fuels used for international marine and air transport has been discussed in Section 1.4.1.1, Reference Approach. As in that approach, the emissions from international bunkers should not be omitted entirely but reported separately on the worksheet. The definitions of national and international movements for ships and aircraft are covered under the "Definition of Source Categories" (Energy) in Volume 1, *Reporting Instructions.*

Combustion of biofuels

CO_2 emissions from the combustion of biomass fuels are not to be included in the total national CO_2 emissions but should be reported separately on the worksheet.

Fuel use for mobile sources and stationary plant in the Agriculture/Forestry/ Fisheries sector

The separation of fuel combustion between the two types of combustion sources in this sector has been introduced to permit the aggregation of CO_2 emissions from them with the emissions of the non-CO_2 gases. Whatever methods are used for estimating the quantities of fuels used by these two types when calculating the non-CO_2 emissions from this sector should be used for CO_2. Delivery statistics do not usually distinguish between combustion plant types in any economic activity sector.

1.4.2 Non-CO_2 Emissions

1.4.2.1 Methane (CH_4) Emissions from Fuel Combustion

The contribution of fuel combustion to global emissions of methane is minor and the uncertainty is high. For these reasons, an aggregated fuel/sector split is sufficient for a Tier 1 approach, although exact product detail needs to be determined for CH_4 from biomass combustion. Fuel wood, charcoal, agricultural residues, agricultural waste and municipal waste combustion is by far the major contributor to CH_4 emissions within the fuel combustion group. Traditional charcoal making, which is a typical smouldering process, is a large source of methane which should be reported under Fugitive Emissions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

CHAPTER 2
INDUSTRIAL PROCESSES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2. INDUSTRIAL PROCESSES

2.1 Overview

Greenhouse gas emissions are produced from a variety of industrial activities which are not related to energy. The main emission sources are industrial production processes which chemically or physically transform materials. During these processes, many different greenhouse gases, including CO_2, CH_4, N_2O, and PFCs, can be released. Cement production is a notable example of an industrial process that releases a significant amount of CO_2. Different halocarbons (and SF_6) are also consumed in industrial processes or used as alternatives to ozone depleting substances (ODS) in various applications. Table 2-1 gives an overview of potential industrial emission sources of GHGs and ozone and aerosol precursors (NO_x, NMVOCs, CO and SO_2).

In some instances industrial process emissions are produced in combination with fuel combustion emissions and it may be difficult to decide whether a particular emission should be reported within the energy or industrial processes sector. Where the main purpose of the fuel combustion is to use the heat released, the resulting emissions are included as energy emissions, not industrial process emissions. There are, however, some chemical processes or stages of processes, which oxidise carbon as a feedstock and are exothermic. The reduction of iron in a blast furnace through the combustion of coke is an example. Invariably the heat released is used within the processes or for other energy needs of the producer. However, in this case, since the primary purpose of coke oxidisation is to produce pig iron, the emissions are considered to be industrial.

In some cases not all fuel feedstock delivered to petrochemical plants is used for manufacture of other products. Some feedstock may in fact be used for energy purposes in the sense that it is combusted for the heat released. This may be included as energy in the national energy balance, but not necessarily. The separation of the feedstock and energy uses and the identification of any fuel by-products from the processes is a notoriously difficult area of energy statistics.

Where a country has difficulty in distinguishing whether an emission is energy- or industrial-based, compilers of industrial-process emissions statistics should liaise closely with their energy counterparts and compare their basic data for fuel use in the industrial processes to avoid double counting.

All emissions, including evaporative emissions, which occur in energy transformation activities are discussed in the Energy Chapter. Emissions from petrochemical processes are, however, covered in this chapter. Emissions of NMVOCs from use of solvents are discussed in the chapter "Solvents and other product use" even if they originate from an industrial process.

CO_2 from use of biological carbon as feedstock and fermentation processes should not be reported under "Industrial Processes" or any other sector of the *IPCC Guidelines* if they originate from sources of carbon that are from a closed cycle.

Non-combustion industrial processes resulting in N_2O emissions are recognised as important anthropogenic contributors to global N_2O emissions. It is estimated that this source category represents 10 to 50 per cent of anthropogenic N_2O emissions and 3 to 20 per cent of all global emissions of N_2O (IPCC, 1992). The main sources of industrial anthropogenic N_2O emissions are adipic acid and nitric acid production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs) and sulphur hexafluoride (SF_6) are used as alternatives to ozone depleting substances being phased out under the Montreal Protocol. Current and expected applications of these compounds include refrigeration and air-conditioning, fire extinguishing, aerosols, solvents, and foam production. These chemicals are either emitted instantaneously or slowly being leaked out over time. Many of these compounds have high global warming potentials (GWPs) and long atmospheric lifetimes. Consumption of HFCs, and to some extent PFCs and SF_6, is expected to grow substantially in the next decades due to their importance as substitutes for ozone depleting substances.

HFCs, PFCs and SF_6 are also emitted from industrial processes, such as production of aluminium, magnesium and halocarbons (e.g., HCFC-22). In some countries PFC emissions from industrial processes could be an important contributor to national GHG emissions, due to high GWPs.

Much of the information on the greenhouse gases contained within this chapter is based on four key documents: "*Anthropogenic Emissions of CO_2, CH_4 and N_2O in Norway*", (Rypdal, 1993), "*Greenhouse gas emissions in Norway*", Norwegian Pollution Control Authority (1994), "*Workbook for Industrial Emissions and Solvent Use*", National Greenhouse Gas Inventory Committee, Australia (Workbook, Australia, 1995), and the previous version of the Industrial Processes Chapter in the *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (IPCC, 1995). In addition, several experts, within and outside of the Industrial Processes Expert Group, have contributed to this chapter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

TABLE 2-1
POTENTIAL EMISSIONS FROM INDUSTRIAL PROCESSES.

Process	Greenhouse Gases						Ozone and Aerosol Precursors			
	CO_2	CH_4	N_2O	PFC	SF_6	HFC	NO_x	NMVOC	CO	SO_2
Mineral Products										
Cement production	x									x
Lime production	x									x
Limestone use	x									
Soda Ash prod. and use	x									
Asphalt roofing								x	x	
Road paving							x	x	x	x
Other	x	x					x	x	x	x
Chemical industry										
Ammonia	x						x	x	x	x
Nitric acid			x				x			
Adipic acid			x				x	x	x	
Urea			x							
Carbides	x	x						x	x	x
Caprolactam			x							
Petrochemicals		x	x			x		x		x
Metal Production										
Iron, steel and ferroalloys	x	x					x	x	x	x
Aluminium	x	x		x	x		x	x	x	x
Magnesium	x				x		x	x	x	x
Other metals	x	x			x		x	x	x	x
Other										
Pulp and paper							x	x	x	x
Food and drink production								x		
Production of halocarbons				x	x	x				
Use of halocarbons and SF_6				x	x	x				
Other sources	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

The table does not necessarily cover all potential GHGs or industrial sources. A cross in the table does not imply that the emission estimations methodology is available in this report or that the emission of a given source and gas is significant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 General Methodology

2.2.1 Overview

The general methodology employed to estimate emissions associated with each industrial process involves the product of activity level data, e.g., amount of material produced or consumed, and an associated emission factor per unit of consumption/production according to the following method:

$$TOTAL_{ij} = A_j \times EF_{ij}$$

where:

$TOTAL_{ij}$ = process emission (tonnes) of gas i from industrial sector j

A_j = amount of activity or production of process material in industrial sector j (tonnes/yr)

EF_{ij} = emission factor associated with gas i per unit of activity in industrial sector j (tonne/tonne)

This general method represents the fundamental relationship to evaluate industrial process emissions. It should be noted, however, that a number of mathematical steps may be involved in reducing more complex mathematical formulae to the simplified form of the formula above. In cases where mathematical transformations are involved, justifications are presented.

Often process emissions from a certain industrial sector are caused by emissions from a few plants in each country. Therefore, measurement data are often available. Emission estimates should be based on such data if they exist instead of a more generalised methodology. Even if measurements are not available, calculations should preferably be based on plant-specific data.

