มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิต สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

นางสาวชณิชา หมอยาดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT MEASURES FOR CEMENT INDUSTRY

Miss Chanicha Moryadee

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
โดย	นางสาวชณิชา หมอยาดี
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ อังศุมาลิน เสนจันทร์ดิไชย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชณิชา หมอยาดี : มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ (PRODUCTION ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT MEASURES FOR CEMENT INDUSTRY) อ. ที่ปรึกษา: ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 218 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญอยู่ที่การศึกษาและวิเคราะห์เพื่อหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยใช้ดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumptions) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการบริโภคพลังงานต่อผลผลิตที่ได้ในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งผลของการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับจัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ต่อไป

อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงกลุ่มหนึ่ง จากการพิจารณาโครงสร้างต้นทุนการผลิตทั้งหมดของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ จะพบว่าต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่เป็นค่าพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย ค่าไฟฟ้า และค่าเชื้อเพลิง คิดเป็นประมาณร้อยละ 44 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมดในปี พ.ศ. 2548 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใช้พลังงานเทียบเท่า 3,990 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 17.6 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในทั้งภาคอุตสาหกรรม แต่ด้วยข้อมูลที่มีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือวิธีการลดพลังงานในกระบวนการผลิตลงได้ในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ และทำการวิเคราะห์หาเกณฑ์การใช้พลังงานที่สามารถนำไปกำหนดเป็นมาตรฐานการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมนี้ จากการศึกษาพบว่าค่า SEC ของกลุ่มอุตสาหกรรมนี้มีค่าแตกต่างกันขึ้นกับเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนการผลิตและคุณลักษณะของวัตถุดิบ เป็นต้น

สำหรับมาตรการที่นำเสนอคือ มาตรการมาตรการการประยุกต์อุปกรณ์ VSD ใช้ได้กับมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระลดการบริโภคพลังงานได้ 0.215 kWh/ton มาตรการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า 90 MW และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวน 600 ล้านหน่วยต่อปี มาตรการเครื่องคัดแยกเศษเหล็กออกจาก CLINKER ที่ REJECT สามารถลดพลังงานเชื้อเพลิงได้ 797.60 GJ/ปี และมาตรการติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK สามารถลดพลังงานเชื้อเพลิงได้ 2,949.73 GJ/ปี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ชณิชา หมอยาดี

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

4870713121: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION, ENERGY EFFICIENCY CEMENT INDUSTRY

CHANICHA MORYADEE: PRODUCTION ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT MEASURES FOR CEMENT INDUSTRY. THESIS ADVISOR: PROF. SIRICHAN THONGPRASERT, Ph.D, 218 pp.

The main purpose of this thesis is to study and analyze the direction of the energy efficiency improvement for cement industry by using SEC index. SEC Index is one of the famous and well – known indicators which consider the effect of energy per product as the same time. This index will be integrated with the collected data and then the suggestions, energy management, will be established.

The Cement Production Industry is one of the intensive energy-consuming industries. Most of the production cost, structurally comes from the cost of energy, consisting of electrical and fuel cost, accounting approximately 44 percent of overall production costs. In 2005, considerably, the cement industry consumed about 3,990 ktoe of the energies, or 17.6 percent of overall energy consumption in the industrial sector. As the existent data is limited, this research is motivated to study and concentrated on an efficiency of energy consuming in cement production.

This study leads to analyses of the standard of energy consumption in cement industry. From this study, an inequality of the SEC for each industrial sector depends on each steps of the different technology of production, grinder, incinerator and the percentage of masonry.

The proposed measures are use VSD with motor and use size motor system is expected to reduce the electric energy consumption 0.215 kWh/ton, waste heat recovery for power generation system with a capacity of 90 MW and it plants install the equipment in all three local cement plants which would save 600 GWh/year, use the separator select steel from rejected clinker it can reduce fuel energy consumption 797.60 GJ per year and setting the stone riddle at CFBK plant it can reduce fuel energy consumption 2,949.73 GJ per year.

Department.....INDUSTRIAL ENGINEERING Student's signature.....Chanicha Moryadee.....

Concentration...INDUSTRIAL ENGINEERING Advisor's signature.....

Academic year.....2007.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ และได้ให้คำแนะนำ อีกทั้งได้ทำการอ่าน และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรง ทวีแสงสกุลไทย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ และ อาจารย์ อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิด คำแนะนำ และแนวทางที่ดีที่เหมาะสมสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์กราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ และทีมงานวิศวกรของโรงงานปูนซีเมนต์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งในเรื่องข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ประกอบการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ อีกทั้งยังให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้บุคคลซึ่งข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงที่ได้ให้กำลังใจคือครอบครัวข้าพเจ้า บิดา มารดา และคณาจารย์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตลอดจนเพื่อนร่วมงานทุกคน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 11

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 11

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน 11

1.5 ประโยชน์ที่จะได้รับ 12

1.6 ภาพรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12

บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง 17

2.1 ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) 17

2.2 ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption : SEC) 19

2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต 21

2.4 กระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะ (Benchmarking) 23

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 39

3.1 ประวัติของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 39

3.2 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย 39

3.3 โครงสร้างอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 40

3.4 การจัดกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 43

3.5 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 47

3.6 เทคโนโลยีการผลิตในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 51

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4 การบริโภคพลังงานและการเทียบเคียงสมรรถนะพลังงาน 68
4.1 การบริโภคพลังงานและค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ 68
4.2 การบริโภคพลังงานและค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศ 77
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะ และการกำหนดค่าเทียบเคียงพลังงาน 79
4.4 ค่าปรับแก้สำหรับค่าดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของแต่ละกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 87
4.5 การเทียบเคียงค่า SEC Benchmarking กับค่า SEC ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 91

บทที่ 5 มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 96
5.1 แนวทางการหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน 96
5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนา และปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน 98
5.3 มาตรการการดำเนินงานในต่างประเทศของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในปัจจุบัน . 101
5.4 มาตรการการดำเนินงานในประเทศไทยของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในปัจจุบัน. 104
5.5 มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานที่นำเสนอ 106

บทที่ 6 สรุปผล 118
6.1 สรุปผล 118
6.2 ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ 124

รายการอ้างอิง 126
ภาคผนวก 128
ภาคผนวก ก 129
ภาคผนวก ข 141
ภาคผนวก ค 199
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 218