2.2.2 Approaches to Avoid Double Counting of CO_2

The IPCC Methodology for national GHG inventories requires an intentional double reporting of NMVOCs, methane and carbon monoxide, firstly in their individual inventories, and as CO_2 equivalent in the national CO_2 inventory. Whether an explicit addition to the CO_2 inventory is required depends on how the national CO_2 inventory has been calculated. Guidance on this point is contained under "Double Counting of Emissions" (See Overview) contained in each volume of the *IPCC Guidelines.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 Cement Production

2.3.1 Overview

Carbon dioxide emitted during the cement production process represents the most important source of non-energy industrial process of global carbon dioxide emissions. Cement production accounts for about 2.4 per cent of total global industrial and energy CO_2 emissions (Marland et al., 1989). Carbon dioxide is produced during the production of clinker and intermediate product from which cement is made. High temperatures in cement kilns chemically change raw materials into cement clinker (greyish-black pellets about the size of 12 mm-diameter marbles). Specifically, calcium carbonate ($CaCO_3$) from limestone, chalk or other calcium-rich materials is heated, forming lime (calcium oxide or CaO) and carbon dioxide in a process called calcination or calcining:

$$CaCO_3 + Heat \rightarrow CaO + CO_2$$

This lime combines with silica-containing materials, provided to the kiln as clays or shales, to form dicalcium or tricalcium silicates, two of the four major compounds in cement clinker (Griffin, 1987). The clinker is then removed from the kiln, cooled, and pulverised into an extremely fine grey powder. During this operation a small amount of gypsum is added to regulate the setting time of the cement. The finished product is called "Portland" cement[1].

It should be noted that when poured concrete is curing, some CO_2 is reabsorbed by the concrete from the atmosphere. This CO_2 reabsorption is, however, believed to be only a small fraction of the CO_2 emission resulting from cement production and is therefore usually ignored in emission calculations.

Most of the cement currently produced in the world is of Portland cement type, which contains 60 per cent to 67 per cent lime by weight. Other speciality cements are lower in lime, but are typically used in small quantities. Research is underway on cement formulations that have similar structural properties to Portland cement, but require less lime (Tresouthick and Mishulovich, 1990). Carbon dioxide emissions from cement production are essentially directly proportional to lime content, so production of cements lower in lime yield less CO_2.

Because CO_2 is emitted during clinker production (rather than cement production itself), emission estimates should be based on the lime content and production of *clinker*. Estimating emissions based on the lime content and production of *finished cement* ignores the consideration that some domestic cement may be made from imported clinker, or that some finished cement may use additional lime that is not accounted for in the cement calculations. Clinker statistics, however, may not be readily available in some countries. If this is the case, cement statistics can be used. The differences between the lime content and production of clinker and cement, *in most countries*, are not significant enough to affect the emission estimates.

---

[1] In some countries, e.g., Japan, an effort has been made to substitute blast furnace slag for lime. If this non-Portland type forms a significant quantity of cement production, it can reduce the average emission factor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Emission Estimation Methodology for CO_2

Estimation of CO_2 emissions from cement production is accomplished by applying an emission factor, in tonnes of CO_2 released per tonne of clinker produced, to the annual clinker output.[2] The emission factor (EF) is the product of the fraction of lime used in the cement clinker and a constant reflecting the mass of CO_2 released per unit lime.

$$EF_{clinker} = \text{Fraction CaO} \times (44.01 \text{ g/mole } CO_2 / 56.08 \text{ g/mole CaO})$$

or

$$EF_{clinker} = \text{Fraction CaO} \times 0.785$$

There are two methods for calculating this emission factor. The first is to assume an average CaO fraction in clinker. Since clinker is mixed with gypsum, which contains no lime per unit, to make cement, clinker has a higher lime percentage than finished cement. The average clinker lime percentage has been estimated to be 64.6 per cent.[3] This number when multiplied by the molecular weight ratio of CO_2/CaO (0.785) gives a clinker emission factor of 0.5071 tonnes of CO_2/tonne of clinker produced.

$$EF_{clinker} = 0.646 \times 0.785 = 0.5071$$

A second method is to assemble country or regional data on clinker production by type and clinker CaO content by type, then calculate a weighted average for cement lime content in the country. In most countries, the difference in the results of these two methods is likely to be small; any error in the lime content assumption is likely to be smaller than the uncertainty in clinker and cement production figures (Griffin, 1987).

If information on clinker production is not readily available, an emission factor in tonnes of CO_2 released per tonne of cement produced can be applied to annual cement production instead. This approach has been followed by Marland et al. (1989), who took the average CaO content of cement to be 63.5 per cent, yielding an emission factor of 0.4985 CO_2/cement (0.136 tonne CO_2 as C/tonne cement).

$$EF_{cement} = 0.635 \times 0.785 = 0.4985$$

Additional research indicates that "masonry cement", as opposed to "Portland cement", requires additional lime, over and above the lime used in its clinker. The following formula can be used to account for this activity:

---

[2] Note that the estimation of CO_2 from energy use during cement production is explained in the energy chapter; these emissions should be reported under Energy: Fuel Combustion activities.

[3] Gregg Marland, ORNL, personal communication.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a x (All Cement Production) x ((1-1/(1+b)) x c) x 0.785
=
tonnes CO_2 from CaO added to masonry cement

where:

a = fraction of all cement produced that is masonry cement (e.g., 0.1-0.2)

b = fraction of weight added to masonry cement by non-plasticiser additives such as lime, slag, and shale (e.g., 0.03, 0.05)

c = fraction of weight of non-plasticiser additives that is lime (e.g., 0.6-0.8)

a x (All Cement Production) = masonry cement production
((1-1/(1+b)) x c) = fraction of lime in masonry cement not attributable to clinker
((1-1/(1+b)) x c) x 0.785 = an emission factor of CO_2 from masonry cement additives

The recommended method for estimating CO_2 emissions from cement production is to multiply the most reliable figures available for tonnes of clinker produced by an emission factor of 0.5071 tonne CO_2/tonne clinker. Alternatively, cement production can be multiplied by an emission factor of 0.4985 tonne CO_2/tonne cement.

International cement production data are available from the United Nations (1988) and from the U.S. Bureau of Mines (1988). In some countries, national data may be available from appropriate government ministries. There is substantial overlap between the U.S. Bureau of Mines and the UN data sets, but the former is more complete. Published information is also available from the European Cement Association (CEMBUREAU, 1990).

2.3.3 Emissions Estimation Methodology for SO_2

EMEP/CORINAIR has classified cement production as both an industrial combustion and an industrial process (SNAP codes 30311 and 40612, respectively). However, no description of emission factors for the non-combustion emissions are presented. A default methodology is, therefore, presented below.

SO_2 emissions will originate from sulphur in the fuel and in the clay raw material. Most (about 70-95 per cent) of the SO_2 generated in the process will be absorbed in the produced alkaline clinker (U.S. EPA 1995). The fuel emissions are counted as energy emissions while the SO_2 from the clay should be counted as non-combustion emissions. A non-combustion emission factor of 0.3 kg SO_2/tonne cement has been calculated from measurements in Norwegian plants (Rypdal 1995). This factor may vary from plant to plant as the sulphur content of raw materials and degree of absorption will vary. If no information on sulphur content and degree of absorption is available and there are no measurement data, a factor of 0.3 kg SO_2/tonne cement is suggested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวก ข

จดหมาย สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ กรมโรงงานอุตสาหกรรม ที่ อก 0319/716 ลงวันที่ 14 ธันวาคม 2555 เรื่อง แนวทางการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ อก ๐๓๑๙/ ๗๑๖

สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์
กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ถนนพระรามที่ ๖ เขตราชเทวี
กรุงเทพมหานคร ๑๐๔๐๐

๑๔ ธันวาคม ๒๕๕๕

เรื่อง แนวทางการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กันต์พงษ์ วรรัตน์ปัญญา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สิ่งที่ส่งมาด้วย เอกสารแนวทางการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ด้วย นายสิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา ตำแหน่งวิศวกรชำนาญการ ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับมหาบัณฑิต ชั้นปีที่ ๒ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยในหลักสูตรได้จัดให้ผู้ศึกษาจัดทำรายงานตามรายวิชาการศึกษาค้นคว้าอิสระ (Independent Study) ในการนี้ผู้ศึกษาได้นำเสนอโครงงานวิจัยในหัวข้อ “ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม” โดยใช้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นกรณีศึกษา นั้น

สำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์ ขอแจ้งให้ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทราบว่า โครงงานวิจัยในหัวข้อ “ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม” เป็นการพัฒนาต่อยอดการดำเนินโครงการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมและสามารถนำมาใช้เป็นอุตสาหกรรมต้นแบบในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือ โดยใช้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นกรณีศึกษา และในการศึกษาสามารถนำความรู้ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ รวมทั้งนำไปพัฒนาให้เกิดประโยชน์ต่องานในหน้าที่ได้ ซึ่งการดำเนินการสามารถใช้ข้อมูลจากโครงการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม ที่เป็นไปตามแนวทางของคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) (คู่มือแนวทางการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี ๑๙๙๖) มาใช้วิเคราะห์และออกแบบ รวมถึงการประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ได้ตามสิ่งที่ส่งมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(นางสมหญิง คุณานพรัตน์)
ผู้อำนวยการสำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์

ส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม
โทร. ๐ ๒๒๐๒ ๔๑๐๘
โทรสาร ๐ ๒๒๐๒ ๔๐๑๕

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแสวงหาผลกำไร หรือการอื่นใดทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกลุ่มอุตสาหกรรมอุตสาหกรรมซีเมนต์

1. อุตสาหกรรมซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ หมายถึง สารประกอบอย่างหนึ่ง มีลักษณะเป็นผงที่บดละเอียด ซึ่งเมื่อได้ผสมกับน้ำตามอัตราส่วนที่พอดีแล้วทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการแข็งตัว โดยมนุษย์ในสมัยโบราณได้ค้นพบว่าเมื่อเอาหินบางชนิด มาทำการเผาจนสลายเป็นผงแล้วบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมน้ำทิ้งไว้เป็นเวลาหนึ่ง ก็จะได้ผลผลิตที่แข็งเป็นก้อน เป็นรูปร่างตามต้องการ ปูนซีเมนต์ในปัจจุบันทำจากวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินั่ม หรือซิลิก้า เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ หินปูน หินเชลล์ ดินเหนียว เป็นต้น และอาจมีการผสมธาตุเหล็กด้วย ปัจจุบันปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้กันมาก คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยคุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบที่เป็นวัตถุดิบและกรรมวิธีการผลิต สารประกอบที่อยู่ในวัตถุดิบเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันในขั้นตอนการเผาในเตาเผา (Rotary Kiln) โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

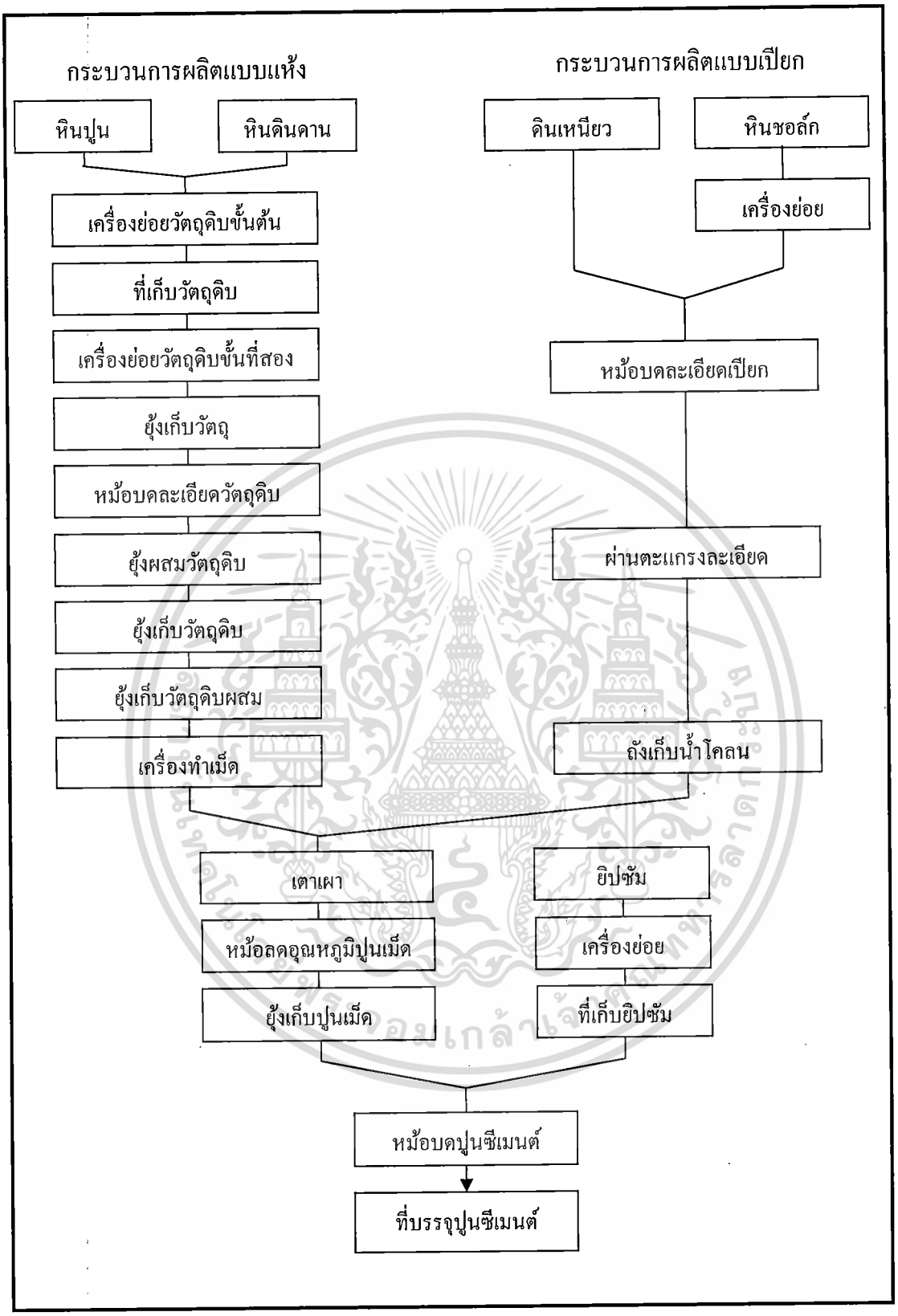
1. วัสดุธาตุปูน (calcareous materials) เป็นออกไซด์ของธาตุแคลเซียม (calcium) ได้แก่ หินปูน (limestone) และหินชอล์ก (chalk)

2. วัสดุอาจิลลาเซียส (argillaceous materials) เป็นออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (silicon) อลูมิเนียม (aluminium) ได้แก่ ดินเหนียว หินเชลล์หรือดินดาน (shale) และ หินชนวน (slate) ในบางครั้ง ดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีทั้งออกไซด์ของแคลเซียมและซิลิกอน ได้แก่ ดินมาร์ล (marl) นอกจากนี้ การผลิตปูนซีเมนต์ยังต้องการวัตถุดิบชนิดอื่นร่วมด้วย อาทิ ออกไซด์ของเหล็ก (iron oxide) ออกไซด์ของอลูมิเนียมและเหล็ก ช่วยให้ปฏิกิริยาในเตาเผาเกิดได้ง่ายขึ้น ยิปซัม (gypsum) ช่วยหน่วงปฏิกิริยาไม่ให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็วเกินไปโดยบดร่วมกับปูนเม็ด (clinker) ในขั้นตอนสุดท้าย

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

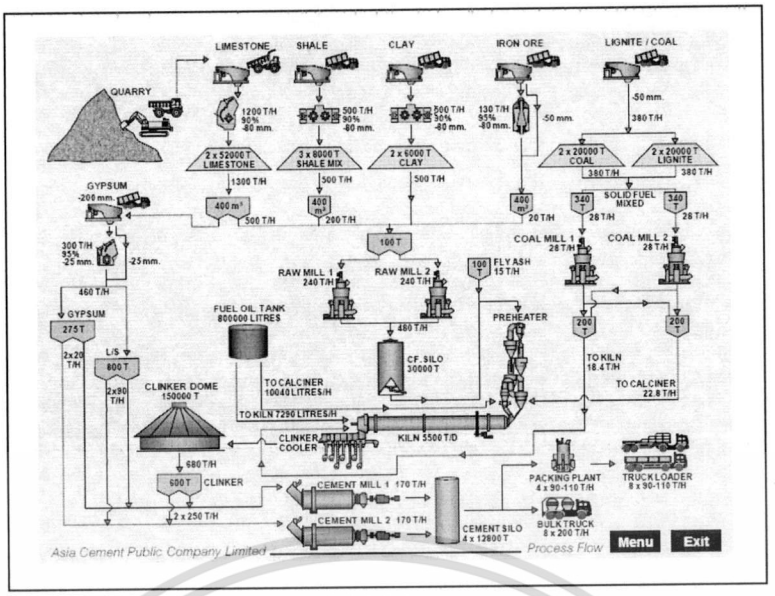
กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียก (wet process) และกระบวนการผลิตแบบแห้ง (dry process) แสดงดังรูปที่ 1 และตัวอย่างขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรม แสดงดังรูปที่ 2 โดยการเลือกกระบวนการผลิตแบบใดขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุดิบในสภาพธรรมชาติ ความแข็งของวัตถุดิบ และชนิดของวัตถุดิบ ที่ความชื้นช่วงหนึ่ง การบดวัตถุดิบให้ละเอียดจะทำได้ยาก จำเป็นต้องขจัดความชื้นที่มีอยู่หรือเพิ่มน้ำให้มีปริมาณมากขึ้น ถ้าวัตถุดิบเป็นดินเหนียวจะมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงใช้กระบวนการผลิตแบบเปียก หากวัตถุดิบเป็นหินปูนและหินเชลล์จะมีความชื้นค่อนข้างต่ำจึงควรใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง ในปัจจุบันนิยมกระบวนการ ผลิตแบบแห้ง เพราะค่าใช้จ่ายถูกกว่ากระบวนการผลิตแบบเปียกมาก เตาเผาของระบบแห้งมีขนาดเล็กกว่าระบบเปียก และพลังงานที่ใช้ในการเผาจะน้อยกว่าของระบบเปียกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ตัวอย่างขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรม

ในกระบวนผลิตแบบเปียก วัตถุดิบจะผสมกับน้ำตามสัดส่วนที่กำหนด โดยปกติถ้าใช้ดินเหนียวและหินชอล์ก จะใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำประมาณ 1:3 จากนั้นจะบดส่วนผสมให้ละเอียดในหม้อบดละเอียดเปียก (wash mill) ได้น้ำโคลนข้น (slurry) และนำไปผ่านตะแกรงละเอียดแล้วส่งเข้าเตาเผา วัตถุดิบที่ป้อนเข้าเตาเผาจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 35 ถึง 50

ในกระบวนการผลิตแบบแห้ง วัตถุดิบที่ระเบิดมาจากเหมืองจะนำมาย่อยให้เล็กลงในเครื่องย่อยขั้นต้น (primary crusher) และเครื่องย่อยขั้นที่สอง (secondary crusher) ตามลำดับ จากนั้นจึงนำวัสดุไปบดละเอียดในหม้อบดวัตถุดิบ (raw mill) แล้วผสมกันตามสัดส่วนที่ต้องการในไซโลผสมวัตถุดิบ (blending silo) จากนั้นเพิ่มความร้อนของวัตถุดิบด้วยลมร้อนก่อนส่งเข้าเตาเผา ในกรณีของกระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้ง (semi-dry process) จะนำวัตถุดิบไปทำเป็นเม็ดโดยการเติมน้ำเล็กน้อยและผ่านเข้าไปในเครื่องทำเม็ด (granulator) วัตถุดิบจะจับกันเป็นก้อนกลมขนาดประมาณ 12 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อทำให้การป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เตาเผาสะดวกขึ้น วัตถุดิบจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 ดังนั้น เตาเผาของกระบวนการผลิตแบบแห้งและกึ่งแห้งจึงมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาในกรณีกระบวนการผลิตแบบเปียก

เตาเผาของโรงงานปูนซีเมนต์เป็นเตาเผาแบบหมุน (rotary kiln) ทำด้วยเหล็กกล้ารูปทรงกระบอก ข้างในบุด้วยอิฐทนไฟ เตาเผาแบบหมุนมีความเอียงจากแนวราบเล็กน้อยประมาณ 3 ถึง 5 ในร้อย และหมุนรอบแกนของทรงกระบอกอย่างช้าๆ ประมาณ 1 ถึง 3 รอบต่อนาที เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา เช่น ถ่านหิน น้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติ วัตถุดิบจะป้อนเข้าทางส่วนบนของเตา สำหรับกระบวนการผลิตแบบเปียกวัตถุดิบ อยู่ในเตาเผาเป็นเวลานาน 2 ถึง 2 ½ ชั่วโมง และเป็นเวลา ½ ถึง 1 ชั่วโมงสำหรับกรณีการผลิตแบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

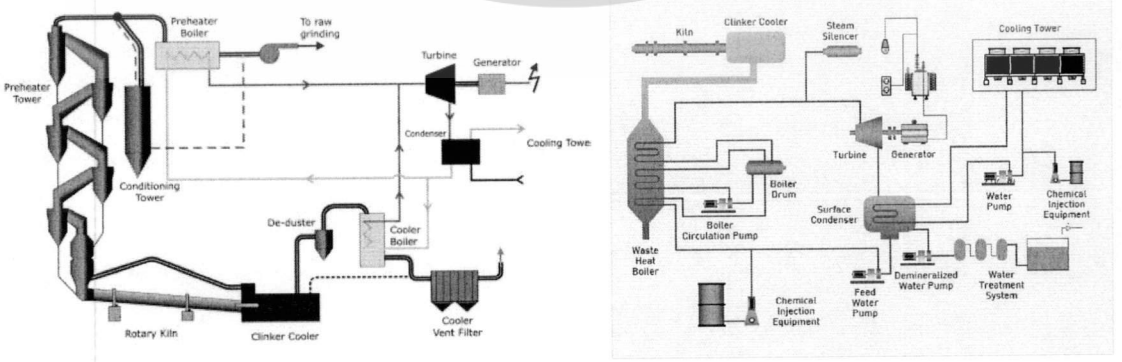
จากการศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการผลิตซีเมนต์ข้างต้น สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 2 แหล่ง ดังนี้

1. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดพลังงาน (Energy)

ก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้พลังงาน (Energy) ของอุตสาหกรรมซีเมนต์เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Fuel combustion) ในอุปกรณ์ให้ความร้อนเพื่อ ผลิตปูนซีเมนต์ อาทิ เตาเผา (Rotary Kiln) หม้ออุ่นน้ำมันเตา ((Boiler) รวมทั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนอื่นๆ (Heat Generator) และการผลิตพลังงานไฟฟ้า

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เกิดขึ้นในเตาเผา (Kiln) โดยส่วนใหญ่ ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ความร้อน ดังนั้นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิง ค่าความร้อน และการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ (สันดาป) สมบูรณ์หรือไม่ นอกจากนี้ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์หลายๆ แห่ง ยังมีการใช้เชื้อเพลิงทดแทนตัวอื่นๆ เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล น้ำมันใช้แล้ว ยาง พลาสติก และผ้า เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเชื้อเพลิงทดแทนที่หาได้และการออกแบบระบบป้อนเชื้อเพลิง ดังนั้นในการคำนวณหาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำเป็นต้องทำรายการเชื้อเพลิงที่ใช้ทุกรายการ รวมทั้งปริมาณการใช้ของเชื้อเพลิงแต่ละตัว

อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์มีความร้อนทิ้งที่มีอุณหภูมิสูงเป็นปริมาณมาก โดยบางโรงงานมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าโดยติดตั้งชุดหม้อไอน้ำความร้อนทิ้ง (Waste Heat Boiler) ผลิตไอน้ำเพื่อนำไปหมุนกังหันไอน้ำซึ่งต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) แสดงดังรูปที่ 3 โดยทั่วไปการผลิตไฟฟ้าจะใช้ความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามกรณีที่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงเสริมในการผลิตไฟฟ้า เช่น ช่วงเริ่มเดินเครื่องใหม่ หรือความร้อนไม่เพียงพอ ต้องคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ด้วย



รูปที่ 3 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมในหมวดพลังงานสามารถประเมินจากข้อมูลการจัดหาพลังงาน (Energy Supply) และการปรับค่าการเกิดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (จากการที่คาร์บอนในเชื้อเพลิงไม่เกิดการสันดาปกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด) การจัดหาข้อมูลสำหรับเชื้อเพลิงเชิงพาณิชย์ทั้งหมดประกอบกับปริมาณคาร์บอน (Carbon Content) ในเชื้อเพลิงซึ่งจะใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยการคำนวณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง สามารถสรุปขั้นตอนการประเมินการปล่อยก๊าซ CO_2 ได้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การหาปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิงทุกประเภท

ขั้นตอนที่ 2 การแปลงค่าปริมาณการใช้เชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงานในหน่วยเทอราจูล (TJ)

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกสัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (Carbon Emission Factor, CEF) ของเชื้อเพลิงหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดและประมาณคาร์บอน (Carbon Content) รวมของเชื้อเพลิง

ขั้นตอนที่ 4 การประมาณปริมาณกักเก็บคาร์บอนในผลิตภัณฑ์ (Carbon Stored in Products)

ขั้นตอนที่ 5 การประมาณคาร์บอนที่ไม่เกิดการสันดาป (Unoxidized Carbon) ในการเผาไหม้

ขั้นตอนที่ 6 การแปลงค่าการปล่อยคาร์บอนเป็นน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์

จากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น เขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$\text{Actual Carbon Emission} = [(Q_f \times CF \times EF_C)(1 - F_C)(F_{OC} \times MWco_2/MW_C)]_i \quad (1)$$

โดยที่ Q_f = Quantity of Fuels คือ ปริมาณการการใช้เชื้อเพลิง (ตัน)

CF = Conversion Factor คือ สัมประสิทธิ์การแปลงค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงานในหน่วย (TJ) จากตารางที่ 3.1

EF_C = Carbon Emission Factor คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (kg.C/GJ) จากตารางที่ 3.2

F_C = สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง จากตารางที่ 3.3

F_{OC} = Fraction of Oxidized Carbon คือ ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป จากตารางที่ 3.4