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า และความร้อนจากรายงานการตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยเบื้องต้นและรายละเอียด 7
ตารางที่ 1.2 ดัชนีการใช้พลังงาน 8
ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณ และมูลค่าการส่งออกปูนซีเมนต์ 9
ตารางที่ 1.4 แสดงปริมาณมูลค่าการนำเข้าปูนเม็ด และซีเมนต์ 9
ตารางที่ 1.5 แสดงปริมาณการผลิต และปริมาณการจำหน่ายปูนซีเมนต์ ระหว่างปี พ.ศ. 2534 - 2548 10
ตารางที่ 1.6 แผนการดำเนินการวิจัยในช่วงต่าง ๆ 16
ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาที่บริษัทต่าง ๆ เริ่มผลิตปูนซีเมนต์ 40
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดต้นทุนการผลิต 41
ตารางที่ 3.3 ประเภทวัตถุดิบ 50
ตารางที่ 4.1 ค่า SEC ของกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ 69
ตารางที่ 4.2 ดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ในประเทศอังกฤษ ปี (1994) 69
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพเทคโนโลยีสำหรับการบริโภคพลังงาน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่สามารถลดลงได้ 70
ตารางที่ 4.4 ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ในประเทศสหรัฐอเมริกาปี 1999 72
ตารางที่ 4.5 การบริโภคพลังงานในช่วงการขุดเจาะ และบดหินปูนของสหรัฐอเมริกา 73
ตารางที่ 4.6 Roller Press (หรือ High – pressure Grinding Rollers)) ใช้พลังงานประมาณ 50 – 65% ที่ใช้กับ Tube Mill) 74
ตารางที่ 4.7 เทคโนโลยี และ SEC ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ตาม แนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในปัจจุบัน 75
ตารางที่ 4.8 ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation) 77
ตารางที่ 4.9 ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEC) ของการผลิตปูนเม็ด 78
ตารางที่ 4.10 ค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการบดปูนเม็ดเพื่อผลิต ปูนซีเมนต์ (Finishing Grinding) 79
ตารางที่ 4.11 ค่า SEC ตามเทคโนโลยีที่ใช้ 82

หน้า

ตารางที่ 4.12 ค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การใช้พลังงานกระบวนการผลิตที่เทคโนโลยีต่าง ๆ 84
ตารางที่ 4.13 ค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตย่อยอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์..... 86
ตารางที่ 4.14 ค่าปรับแก้ สำหรับค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการผลิตย่อยตามเทคโนโลยีที่ใช้..... 89
ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบ Sec Benchmarking กับข้อมูล SEC โรงงานตัวอย่าง..... 92
ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบ ค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อย..... 92
ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยของโรงงานตัวอย่างที่ได้ทำการตรวจวัด 93
ตารางที่ 4.18 ค่า SEC ที่อาจลดได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุด..... 95
ตารางที่ 5.1 ผลการประหยัดของมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์..... 114
ตารางที่ 6.1 ค่า SEC Benchmarking และค่าปรับแก้สำหรับค่า SEC ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การใช้พลังงานกระบวนการผลิตที่เทคโนโลยีต่าง ๆ 120
ตารางที่ 6.2 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (มาตรฐาน) อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์..... 123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิต 1
รูปที่ 1.2 สัดส่วนพลังงานเชื้อเพลิงในการผลิตปูนซีเมนต์ ปี 2548 3
รูปที่ 1.3 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 6
รูปที่ 3.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 42
รูปที่ 3.2 ระบบการจัดจำหน่ายปูนซีเมนต์ 44
รูปที่ 3.3 ผังกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ 50
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ของกระบวนการ 53
รูปที่ 3.5 Vertical Roller Mill 54
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์บดวัตถุดิบ 55
รูปที่ 3.7 เตาเผาRotary Kiln 57
รูปที่ 3.8 อุณหภูมิภายในเตาเผา (Rotary Kiln) 58
รูปที่ 3.9 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ 59
รูปที่ 3.10 เครื่องโปรยกองหิน 59
รูปที่ 3.11 เครื่องโม่ 60
รูปที่ 3.12 ชนิดของเครื่องโม่ (Crushing) 60
รูปที่ 3.13 Crushing 61
รูปที่ 3.14 Grinding Mill 61
รูปที่ 3.15 ลูกบด (Grinding Ball) 61
รูปที่ 3.16 หม้อบดวัตถุดิบ 62
รูปที่ 3.17 Ball Mill / separator 62
รูปที่ 3.18 ไซโลและยุ้งเก็บวัตถุดิบ 63
รูปที่ 3.19 หม้อเผาแบบหมุน (Rotary kiln) 64
รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตปูนเม็ดแยกตามประเภท 64
รูปที่ 3.21 แผนภาพการไหลของก๊าซสำหรับเตาเผาแบบ SP kiln 65
รูปที่ 3.22 เตาเผาสำหรับกระบวนการแบบแห้ง (เตาเผาแบบ SP kiln และ NSP kiln) 65
รูปที่ 3.23 Cooler 66
รูปที่ 3.24 หออบความร้อนก่อนเข้าเตาเผา 66
รูปที่ 3.25 เชื้อเพลิง 67

หน้า

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ SEC Benchmarking กับ SEC โรงงานตัวอย่าง 94
รูปที่ 5.1 เครื่องคัดแยกเศษเหล็กที่ PLANT CEMENT MILL LINE 1 110
รูปที่ 5.2 ตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK (T5) 112
รูปที่ 5.3 ตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK (T26) 112

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมปูนซิเมนต์ เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่ต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เพราะเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้วัตถุดิบที่มาจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ อันได้แก่ หินปูน แร่เหล็ก ดินเหนียว แร่ยิปซั่ม ฯลฯ อุตสาหกรรมปูนซิเมนต์ภายในประเทศประกอบด้วยผู้ผลิตรวม 8 ราย มีกำลังการผลิตประมาณ 56 ล้านตันต่อปี โดยมีผู้ผลิตรายใหญ่ 5 ราย ได้แก่ บริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด, บริษัท ปูนซิเมนต์นครหลวง จำกัด, บริษัทชลประทานซิเมนต์ จำกัด, บริษัท ทีพีไอ จำกัด และ บริษัท ปูนซิเมนต์เอเชีย จำกัด และทั้ง 5 บริษัทนี้มีกำลังผลิตรวมคิดเป็นร้อยละ 98.1 ของกำลังการผลิตทั้งประเทศ โดยบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด เป็นผู้ผลิตรายใหญ่ที่สุด มีกำลังการผลิต 23.2 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 41.9 ส่วนผู้ผลิตรายเล็ก อีกจำนวน 3 ราย ได้แก่ บริษัท ไทยสตาปนา จำกัด, บริษัท สระบุรีซิเมนต์ จำกัด และบริษัท สามัคคีซิเมนต์ จำกัด มีกำลังผลิตรวมกันประมาณ 1 ล้านตันเศษ

ในมิติด้านพลังงานของอุตสาหกรรมปูนซิเมนต์ จะเห็นได้ว่า เป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงกลุ่มหนึ่ง โครงสร้างต้นทุนการผลิตทั้งหมดของอุตสาหกรรมปูนซิเมนต์ จะพบว่าต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่เป็นค่าพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย ค่าไฟฟ้า และค่าเชื้อเพลิง คิดเป็นประมาณร้อยละ 44 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 1.1 ดังนั้น ราคาของปูนซิเมนต์จึงขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นหลัก

โครงสร้างต้นทุนการผลิต

รูปที่ 1.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิต

ที่มา: วีรศักดิ์ ทองทา, "โครงสร้างอุตสาหกรรมซีเมนต์ในประเทศไทย", 2543

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

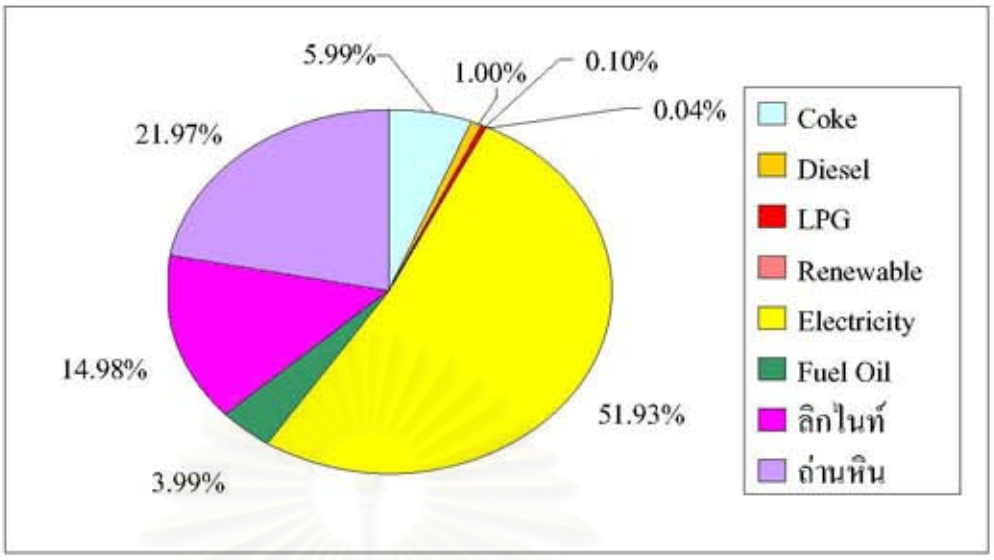
การใช้พลังงานในการผลิตปูนซีเมนต์นั้นเกิดจากการนำเอาวัตถุดิบในธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วย

- เนื้อปูน (ประมาณ 80-85%) ซึ่งได้มาจากหินปูน ดินมาร์ล (ดินสอพอง) ฟอสซิล
- เนื้อดิน (ประมาณ 10-15%) ซึ่งได้มาจาก หินดินดาน ดินเหนียว
- เนื้อปรุงแต่ง (ประมาณ 3-8%) ซึ่งได้มาจาก หินทราย ดินแดง ซึ่งสารประปรุงแต่งที่ใส่นั้นจะขึ้นกับปริมาณสารประกอบที่อยู่ในเนื้อปูนและเนื้อดิน

การผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถทำได้สองวิธีคือ วิธีเปียกและวิธีแห้ง วิธีแห้งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก เพราะเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการผลิตจำนวนมาก การผลิตทำได้โดยการบดวัตถุดิบซึ่งมีหลายชนิด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น จนเป็นผงละเอียดเรียกว่า วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) แล้วส่งเข้าเตาเผา (Rotary Kiln)

สำหรับประเทศไทยข้อมูลจากกระทรวงพลังงาน ในปี 2548 ระบุว่าโดยรวมมีการใช้พลังงานเทียบเท่า 3,990 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 17.6 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในทั้งภาคอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยมีค่า SEC เท่ากับ 4,200 MJ/ton ที่ขนาดบรรจุปูน ถุงละ 50 kg. จะใช้พลังงาน 230 MJ/ถุง เช่น ถ้าใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง การผลิตปูน 1 ถุง (50 kg.) จะต้องใช้น้ำมันประมาณ 5.89 ลิตร หรือคิดเป็นมูลค่า 82 บาท/ปูน 1 ถุง ซึ่งสูงมากต่อมูลค่าการขาย อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จึงต้องใช้แหล่งพลังงานที่ราคาต่ำ เช่น ถ่านหิน หรือพลังงานทดแทนอื่น โดยรายงานของมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยใช้พลังงานตามสัดส่วนแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่ง ควรจะมีวิธีการที่จะดำเนินการให้อุตสาหกรรมกลุ่มนี้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานหรือมีวิธีการลดพลังงานในกระบวนการผลิตลงได้ ซึ่งสามารถทราบถึงสถานภาพและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน คือ การวิเคราะห์ถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต และสามารถนำข้อมูลส่วนหนึ่งจากรายงานการใช้พลังงานที่สถานประกอบการได้อนุญาตนำมาใช้ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ได้ แต่ในความเป็นจริงแล้วพบว่ามีความหลากหลายของข้อมูลและความแตกต่างของแต่ละสถานประกอบการทำให้ข้อมูลที่ได้จากรายงานดังกล่าวอาจมีความคลาดเคลื่อนได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.2 สัดส่วนต้นทุนพลังงานการผลิตปูนซีเมนต์ ปี 2548

ที่มา : ข้อมูลจากบพร.1

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจซึ่งภาคอุตสาหกรรมการผลิตคือภาคหลักในการสร้างการเติบโตทางเศรษฐกิจ ดัชนีชี้วัดด้านพลังงานของประเทศคือ Energy Intensity ซึ่งคือปริมาณพลังงานเบื้องต้นที่ใช้ต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมหรือ GDP ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ.2534 - พ.ศ. 2544) ประเทศไทยมีอัตราการเพิ่ม Energy Intensity เฉลี่ยที่ 3.97 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ประเทศอื่นควบคุมให้ค่าดังกล่าวไม่เพิ่มขึ้นหรือมีแนวโน้มลดลง แสดงถึงภาคการผลิตของประเทศไทยยังคงผลิตสินค้าประเภทที่ใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ

ประสิทธิภาพพลังงาน หมายถึง ความสามารถเชิงพลังงานในการผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆออกมา ทั้งนี้หากสามารถลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตสินค้าปริมาณเท่าเดิมลงได้ นั่นก็หมายถึงความสามารถในการเพิ่มค่าประสิทธิภาพพลังงานในการผลิตได้ การประเมินประสิทธิภาพพลังงานจะประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานแบบต่าง ๆเท่านั้น

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาหาแนวทางการพัฒนาเพื่อให้สามารถลดการใช้พลังงานหรือสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อกระบวนการผลิตนั้น โดยจะทำการศึกษาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ซึ่งมีสภาพการใช้พลังงานตามกระบวนการผลิต และสามารถทำให้ผู้ประกอบการทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเองและเปรียบเทียบกับผู้อื่น นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถึงสถานภาพการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในภาพรวม ทั้งนี้เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมของประเทศมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 ข้อมูลพื้นฐานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรมซีเมนต์ของประเทศไทยแบ่งออกเป็นอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับซีเมนต์ โดยจากข้อมูลปี พ.ศ. 2547 ระบุไว้ว่ามีจำนวนโรงงานที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับซีเมนต์ทั้งสิ้น 220 โรง มีจำนวนแรงงานรวมทั้งสิ้น 11,599 คน และมีจำนวนเงินลงทุนรวมทั้งสิ้น 80,068 ล้านบาท อุตสาหกรรมซีเมนต์จัดเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนแร่หินไปเป็นซีเมนต์หรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องที่นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

1.2.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตที่สำคัญในการผลิตปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุประสานที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ หินปูน (Lime Stone) หรือดินปูนขาว (Marl) กับดินเหนียว (Clay) หรือหินดินดาน (Shale)ในสัดส่วนที่เหมาะสม เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตโดยอาจมีการเติมแร่เหล็ก หรือยิปซัม ตามความจำเป็น เพื่อปรับปรุงให้มีคุณสมบัติตามความต้องการ ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำและวัสดุผสมอื่น ๆ จำพวกหินย่อยหรือทรายจะเกิดความแข็งและมีความทนทานคล้ายหิน จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในงานก่อสร้างต่างๆ หรือเมื่อผสมกับน้ำ ทรายและปูนขาวจะสามารถใช้เป็นปูนก่อ หรือปูนฉาบ ที่ใช้ในงานก่ออิฐ และฉาบปูน ปูนซีเมนต์ที่ผลิตใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เนื่องจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นปูนซีเมนต์ที่มีผลิตมากที่สุด ซึ่งมีส่วนประกอบของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่ได้แก่ หินปูน(62-82%) ดินขาว (34-69%) แร่เหล็ก (2.1%) และ แร่ยิบซั่ม (3.9%) นอกจากนี้ยังใช้วัตถุดิบที่สำคัญอีก 2 ประเภท คือ หินปูนชอล์กมาค์ล และซิลิกา อะลูมิกา ซึ่งอยู่ในรูปของดินเหนียว ดินดาน หินชนวน โดยที่แต่ละโรงงานจะใช้วัตถุดิบต่างๆ เหล่านี้ในสัดส่วนและปริมาณที่แตกต่าง ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาและต้นทุนของวัตถุดิบที่จะหามาได้

กระบวนการผลิตซีเมนต์ที่มีในโลกนี้แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ 1.) กระบวนการผลิตแบบเปียก เป็นกระบวนการเอาหินปูนผสมดินและน้ำให้มีความชื้นประมาณ 30-40 เปอร์เซ็นต์ และ นำน้ำดินไปเผาจนได้เม็ดปูน กรรมวิธีนี้เป็นแบบดั้งเดิม เสียค่าใช้จ่ายสูง มีการสูญเสียมาก ผลผลิตต่ำ 2.) กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้ง เป็นกระบวนการเอาหินปูนผสมดินและน้ำให้มีความชื้นประมาณ 13-14 เปอร์เซ็นต์ และนำน้ำดินไปเผาจนได้เม็ดปูน 3.) กระบวนการผลิตแบบแห้ง ซึ่งสำหรับประเทศไทยมีเฉพาะกระบวนการผลิตซีเมนต์แบบแห้งนี้เท่านั้น โดยมีรายละเอียด

กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง ประกอบด้วย

1. การเตรียมวัตถุดิบ

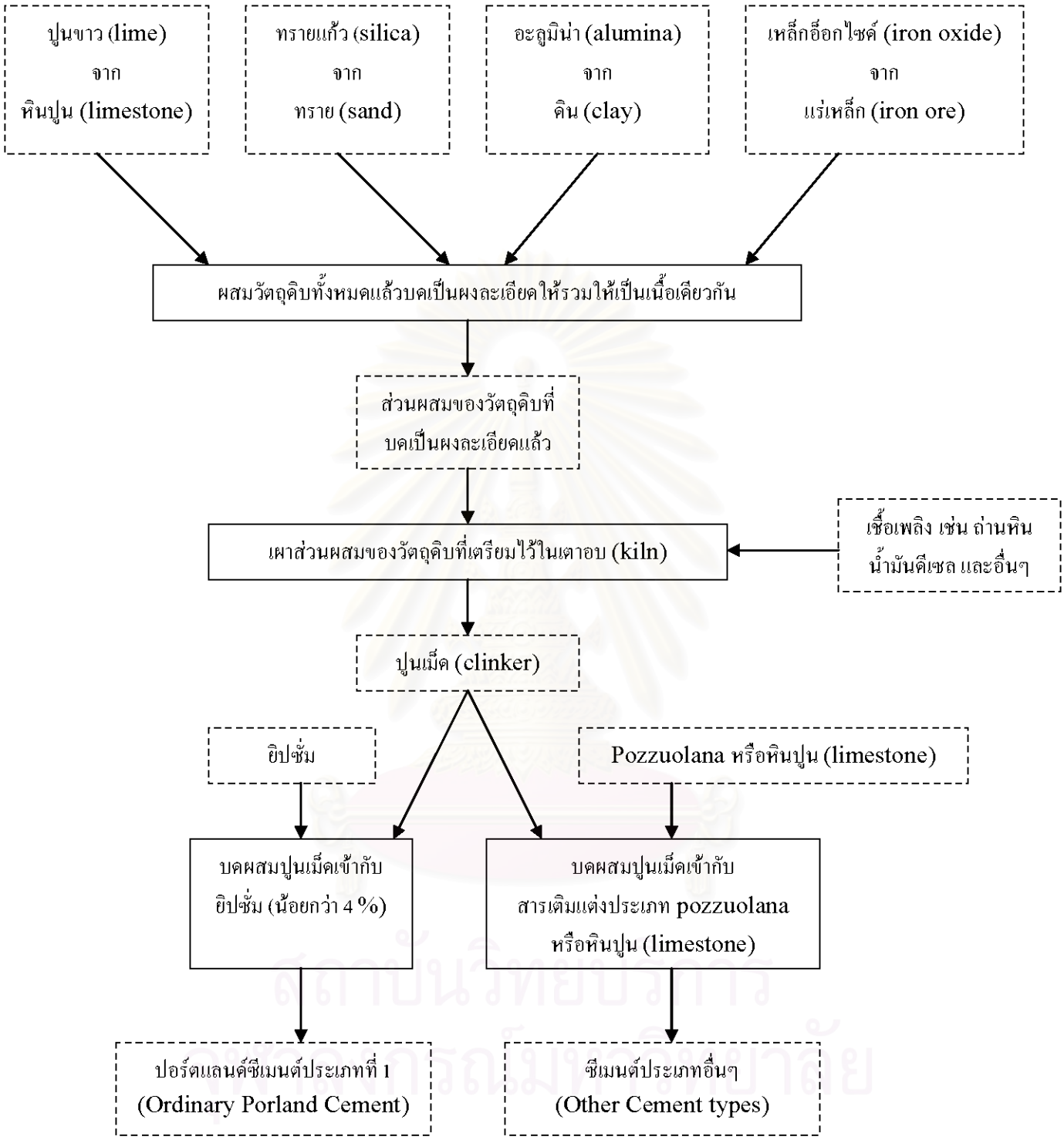
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่ คือ หินปูน(Limestone) โดยจะมี ดินดาน (Shale) และดินเหนียว (Clay) เป็นส่วนผสมเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ได้จากการทำเหมืองจะถูกลำเลียงไปยังเครื่องย่อย (Crusher) เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงพอเหมาะต่อการบดในหม้อบดวัตถุดิบ การย่อยวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงและมีขนาดใกล้เคียงกันทำให้วัตถุดิบแต่ละประเภทมีคุณภาพสม่ำเสมอขึ้น วัตถุดิบที่ผ่านการย่อยและจะถูกลำเลียงไปเก็บในยุ้งเก็บวัตถุดิบ

2. การผลิตปูนเม็ด

Raw mill ที่ป้อนเข้าหม้อเผา (Kiln) จะต้องควบคุมปริมาณให้พอเหมาะกับกำลังผลิตของหม้อเผา โดยควบคุมปริมาณด้วยเครื่องป้อน (Feeder) เข้าสู้หม้อเผาและเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,400 - 1,600 °C สำหรับเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาปูนซีเมนต์อาจใช้ ถ่านหิน ลิกไนท์หรือ Pet coke แล้วแต่ความเหมาะสม กรรมวิธีการให้ความร้อนในการเผาปูนซีเมนต์ โดยใช้หม้อเผาในปัจจุบันนิยมใช้ หม้อเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ Preheating Zone, Calcimining Zone และ Burning Zone โดยเมื่อ Raw meal ผ่านเข้ามาถึง Burning Zone ซึ่งมีอุณหภูมิ 1400 – 1600 ^{0}C จะถูกส่งเข้าสู่หม้อเย็น (Clinker Cooler) เพื่อทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลผลิตที่มีลักษณะเป็นเม็ดสีเทาเข้ม เรียกว่า ปูนเม็ด (Clinker) จากนั้นจะผ่านเครื่องย่อยเพื่อลดขนาดให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 25 mm แล้วนำไปเก็บใน Clinker Silo

3. การผลิตปูนซีเมนต์

ปูนเม็ดจาก Clinker Silo จะถูกลำเลียงไปยังหม้อบดปูนซีเมนต์ (Cement Mill) เพื่อบดให้ละเอียดต่อไป หม้อบดปูนซีเมนต์ที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Horizontal mill (Tube mill) ในระหว่างการบดจะผสมยิปซั่ม 3-6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อควบคุมระยะเวลาการก่อตัว (Setting time) ของปูนซีเมนต์ให้ได้มาตรฐานซึ่งจะได้ปูนซีเมนต์ Portland ชนิดที่ 1ส่วนปูนซีเมนต์อีกชนิดหนึ่ง คือ ปูนซีเมนต์ผสม จะเป็นปูนซีเมนต์ที่มีการเติมหินปูนผสมเข้าไปในระหว่างขั้นตอนการบดซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ที่ผ่านการบดเรียบร้อยแล้ว จะลำเลียงไปยังยุ้งเก็บ จะถูกลำเลียงเข้าเครื่องบรรจุ (Packer) เพื่อบรรจุเป็นปูนซีเมนต์ถุง (bag cement) ส่วนลูกค้าที่ต้องการปูนซีเมนต์ผง (Bulk Cement) สามารถนำรถเต้าปูน (Bulk Truck) ไปรับปูนซีเมนต์ผงที่ใต้ยุ้งเก็บปูนซีเมนต์โดยตรง ผังแสดงกระบวนการผลิตและการใช้พลังงานแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

1.2.2 ด้านพลังงาน

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่บริโภคพลังงานสูง (Energy Intensive Industry) โดยค่า SEC ของอุตสาหกรรมซีเมนต์ในประเทศไทยที่จากข้อมูลใน บพร.1 ปี 2548 มีค่าอยู่ที่ 4.16 MJ/kg โดยรวมในปี 2548 อุตสาหกรรมซีเมนต์ใช้พลังงานเทียบเท่า 3,990 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 17.6 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในทั้งภาคอุตสาหกรรม และจากโครงสร้างการผลิตทั้งหมดของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ พบว่าต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่เป็นค่าพลังงาน ซึ่งประกอบด้วยค่าไฟฟ้าและค่าเชื้อเพลิง คิดเป็นประมาณร้อยละ 44 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ดังนั้นราคาของปูนซีเมนต์จึงขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นหลัก ซึ่งเดิมทีเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการผลิตคือ น้ำมันเตา ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงมาก จึงได้มีการใช้พลังงานจากถ่านหินเพื่อเป็นการทดแทน ทำให้ช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้

อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีค่าความเข้มพลังงานสูง ตัวอย่างของความเข้มพลังงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ต่างประเทศ (ประเทศแคนาดา) ปี ค.ศ. 1995 – 2003 ค่าประมาณ 4.9 GT/Ton หรือเท่ากับ 4.9 MJ/Kg

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า และความร้อนจากรายงานการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยเบื้องต้นและรายละเอียด

กระบวนการ / โรงงาน	การเตรียมวัตถุดิบ		การผลิตเม็ดปูน	การผลิตปูนซีเมนต์		Utility
	Limestone และ Shale crusher	Raw mill	Coal Mill Kiln &cooler	Cement mill	Packing	
ทีพีไอ โพลีน จำกัด(มหาชน)	1.81%	31.08%	29.27%	36.05%	1.79%	-
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ลำปาง	3.03%	28.80%	34.40%	27.13%	1.33%	6.03%
บริษัทปูนเอเชีย จำกัด (มหาชน)	0.88%	32.52%	31.41%	34.6%	0.59%	-
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ทุ่งสง	43.54%		36.22%	20.24%		-
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ท่าหลวง	32.65%		37.59%	29.76%		-
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย แก่งคอย	31.10%		30.80%	38.10%		-

ตารางที่ 1.2 ดัชนีการใช้พลังงาน

โรงงาน	ชื่อผลิตภัณฑ์	ระดับการใช้พลังงาน			
		การใช้เชื้อเพลิง	การใช้พลังงานไฟฟ้า		รวม
		MJ/ตัน	kWh/ตัน	MJ/ตัน	MJ/ตัน
ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	3,152.44	101.82	366.57	3,519.00
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ลำปาง	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2,390.00	94.40	340.00	2,730.00
บริษัทปูนเอเชีย จำกัด (มหาชน)	ปูนเม็ด	2,843.00	72.86	262.30	3,105.30
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	-	44.17	159.00	159.00
	ปูนซีเมนต์ผสม	-	33.09	119.10	119.10
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ทุ่งสง	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	4,448.80	149.24	537.25	4,986.00
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ท่าหลวง	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	8,179.72	248.96	896.25	9,075.97
บริษัทปูนซิเมนต์ไทย แก่งคอย	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	5,561.05	140.26	504.95	6,066.00

1.2.3 ความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศโดยรวม

จากข้อมูลสถิติในปี พ.ศ. 2548 มีการส่งออกปูนซีเมนต์รวม 15.73 ล้านตัน สร้างรายได้ให้กับประเทศคิดเป็นมูลค่ารวม 18,545 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีก่อนปริมาณและมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.52 และ 48.00 ตามลำดับ โดยเป็นการส่งออกปูนเม็ดปริมาณ 9.46 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 9,424 ล้านบาท และปูนซีเมนต์ (ไม่รวมปูนเม็ด) จำนวน 6.27 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 9,121 ล้านบาท และมีการส่งออกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในตลาดหลัก ได้แก่ สหรัฐอเมริกา และประเทศเพื่อนบ้านในอาเซียนและเอเชียใต้เพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งมีการขยายตลาดใหม่ เช่น ในตะวันออกกลางและละตินอเมริกา สำหรับตลาดส่งออกปูนซีเมนต์ที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา เวียดนาม กัมพูชา และบังคลาเทศ ส่วนการนำเข้า ไทยนำเข้าปูนซีเมนต์น้อยมาก เพราะไทยเป็นผู้ผลิตปูนซีเมนต์ที่สำคัญรายหนึ่งของเอเชีย การผลิตสามารถตอบสนองความต้องการใช้ในประเทศได้อย่างเพียงพอ โดยส่วนใหญ่นำเข้าอะลูมินัสซีเมนต์ซึ่งไม่สามารถผลิตได้ในประเทศ ทั้งนี้ ในช่วง 4 เดือนแรกปี 2547 ไทยนำเข้าปูนซีเมนต์จำนวน 5,573 ตัน มูลค่า 55.9 ล้านบาท ตลาดสำคัญในการนำเข้า คือ ไต้หวัน เกาหลีใต้ โครเอเชีย และจีน มีการนำเข้าปูนซีเมนต์รวม 8,151 ตัน คิดเป็นมูลค่า 79.79 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีก่อนๆปริมาณและมูลค่าการนำเข้าลดลงร้อยละ 40.53 และ 35.53 ตามลำดับ โดยเป็นการนำเข้าปูนเม็ดจำนวน 8.71 ตัน คิดเป็นมูลค่า 0.20

ตารางที่ 1.3 แสดงปริมาณและมูลค่าการส่งออกปูนซีเมนต์

ผลิตภัณฑ์	ปี 2545		ปี 2546		ปี 2547	
	ปริมาณ (ล้านตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้านตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ล้านตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
ซีเมนต์ไม่รวมปูนเม็ด	6.97	7,736.93	4.99	6,459.44	4.84	6,514.50
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)			-28.41	-16.51	-3.01	0.85
รวม	16.24	14,742.14	12.21	12,586.68	12.07	12,617.53
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)			-24.82	-14.62	-1.15	0.25

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

หมายเหตุ : ปี 2547 เป็นตัวเลขประมาณการ

ตารางที่ 1.4 แสดงปริมาณมูลค่าการนำเข้าปูนเม็ด และซีเมนต์

ผลิตภัณฑ์	ปี 2545		ปี 2546		ปี 2547	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
ซีเมนต์ไม่รวมปูนเม็ด	3,456.86	67.97	4,028.79	75.16	13,270.25	124.01
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)			16.54	10.58	229.39	64.99
รวม	6,486.21	77.23	4,058.45	75.55	13,349.83	125.56
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)			-37.43	-2.18	228.94	66.19

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

หมายเหตุ : ปี 2547 เป็นตัวเลขประมาณการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.5 แสดงปริมาณการผลิตและปริมาณการจำหน่ายปูนซีเมนต์ระหว่างปี พ.ศ. 2534 – 2548

ปี	ปริมาณผลิต	ปริมาณการจำหน่าย
	ปูนซีเมนต์ (1,000 ตัน)	ปูนซีเมนต์ (1,000 ตัน)
2534	19,164	22,147
2535	21,711	22,751
2536	26,300	25,893
2537	29,929	28,888
2538	34,051	33,067
2539	38,739	37,091
2540	37,136	36,026
2541	22,836	20,667
2542	25,356	18,768
2543	25,499	18,020
2544	27,913	19,048
2545	31,679	23,020
2546	32,530	24,227
2547	35,626	27,191
2548	37,872	28,966