$MWco_2$ = Molecular Weight of CO_2

MWc = Molecular Weight of C

i = ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงาน (Energy) นอกจากจะเกิดขึ้นจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง (Fuel combustion) ในอุปกรณ์ให้ความร้อน ซึ่งถือเป็นการปลดปล่อยแบบทางตรงแล้ว ยังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งถือเป็นการปลดปล่อยแบบทางอ้อม สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ มีทั้งการซื้อจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าโดยตรง เช่น การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นต้น รวมทั้งการผลิตใช้เองหรือจำหน่าย ดังนั้นการคิดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานให้คิดปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าเท่านั้น ส่วนปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตใช้เองและจำหน่าย ไม่ต้องนำมาคิดค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ถูกรายงานในส่วนของการเผาไหม้เชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าแล้ว แสดงได้ดังสมการที่ 2

$$\text{Emission of Grid} = EF_{grid} \times Q_{PC} \quad (2)$$

โดยที่ EF_{grid} = Emission Factor คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากพลังงานไฟฟ้า (0.5113 ton CO_2/MWh)

Q_{PC} = Power Consumption คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่นำเข้าจากการไฟฟ้า (MWh)

ดังนั้น ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมจากการใช้พลังงาน แสดงดังสมการที่ 3

$$\begin{aligned}\text{Total Emission of Energy} &= \sum (\text{Direct Emission} + \text{Indirect Emission})_i \\ &= \sum (\text{Actual Carbon Emission} + \text{Emission of Grid})_i \\ &= \sum [(Q_f \times CF \times EF_C)(1 - F_C)(F_{OC} \times MWco_2/MW_C) + (EF_{grid} \times Q_{PC})]_i \quad (3)\end{aligned}$$

โดยที่ Q_f = Quantity of Fuels คือ ปริมาณการการใช้เชื้อเพลิง (ตัน)

CF = Conversion Factor คือ สัมประสิทธิ์การแปลงค่าเชื้อเพลิงเป็นค่าพลังงาน (TJ)

EF_C = Carbon Emission Factor คือ สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอน (kg.C/GJ)

F_C = สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง

F_{OC} = Fraction of Oxidized Carbon คือ ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป

$MWco_2$ = 44.01

MWc = 12.0

i = ชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้

EF_{grid} = 0.5113 ton CO_2/MWh

Q_{PC} = Power Consumption คือ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่นำเข้าจากการไฟฟ้า (MWh)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ค่า Default net calorific value (NCVs) และค่า Lower Limit และ Upper Limit

ประเภทเชื้อเพลิง		Net calorific Value (TJ/Gg)	Lower	Upper
น้ำมันดิบ (Crude oil)		42.3	40.1	44.8
ออริมัลชั่น (Orimulsion)		27.5	27.5	28.3
ก๊าซธรรมชาติเหลว (Natural Gas Liquids)		44.2	40.9	46.9
ก๊าซโซลีน	ใช้ในรถยนต์ (Motor Gasoline)	44.3	42.5	44.8
	ใช้ในเครื่องบินใบพัด (Aviation Gasoline)	44.3	42.5	44.8
	ใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet Gasoline)	44.3	42.5	44.8
น้ำมันก๊าดสำหรับใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet kerosene)		44.1	42.0	45.0
น้ำมันก๊าดชนิดอื่นๆ		43.8	42.4	45.2
หินน้ำมัน (Shale oil)		38.1	32.1	45.2
ก๊าซ/น้ำมันดีเซล (Gas/diesel oil)		43.0	41.4	43.3
กากน้ำมันเชื้อเพลิง (Residual Fuel oil)		40.4	39.8	41.7
ปิโตรเลียมก๊าซเหลว (Liquefied Petroleum Gas)		47.3	44.8	52.2
อีเธน (Ethane)		46.4	44.9	48.8
แนฟทา (Naphtha)		44.5	41.8	46.5
บิทูเมน (Bitumen)		40.2	33.5	41.2
น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant)		40.2	33.5	42.3
ถ่านโค้กปิโตรเลียม (Petroleum Coke)		32.5	29.7	41.9
วัตถุดิบในกระบวนการกลั่น (Refinery Feedstock)		43.0	36.3	46.4
น้ำมันอื่นๆ	ก๊าซจากกระบวนการกลั่น (Refinery Gas)	49.5	47.5	50.6
	พาราฟิน แว็กซ์ (Paraffin Waxes)	40.2	33.7	48.2
	White spirit และ SBP	40.2	33.7	48.2
	ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมประเภทอื่นๆ	40.2	33.7	48.2
แอนทราไซด์ (Anthracite)		26.7	21.6	32.2
Coking Coal		28.2	24.0	31.0
ถ่านหินบิทูมินัสประเภทอื่นๆ		25.8	19.9	30.5
ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub bituminous)		18.9	11.5	26.0
ลิกไนต์ (Lignite)		11.9	5.50	21.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ประเภทเชื้อเพลิง		Net calorific Value (TJ/Gg)	Lower	Upper
หินน้ำมันและทรายน้ำมัน (Oil shale and Tar sand)		8.9	7.1	11.1
ถ่านหินสีน้ำตาลแบบอัดก้อน (Brown Coal Briquettes)		20.7	15.1	32.0
Patent fuel		20.7	15.1	32.0
ถ่านหิน	Coke Oven Coke และLignite Coke	28.2	25.1	30.2
	ก๊าซจากถ่านโค้ก (Gas Coke)	28.2	25.1	30.2
Coal Tar		28.0	14.1	55.0
Derived Gases	ก๊าซจากกระบวนการผลิตก๊าซ (Gas Work Gas)	38.7	19.6	77.0
	ก๊าซจากเตาเผาถ่านโค้ก (Coke Oven Gas)	38.7	19.6	77.0
	ก๊าซจาก Blast Furnace (Blast Furnace Gas)	2.47	1.20	5.00
	Oxygen Steel Furnace Gas	7.06	3.80	15.0
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas)		48.0	46.5	50.4
ขยะเทศบาล (Municipal Waste) (ไม่ใช่สารชีวมวล)		10	7	18
ขยะอุตสาหกรรม (Industrial Waste)		NA	NA	NA
กากน้ำมัน (Waste oil)		40.2	20.3	80.0
พีทหรือถ่านหินเลน (Peat)		9.76	7.80	12.5
Solid Biofuels	ไม้หรือเศษไม้	15.6	7.90	31.0
	Sulphite Lyes (Black Liquor)	11.8	5.90	23.0
	ของแข็งชีวมวลปฐมภูมิอื่นๆ	11.6	5.90	23.0
	Charcoal	29.5	14.9	58.0
Liquid Biofuels	ก๊าซโซลีนชีวภาพ (Biogasoline)	27.0	13.6	54.0
	น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel)	27.0	13.6	54.0
	เชื้อเพลิงชีวภาพประเภทอื่นๆ	27.4	13.8	54.0
Gas Biofuel	ก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบ (Landfill Gas)	50.4	25.4	100
	ก๊าซจากสลัจน์ (Sludge Gas)	50.4	25.4	100
	ก๊าซชีวภาพประเภทอื่นๆ	50.4	25.4	100
ขยะเทศบาล (เป็นสารชีวมวล)		11.6	6.80	18.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่ากลาง (Default value) สัมประสิทธิ์การปล่อยคาร์บอนของเชื้อเพลิง (Carbon Emission Factor)

ประเภทเชื้อเพลิง	Default Carbon Emission Factor (kgC/GJ)	Lower	Upper
น้ำมันดิบ (Crude oil)	20.0	19.4	20.6
ออริมัลชั่น (Orimulsion)	21.0	18.9	23.3
ก๊าซธรรมชาติเหลว (Natural Gas Liquids)	17.5	15.9	19.2
ก๊าซโซลีนที่ใช้ในรถยนต์ (Motor Gasoline)	18.9	18.4	19.9
ก๊าซโซลีนที่ใช้ในเครื่องบินใบพัด (Aviation Gasoline)	19.1	18.4	19.9
ก๊าซโซลีนที่ใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet Gasoline)	19.1	18.4	19.9
น้ำมันก๊าดสำหรับใช้ในเครื่องบินเจ็ท (Jet kerosene)	19.5	19	20.3
น้ำมันก๊าดชนิดอื่นๆ	19.6	19.3	20.1
หินน้ำมัน (Shale oil)	20.0	18.5	21.6
ก๊าซ/น้ำมันดีเซล (Gas/diesel oil)	20.2	19.8	20.4
กากน้ำมันเชื้อเพลิง (Residual Fuel oil)	21.1	20.6	21.5
ปิโตรเลียมก๊าซเหลว (Liquefied Petroleum Gas)	17.2	16.8	17.9
อีเธน (Ethane)	16.8	15.4	18.7
แนฟทา (Naphtha)	20.0	18.9	20.8
บิทูเมน (Bitumen)	22.0	19.9	24.5
น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant)	20.0	19.6	20.5
ถ่านโค้กปิโตรเลียม (Petroleum Coke)	26.6	22.6	31.3
วัตถุดิบในกระบวนการกลั่น (Refinery Feedstock)	20.0	18.8	20.9
ก๊าซจากกระบวนการกลั่น (Refinery Gas)[2]	15.7	13.3	19.0
พาราฟิน แว็กซ์ (Paraffin Waxes)	20.0	19.7	20.3
White spirit และ SBP	20.0	19.7	20.3
ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมประเภทอื่นๆ	20.0	19.7	20.3
แอนทราไซด์ (Anthracite)	26.8	25.8	27.5
Coking Coal	25.8	23.8	27.6
ถ่านหินบิทูมินัส	25.8	24.4	27.2
ถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub bituminous)	26.2	25.3	27.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ประเภทเชื้อเพลิง	Default Carbon Emission Factor (kgC/GJ)	Lower	Upper
ลิกไนต์ (Lignite)	27.6	24.8	31.3
หินน้ำมันและทรายน้ำมัน (Oil shale and Tar sand)	29.1	24.6	34
ถ่านหินสีน้ำตาลแบบอัดก้อน (Brown Coal Briquettes)	26.6	23.8	29.6
Patent fuel	26.6	23.8	29.6
Coke Oven Coke และLignite Coke	29.2	26.1	32.4
ก๊าซจากถ่านโค้ก (Gas Coke)	29.2	26.1	32.4
Coal Tar	22.0	18.6	26.0
ก๊าซจากกระบวนการผลิตก๊าซ (Gas Work Gas)	12.1	10.3	15.0
ก๊าซจากเตาเผาถ่านโค้ก (Coke Oven Gas)	12.1	10.3	15.0
ก๊าซจาก Blast Furnace (Blast Furnace Gas)	70.8	59.7	84.0
Oxygen Steel Furnace Gas	49.6	39.5	55.0
ก๊าซธรรมชาติ (Natural gas)	15.3	14.8	15.9
ขยะเทศบาล (Municipal Waste) (ไม่ใช่สารชีวมวล)	25.0	20.0	33.0
ขยะอุตสาหกรรม (Industrial Waste)	39.0	30.0	50.0
กากน้ำมัน (Waste oil)	20.0	19.7	20.3
พีทหรือถ่านหินเลน (Peat)	28.9	28.4	29.5
ไม้หรือเศษไม้	30.5	25.9	36.0
Sulphite Lyes (Black Liquor)	26.0	22.0	30.0
ของแข็งชีวมวลปฐมภูมิอื่นๆ	27.3	23.1	32.0
Charcoal	30.5	25.9	36.0
ก๊าซโซลีนชีวภาพ(Biogasoline)	19.3	16.3	23.0
น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel)	19.3	16.3	23.0
เชื้อเพลิงชีวภาพประเภทอื่นๆ	21.7	18.3	26.0
ก๊าซจากพื้นที่ฝังกลบ (Landfill Gas)	14.9	12.6	18.0
ก๊าซจากสลัจน์(Sludge Gas)	14.9	12.6	18.0
ก๊าซชีวภาพประเภทอื่นๆ	14.9	12.6	18.0
ขยะเทศบาล (เป็นสารชีวมวล)	27.3	23.1	32.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่าสัดส่วนการกักเก็บคาร์บอนในเชื้อเพลิง

ชนิดของเชื้อเพลิง	สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอน
Lubricants	0.50
Bitumen	1.0
Coal Oils and Tars from Coking Coal	0.75
Naphtha as Feedstock	0.75
Gas/Diesel Oil as Feedstock	0.50
Natural Gas as Feedstock	0.33
LPG as Feedstock	0.80
Ethane as Feedstock	0.80

ตารางที่ 4 ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป (Fraction of oxidized Carbon)

ประเภทเชื้อเพลิง	ค่าสัดส่วนของคาร์บอนที่สันดาป
ถ่านหิน (Coal)	0.980
น้ำมันและผลิตภัณฑ์น้ำมัน (Oil and Oil products)	0.990
ก๊าซ (Gas)	0.995
พีท (Peat for electricity generation)	0.990

2. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในหมวดกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

แหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในขั้นตอนการเผาวัตถุดิบที่มีองค์ประกอบของคาร์บอเนต (CO_3) เช่น หินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต : $CaCO_3$) แมกนีไซต์ (แมกนีเซียมคาร์บอเนต : $MgCO_3$) เป็นต้น ณ อุณหภูมิ 1,450 °C ในเตาเผาปูนเม็ด (Kiln) ทำให้วัตถุดิบเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไปเป็นปูนขาว (แคลเซียมออกไซด์ : CaO) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในกระบวนการ เรียกว่า Calcination ที่อุณหภูมิ 800-1,100 °C สำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทยใช้หินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) เป็นวัตถุดิบหลัก โดยเมื่อเผาหินปูน 1 โมล จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นปูนขาวและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างละ 1 โมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังสมการที่ 4 ก่อนจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นปูนเม็ด ซึ่งปูนเม็ดที่ได้จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์

$$CaCO_3 + Heat \longrightarrow CaO + CO_2 \quad (4)$$

การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถทำได้โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก กับผลผลิตปูนเม็ดรายปี โดยค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ สัดส่วนของปูนขาว (CaO) ในปูนเม็ด (Clinker) กับปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปริมาณปูนขาว 1 หน่วย แสดงดังสมการที่ 5

$$EF_{clinker} = \text{สัดส่วนของ CaO} \times (44.01 \text{ กรัม/โมล } CO_2 / 56.08 \text{ กรัม/โมล CaO}) \quad (5)$$
$$= \text{สัดส่วนของ CaO} \times 0.785$$

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 คือ หาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของ CaO ในปูนเม็ด เนื่องจากในการผลิตปูนซีเมนต์ต้องนำปูนเม็ดมาผสมกับยิปซั่ม ซึ่งปราศจากส่วนผสมของปูนขาว ดังนั้นปริมาณปูนขาวในปูนเม็ดจะมีมากกว่าปริมาณปูนขาวในปูนซีเมนต์ ปริมาณของปูนขาวในปูนเม็ดมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 64.6 เมื่อนำค่าเฉลี่ยไปคูณกับสัดส่วนน้ำหนักโมลของ CO_2/CaO (0.785) จะทำให้ทราบว่าค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปูนเม็ดเท่ากับ 0.5071 ตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนเม็ด ดังสมการที่ 6

$$EF_{clinker} = 0.646 \times 0.785 = 0.5071 \quad (6)$$

กรณีที่ 2 คือ การรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตปูนเม็ดตามประเภทและส่วนประกอบ CaO ในปูนเม็ดตามประเภท ในระดับประเทศหรือกลุ่มประเทศ แล้วนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของส่วนประกอบปูนเม็ดในแต่ละประเทศ

กรณีที่ไม่มีข้อมูลการผลิตปูนเม็ด ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอน-ไดออกไซด์ สามารถใช้ปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์แทนได้ โดยใช้ค่าร้อยละ 63.5 ของส่วนประกอบ CaO ในปูนซีเมนต์ ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 0.4985 คาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนซีเมนต์ ดังสมการที่ 7

$$EF_{clinker} = 0.635 \times 0.785 = 0.4985 \quad (7)$$

ดังนั้น การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตปูนซีเมนต์ที่ควรนำไปใช้ คือ การนำจำนวนที่แน่นอนซึ่งมีหน่วยเป็นตันของปูนเม็ดที่ผลิต คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ 0.5071 ตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนเม็ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อีกวิธีหนึ่ง คือ การนำปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์ คูณกับค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ 0.4985 ตันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตันปูนเม็ด

จากหลักการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกข้างต้น เป็นการประมาณปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างง่าย ใช้ในกรณีที่โรงงานอุตสาหกรรมไม่มีข้อมูลสัดส่วนของปูนขาว (CaO) ส่วนในกรณีที่โรงงานอุตสาหกรรมมีข้อมูลที่ละเอียดขึ้น เช่น สัดส่วนของปูนเม็ดในปูนซีเมนต์ ค่าปรับแก้จาก Cement Kiln Dust (CKD) เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ละเอียดขึ้นได้ 2 ระดับ ดังสมการต่อไปนี้

1. ระดับต้น (กรณีทราบปริมาณการผลิตปูนซีเมนต์)

$$EF_{clc} = \text{สัดส่วนของ CaO} \times 0.785 \times (\text{CKD correction}) \quad (8)$$

$$= 0.51 \times 1.02$$

$$= 0.52 \quad \text{ton } CO_2/\text{ton clinker}$$

$$CO_2 \text{ Emissions} = [\sum (M_c \times C_{cl})_i - I_m + E_x] \times EF_{clc} \quad (9)$$

โดยที่ M_c = ปริมาณน้ำหนักของปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ (ตัน)

C_{cl} = ค่าสัดส่วนของปูนเม็ดในซีเมนต์ (ตัน)

I_m = ปริมาณการนำเข้าปูนเม็ด (ตัน)

E_x = ปริมาณการส่งออกปูนเม็ด (ตัน)

EF_{clc} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของปูนเม็ด (ตัน CO_2/ตันปูนซีเมนต์)

ค่ากลาง (Default Value) สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปูนเม็ด (EF_{clc}) ที่รวมค่าปรับแก้จาก Cement Kiln Dust (CKD) 2% = 0.52 ตัน CO_2/ตันปูนเม็ด

2. ระดับละเอียด (กรณีทราบปริมาณการผลิตปูนเม็ด)

$$CO_2 \text{ Emissions} = M_{cl} \times EF_{cl} \times CF_{ckd} \quad (10)$$

โดยที่ M_{cl} = ปริมาณน้ำหนักของปูนเม็ดที่ผลิต (ตัน)

CF_{ckd} = ค่าการปรับแก้สำหรับ CKD (วัตถุดิบที่ไม่ถูกเผาไปเป็นปูนเม็ด)

EF_{cl} = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ของปูนเม็ด (ตัน CO_2/ตันปูนเม็ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

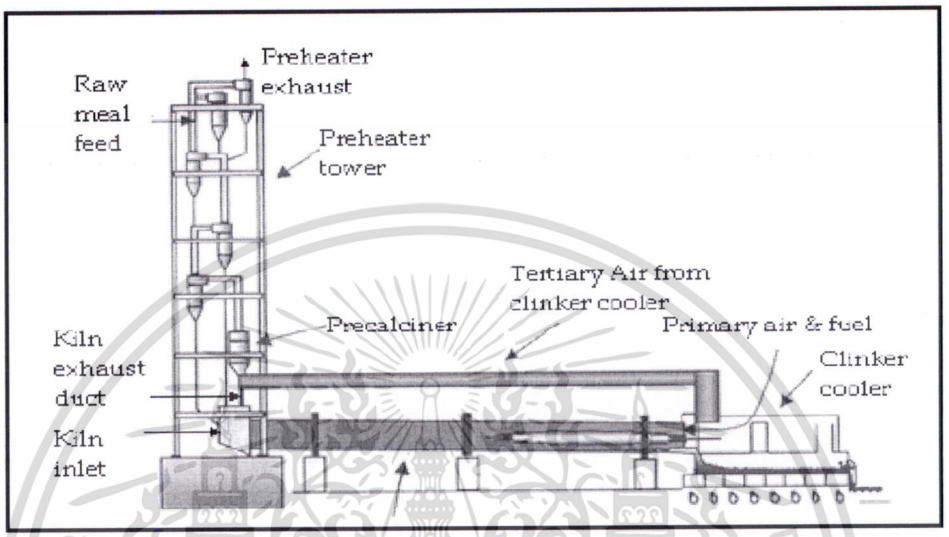
การประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นสำหรับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

วัตถุประสงค์ : เพื่อใช้เป็นแนวทางการพิจารณาประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนปรับเปลี่ยนระบบหรือเทคโนโลยีในเบื้องต้น สำหรับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เทคโนโลยี : แบบแห้งและมีหออุ่นวัตถุดิบ เผาไหม้เชื้อเพลิงที่ Main Burner และ Calciner



รูปที่ 1 การผลิตปูนซีเมนต์ใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบแห้งที่มีหออุ่นวัตถุดิบ

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพื่อลดก๊าซเรือนกระจกในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

รายละเอียด	ชนิดเชื้อเพลิง	ชนิดเชื้อเพลิงทดแทน	
กระบวนการผลิต	ถ่านหินบิทูมินัส	ชีวมวล (แกลบ ไม้สับ ซังข้าวโพด ขี้เลื่อย อื่นๆ)	ก๊าซธรรมชาติ
ระบบการป้อนเชื้อเพลิง	ป้อนถ่านหินบดละเอียด (Pulverized Coal) ไปยัง Calciner	ป้อนเชื้อเพลิงโดยสายพานลำเลียงที่มีเครื่องชั่ง (Weigh scale) และชุด Triple Gate เข้าไปยัง Calciner	ป้อนเชื้อเพลิงโดยใช้หัวเผาก๊าซ (Gas Burner)
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	25.8 TJ/Gg (25,800 MJ/ตัน)	15.6 TJ/Gg (15,600 MJ/ตัน)	48 TJ/Gg (48,000 MJ/ตัน)
ราคาเชื้อเพลิง	2,000 บาท/ตัน	1,000 - 1,500 บาท/ตัน (ไม่รวมค่าขนส่ง) ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณชีวมวลที่จัดหาได้และระยะทางในการขนส่ง	11,300 บาท/ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายละเอียด	ชนิดเชื้อเพลิง	ชนิดเชื้อเพลิงทดแทน	
อุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง	เครื่องชั่งน้ำหนักและถ่านหินป้อนด้วยลม (Pfister)	สายพานลำเลียง (Belt conveyor), เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weight scale), และประตูป้อนเชื้อเพลิง (Triple gate)	Gas Trains และ Gas Burners
การขนส่งเชื้อเพลิง	ทางเรือ และ/หรือทางรถบรรทุก	ทางเรือ และ/หรือทางรถบรรทุก	ทางรถบรรทุก หรือทางท่อส่งก๊าซ
การเตรียมเชื้อเพลิง	บดหยาบด้วยเครื่องบดหยาบ (Coal Crusher) และบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (Coal Mill)	ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิง	ไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมเชื้อเพลิง
การจัดเก็บเชื้อเพลิง	กองถ่านหินกลางแจ้งหรือในร่ม (Coal Storage)	กองชีวมวลกลางแจ้ง (Biomass Storage) หรือในถังไซโล	บรรจุในถังแบบ Bulk หรือส่งมาตามท่อก๊าซ
การเปลี่ยน/ติดอุปกรณ์เพิ่ม	-	เพิ่มระบบจ่ายเชื้อเพลิงที่ Calciner	Gas Station, Gas piping, Gas Trains, Gas burners ได้ทั้งที่ Main Burner และ Calciner
สัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิง	100%	0-100% ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณชีวมวลที่จัดหาได้	100% ได้ทั้งที่ Main Burner และ Calciner
ข้อจำกัดการเลือกเชื้อเพลิง	ปริมาณความชื้น ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า อัลคาร์ไลน์ คลอรีน โลหะหนัก (ถ้ามี)	ปริมาณความชื้น ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า อัลคาร์ไลน์ คลอรีน โลหะหนัก (ถ้ามี)	ปริมาณความชื้น ซัลเฟอร์ ขี้เถ้า อัลคาร์ไลน์ คลอรีน โลหะหนัก (ถ้ามี)
เงินลงทุนการเปลี่ยนเทคโนโลยี/อุปกรณ์	การดำเนินธุรกิจแบบปกติ (Business as Usual, BAU)	ขึ้นอยู่กับปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ทดแทน	ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสรุป : ณ ปัจจุบันยังไม่สามารถประเมินเงินลงทุนระบบหรือเทคโนโลยี ได้เนื่องจากมีปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัย ดังนี้

1. ชนิดของเชื้อเพลิงทดแทน : ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลว่าเป็นชนิดใด ถึงแม้ว่าชีวมวลแต่ละชนิดจะมีระบบการป้อนเชื้อเพลิงเหมือนกัน แต่ในกรณีที่มีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหลาย ๆ ชนิด จำเป็นต้องออกแบบให้มีระบบที่ควบคุมการป้อนอย่างแม่นยำ มิเช่นนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าความร้อนที่ป้อนให้กับเตาเผา หรือ Calciner ทำให้ยากต่อการควบคุมอุณหภูมิของเตาเผา

2. ปริมาณเชื้อเพลิงทดแทน : ขึ้นอยู่กับปริมาณที่จัดหาได้และการออกแบบสัดส่วนการทดแทนเชื้อเพลิงเดิม หรือ % Fuel Substitutes

3. เทคโนโลยี/อุปกรณ์ : เนื่องจากระบบการป้อนเชื้อเพลิงมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับการออกแบบและอุปกรณ์ที่เลือกใช้ ดังนั้นเงินลงทุนอาจมีความแตกต่างกันมาก

จากปัจจัยทั้ง 3 ข้อ ทำให้การประเมินในรายละเอียดนั้นทำได้ยาก ใช้เวลาศึกษานาน ดังนั้น ด้วยระยะเวลาที่จำกัดสามารถประเมินการลงทุนเปลี่ยนหรือปรับระบบ/เทคโนโลยีในเบื้องต้น ได้ดังนี้

1. สำหรับ เชื้อเพลิงชีวมวล

ค่าใช้จ่าย = ระบบการป้อนเชื้อเพลิง (สายพานลำเลียงที่มีเครื่องชั่งและชุด Triple Gate) + ค่าขนส่งเชื้อเพลิง + ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง + ค่าอุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม (ระบบจ่ายเชื้อเพลิง) + ราคาเชื้อเพลิงชีวมวลที่เปลี่ยนไปเทียบกับเชื้อเพลิงถ่านหิน

รายละเอียด	เชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส (เดิม)	เชื้อเพลิงชีวมวล
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	25.8 TJ/Gg (25,800 MJ/ตัน) ใช้ ถ่านหิน 1 ตัน	15.6 TJ/Gg (15,600 MJ/ตัน) ต้องใช้ชีวมวล 1.65 ตัน
ราคาเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	2,000 บาท/ตัน	1,250 บาท/ตัน (2,060 บาท/1.65 ตัน)
การขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	25 ตัน/เที่ยว	25 ตัน/เที่ยว
ค่าขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	3,000 บาท/เที่ยว/50 กิโลเมตร	4,950 บาท/1.65 เที่ยว/50 กิโลเมตร
ระบบการป้อนเชื้อเพลิง ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง อุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม **รวม**	-	250,000 บาท 150,000 บาท 200,000 บาท **600,000 บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ค่าระบบการป้อนเชื้อเพลิง ค่าระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง และค่าอุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม เป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนครั้งเดียว (คงที่) (ประเมิน ณ ปี 2555) ส่วนค่าขนส่งเชื้อเพลิง ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้นั้นแปรเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายการที่เปลี่ยนจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ดังสมการ

ค่าใช้จ่าย = [จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ((1.65 × ราคาเชื้อเพลิงชีวมวล) – ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน)]
+ [(0.65 × จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ราคาขนส่ง/ตัน]

แทนค่า

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = [Q_{coal} \times ((1.65 \times 1,250) - 2,000)] + [0.65 \times Q_{coal} \times (3,000/25)] = 140.5 \times Q_{coal} \quad (1)$$

โดยที่ Q_{coal} = จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน

ราคาเชื้อเพลิงชีวมวล = 1,250 บาท/ตัน

ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน = 2,000 บาท/ตัน

ราคาขนส่ง/ตัน = 3,000/25 บาท/ตัน

2. สำหรับ เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ

ค่าใช้จ่าย = ระบบการป้อนเชื้อเพลิง (Gas Trains, Gas burners) + ค่าขนส่งเชื้อเพลิง + ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง + ค่าติดอุปกรณ์เพิ่ม (Gas Station, Gas piping) + ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่เปลี่ยนไปเทียบกับเชื้อเพลิงถ่านหิน

รายละเอียด	เชื้อเพลิงถ่านหินบิทูมินัส (เดิม)	เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	25.8 TJ/Gg (25,800 MJ/ตัน) ใช้ถ่านหิน 1 ตัน	48 TJ/Gg (48,000 MJ/ตัน) ต้องใช้ก๊าซธรรมชาติ 0.5375 ตัน
ราคาเชื้อเพลิง (เฉลี่ย)	2,000 บาท/ตัน	11,300 บาท/ตัน (6,074 บาท/0.5375 ตัน)
การขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	25 ตัน/เที่ยว	25 ตัน/เที่ยว
ค่าขนส่งเชื้อเพลิง (รถบรรทุก10 ล้อ)	3,000 บาท/เที่ยว/50 กิโลเมตร	1,612 บาท/0.5375 เที่ยว/50 กิโลเมตร
ระบบการป้อนเชื้อเพลิง	-	350,000 บาท
ระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง		500,000 บาท
อุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม		150,000 บาท
รวม		**1,000,000 บาท**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ค่าระบบการป้อนเชื้อเพลิง ค่าระบบจัดเก็บเชื้อเพลิง และค่าอุปกรณ์ที่ติดเพิ่ม เป็นค่าใช้จ่ายที่ลงทุนครั้งเดียว (คงที่) (ประเมิน ณ ปี 2555) ส่วนค่าขนส่งเชื้อเพลิง ราคาเชื้อเพลิง และจำนวนเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ที่ใช้นั้นแปรเปลี่ยนไป ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ค่าใช้จ่ายการที่เปลี่ยนจากการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ได้ดังสมการ

ค่าใช้จ่าย = [จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ((0.5375 × ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ) – ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน)] - [(0.4625 × จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน × ราคาขนส่ง/ตัน]

แทนค่า

ค่าใช้จ่าย = [Qcoal × ((0.5375 × 11,300) – 2,000)] - [0.4625 × Qcoal × (3,000/25)]

= 4,018.25 × Qcoal (2)

โดยที่ Q_{coal} = จำนวนเชื้อเพลิงถ่านหิน

ราคาเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ = 11,300 บาท/ตัน

ราคาเชื้อเพลิงถ่านหิน = 2,000 บาท/ตัน

ราคาขนส่ง/ตัน = 3,000/25 บาท/ตัน

(นายสิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา)
วิศวกรชำนาญการ
กรมโรงงานอุตสาหกรรม
ผู้ทำการศึกษา

(นายผดุงศักดิ์ อู่นนทกานต์)
ผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
บริษัท ไบร์ท แมเนจเม้นท์ คอนซัลติ้ง จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

บันทึกข้อความ ที่ อก 0319/150 ลงวันที่ 14 มีนาคม 2556

เรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก

ในภาคอุตสาหกรรมในการปฏิบัติงาน ของ สสย.กรอ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม (สสย.กรอ. โทร ๔๑๐๘)

ที่ อก ๐๓๑๙/ ๕๐ **วันที่** ๑๔ มีนาคม ๒๕๕๖

เรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม ในการปฏิบัติงาน ของ สสย.กรอ.

เรียน ผส.สตส.

ตามที่กระผม นายสิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา ตำแหน่งวิศวกรชำนาญการ สสย.กรอ. ได้รับคัดเลือกให้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ แขนงวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีการศึกษา ๒๕๕๔ และได้เสนอแนะการพัฒนาต่อยอดการดำเนินโครงการจัดทำบัญชีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม โดยนำการประเมินก๊าซเรือนกระจกที่ได้ดำเนินการไว้มาคิดคำนวณตามแนวทางของ IPCC ๑๙๙๖ (คู่มือแนวทางการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจก ฉบับแก้ไขปรับปรุง ปี ๑๙๙๖) และออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม โดยใช้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมต้นแบบของกรณีศึกษา โดยดำเนินการศึกษาในรายวิชาการศึกษาค้นคว้าอิสระ ๑-๒ (Independent Study ๑-๒) นั้น

บัดนี้ การดำเนินการศึกษาในรายวิชาการศึกษาค้นคว้าอิสระ ๑-๒ ได้เสร็จสิ้นลงแล้ว จึงเห็นควรนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการดำเนินงานของ สตส.

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา หากเห็นชอบโปรดลงนามนำเรียน ผอ.สสย. เพื่อพิจารณาต่อไป

(นายสิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา)
วิศวกรชำนาญการ

เรียน ผอ.สสย.

สตส. พิจารณาแล้วเห็นว่า โครงงานวิจัยตามรายวิชาการศึกษาค้นคว้าอิสระในหัวข้อ “ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรม” โดยใช้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นกรณีศึกษา จะเป็นประโยชน์ต่อ กรอ. และหน่วยงานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ในการดำเนินการให้เป็นไปตามพันธกรณีของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภาคอุตสาหกรรม

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา หากเห็นชอบ สตส. จะได้นำผลการศึกษารายวิชาการศึกษาค้นคว้าอิสระ ๑-๒ ของ นายสิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา มาใช้ในการปฏิบัติงานด้านอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ของ สตส. ต่อไป

๕๐/๑๔ มี.ค. ๕๖
เรียน สตส.

(นางนุชนาถ สุพรรณศรี)
ผู้อำนวยการส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม

เห็นชอบ ดำเนินการต่อไป

(นางสมหญิง คุณานพรัตน์)
๑๔ มี.ค. ๕๖
ผู้อำนวยการสำนักสนธิสัญญาและยุทธศาสตร์

(นางนุชนาถ สุพรรณศรี)
๑๕ มี.ค. ๕๖
ผู้อำนวยการส่วนยุทธศาสตร์และข้อตกลงพหุภาคีด้านสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายสิทธิชัย เรืองโรจน์วิริยา
วันเกิด	18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษาที่สำเร็จการศึกษา	2547
การทำงาน	
2548 – ปัจจุบัน	ตำแหน่ง วิศวกรชำนาญการ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้