ฝ่ายวิจัยธุรกิจ สายงานบริหารความเสี่ยง บมจ. ธนาคารกรุงไทย

ที่มา : (1) ธนาคารแห่งประเทศไทย (2) กองน้ำมันเชื้อเพลิง กระทรวงพาณิชย์ (3) สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ประเภทของกระบวนการผลิตที่จะนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

2. ประเภทของพลังงานที่จะนำมาพิจารณาคือ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานเชื้อเพลิง เฉพาะในภาคการผลิตเท่านั้น ไม่รวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแผนกอื่นๆ เช่น สำนักงาน เป็นต้น

3. ข้อมูลปริมาณการผลิตและบริโภคพลังงานที่จะนำมาใช้หาแนวทางในการการบริโภคพลังงานนั้นจะอาศัยข้อมูลที่ตรวจวัดและเก็บมาจากโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่จังหวัดสระบุรีและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับภาพรวมของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย

2. ค้นหาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นด้านพลังงานในระบบกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทยที่มีอยู่ในปัจจุบัน

3. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขต

4. ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5. รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยแล้วนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางและวิธีการในการประหยัดพลังงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

6. วิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินผลที่ได้รับ

7. เสนอแนวทางการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

8. สรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะโดยอ้างอิงจากข้อมูลด้านเทคนิค

9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แนวทางในการประหยัดพลังงานเพื่อลดพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์หาต้นทุนพลังงานของภาคอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

2. สามารถช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและช่วยอนุรักษ์พลังงานได้

3. สามารถประยุกต์หลักการ ตลอดจนวิธีการต่างๆ ที่ปรากฏในการวิจัยไปใช้ในการลดพลังงานในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

4. สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

1.7 ภาพรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตลอดหลายปีที่ผ่านมา ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการบริโภคพลังงานของอุตสาหกรรมต่างๆ เนื่องจากการบริโภคพลังงานของอุตสาหกรรมมีปริมาณที่สูงขึ้นอย่างมากมายและเป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่ได้มีการศึกษาการบริโภคพลังงานของอุตสาหกรรมนี้เพราะเป็นอุตสาหกรรมที่มีการบริโภคพลังงานสูง

การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา Lynn Price และ David Findley (2005) พบว่า จากข้อมูลทางเศรษฐกิจและข้อมูลการบริโภคพลังงาน ได้มีความพยายามที่จะอธิบายการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจด้วยการบริโภคพลังงาน หรือราคาพลังงาน และในทางกลับกัน มีการใช้ผลผลิตและดัชนีทางเศรษฐสาสตร์อื่นๆ มาร่วมอธิบายการบริโภคพลังงาน หรือราคาของพลังงานมีผลที่ได้ไม่ชัดเจน แต่ผลสรุปที่สำคัญ คือผลผลิตเป็นเหตุเป็นผลต่อการบริโภคพลังงาน

ด้วยเหตุที่การบริโภคพลังงานเป็นเพียงปัจจัยหนึ่งในหลายๆปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ การบริโภคพลังงานอาจมีผลมาจาก การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีการผลิตจากการใช้แรงงานคนมาเป็นเครื่องจักร การเปลี่ยนประเภทของพลังงานที่ใช้จากน้ำมัน ถ่านหิน ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งการเปลี่ยนโครงสร้างการผลิต เช่น ลดผลผลิตจากอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูงไปเพิ่มผลผลิตจากอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานต่ำกว่า ฯลฯ

จากปัญหาในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการบริโภคพลังงาน Bangladesh และ Sri Lanka (1994) ทำวิจัยเพื่อหาสาเหตุของประสิทธิภาพการบริโภคพลังงาน โดยได้เสนอให้ใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด เพราะเทคโนโลยีที่ต่างกันในกระบวนการผลิตเดียวกันนั้นส่งผลให้มีการบริโภคพลังงานที่ต่างกันตามไปด้วย ดังนั้นจึงสรุปว่า การบริโภคพลังงานที่สูงก็มีสาเหตุมาจากเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ จากผลสรุปที่ได้นั้นเป็นที่ยอมรับและได้มีการนำไปพัฒนาต่อโดยนักวิจัยท่านอื่นๆ เช่น Ernst Worrell, Lynn Price, Rasul เป็นต้น

งานวิจัยของ Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price Received (1999) จากสาเหตุที่ว่าเทคดนโลยีที่ต่างกันส่งผลให้มีการบริโภคพลังงานต่างกันด้วยนั้น จึงทำการพัฒนาเพื่อจะลดการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง โดยนำแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดมาใช้ ซึ่งสามารถลดการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิต และการปล่อยก๊าซ CO_2 ลงอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Christina Galitsky (2004) ทำการศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์โดยอ้างอิงงานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมา และยึดหลักการที่ว่า การบริโภคพลังงานและการปล่อยก๊าซ CO_2 เป็ผลจากเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน การศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของแต่ละเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเดียวกัน และใช้แนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดมาร่วมในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานเพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

ในขณะที่ระดับการบริโภคพลังงานและการผลิตเป็นองค์ประกอบที่ขึ้นกับการบริดภคพลังงานของอุตสาหกรรม ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน โดยเฉพาะความเข้มพลังงานและค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป การได้มาซึ่งค่าของตัวชี้วัดพลังงานกลับไม่ใช่เรื่องง่าย ทั้งนี้เพราะความหลากหลายของผลผลิตและความหลากหลายของพลังงานที่ใช้ รวมทั้งปัญหาด้านประสิทธิภาพในการผลิต ซึ่งมีผลต่อทั้งผลผลิตที่ได้และการบริโภคพลังงาน งานวิจัยจำนวนมากที่ได้พยายามหารูปแบบการวิเคราะห์หาค่าของตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานที่สามารถสะท้อนค่าใกล้เคียงสถานะภาพจริงของการใช้พลังงาน สำหรับงานวิจัยฉบับนี้จะนำเอาบางวิธีการของงานวิจัยที่ได้ทำการศึกามาแล้วเพื่อใช้เป็นกรอบในการคำนวณหาค่าการบริโภคพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยเลือกใช้ดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ และโครงสร้างการผลิตเป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจใช้ในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน งานวิจัยด้านการวัดประสิทธิภาพการบริโภพลังงาน ให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์องค์ประกอบดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงาน การวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงาน เป็นการหาสัดส่วนระหว่างประมาณพลังงานที่ใช้ต่อผลผลิตที่ได้ ณ เวลาเดียวกัน เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบค่าการบริโภคพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตและแต่ละเทคโนโลยีได้ Spendolini MJ (1992) ได้ให้ความหมายของ Benchmarking ว่าเป็นกระบวนการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงขององค์กร ในอันที่จะพิจารณาว่ามีสภาพใดบ้างที่จะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่าเดิม และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับองค์กรอื่น แล้วนำความรู้ที่ได้มาจัดการวางแผนการปรับปรุงองค์กรของเรา ให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลดีขึ้น หรืออาจมองว่าเป็นกระบวนการเปรียบเทียบองค์กรกับหน่วยงานอื่นในด้านต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะปรับปรุงให้ใกล้เคียง เพื่อเป็นผู้นำที่คนอื่นจะต้องใช้เราเป็น Benchmark ต่อไป โดยการทำ Benchmark ของการบริโภคพลังงานนั้นได้ใช้ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

สำหรับการกำหนดมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงานและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริโภคพลังงาน มักจะพิจารณาจากช่วงห่าง (GAP) ระหว่างค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะที่เป็นอยู่กับค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะที่ควรจะเป็น (ค่าเป้าหมาย) แต่จากการศึกษาในต่างประเทศ พบว่า ข้อจำกัดประการหนึ่งในการกำหนดนโยบายเรื่องการลดค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงาน คือ คุณภาพของตัวชี้วัดและประเภทของตัวชี้วัด เช่น Department of Energy สหรัฐอเมริกา พบว่า เมื่อคำนวณค่า SEC และเปรียบเทียบสำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีเก่าจะมีค่า SEC สูงกว่า อุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยกว่าในแต่ละกระบวนการผลิต ดังนั้นการกำหนดเกณฑ์ในการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดการบริโภคพลังงานนั้นเทคโนโลยีที่แตกต่างกันอาจนำไปสู่มาตรการที่ใช้แตกต่างกันด้วย Nathan Martin (1999) และ Christina Galitsky (2004) เสนอให้พิจารณาทั้งเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิตและลักษณะของการผลิตที่ใช้ผลิต เพื่อใช้ตัวชี้วัดเปรียบเทียบที่แตกต่างกันก่อนการกำหนดมาตรการในแต่ละกระบวนการ

งานวิจัยด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานนั้น โดยส่วนมากจะเป็นการศึกษาถึงสาเหตุและปัจจัยในการบริโภคพลังงานก่อน จากนั้นจึงกำหนดเป็นนโยบายหรือมาตรการในการพัฒนาหรือปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคพลังงาน โดยอาศัยข้อมูลด้านเศรษฐกิจและพลังงานของประเทศฯ เช่น Her Majesty the Queen in Right of Canada (2001) ได้ทำการศึกษาการบริโภคพลังงานในแต่ละปีโดยแยกการบริโภคพลังงานเป็นพลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงสาเหตุการบริโภคพลังงานที่สูงขึ้น และได้นำวิธีที่สามารถเข้าไปลดการใช้พลังงานในแต่ละจุดลง นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยของ Mr.Shiban Ji Raina (2002) และ The European Cement (2006) ที่พิจารณาว่าการบริโภคพลังงานขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ โดยใช้การเปรียบเทียบค่าการบริโภคพลังงานของแต่ละเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตเพื่อหาจุดที่เป็นสาเหตุของการบริโภคพลังงานที่สูงและแก้ไขจุดนั้น หรือหาช่วงห่างของค่าการบริโภคพลังงานที่เกิดขึ้นจากนั้นนำมาตรการเพื่อลดการบริโภคพลังงาน ผลจากการวิจัยในบางประเทศการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิตอาจมีผลต่อการบริโภคพลังงาน แต่บางประเทศก้ไม่มี เช่น ในการศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในประเทศเนเธอร์แลนด์ ระหว่างปี 1980-1990 พบว่าระหว่างปี 1980 ถึง 1990 ลดลงปีละ 0.3 เปอร์เซ็นต์ การลดลงของค่าพลังงานเป็นผลมาจากการลด SEC ของบางกลุ่มอุตสาหกรรม กลุ่มอุตสาหกรรมเกษตรและที่อยู่อาศัย รวมทั้งเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานเช่นเดียวกับประเทศจีนและแคนนาดาที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิต ไม่มีผลมากนักต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มพลังงานและราคาของพลังงานส่งผลต่อการบริโภคพลังงาน

ในขณะที่ค่า SEC เป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพที่มีการยอมรับและนำไปใช้ในการกำหนดมาตรการในการประหยัดพลังงานอย่างแพร่หลายในประเทศอุตสาหกรรม เช่น Mr.Shiban Ji

Raina, United Nations Industrial Development Organization; UNIDO และ Ministry of International Trade and Industry, MITI (1994), Howard Geller et al (2004), Jaycint Sathaye,Lynn Price และ David Fridley (2005), G.A.Boyd (2006) ได้นำค่า SEC เป็นเกณฑ์ในการ Benchmark สำหรับการบริโภคพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เพื่อทำการกำหนดมาตรการในการประหยัดพลังงานหรือเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยมาตรการที่กำหนดขึ้นนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากความต้องการลดค่า SEC หรือต้องการค่า SEC ที่ได้นั้นใกล้เคียงกับที่ควรจะเป็นมากที่สุด มาตรการส่วนใหญ่นั้นที่อ้างอิงถึงบางมาตรการต้องใช้เงินสูงเป็นผลมาจากในเรื่องเทคโนโลยี เพราะเทคโนโลยีที่ทันสมัยสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ และยังช่วยในเรื่องการรักาสิ่งแวดล้อมลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงได้อีกด้วย

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคพลังงานในประเทศไทยนั้น วีระพงษ์ ประสาทศิลป์ (2541) ได้เสนอ การใช้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่อหน่วยการผลิตให้น้อยลง พิจารณาจากปัจจัยที่มีผลกระทบกับสมรรถนะเป็นส่วนสำคัญ เอกสิทธิ์ สุวรรณศรี (2543) ได้เสนอวิธีการดำเนินการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ให้ดีขึ้น ผลจากการดำเนินการปรับปรุงแล้ว ต้นทุนอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณผลผลิตปูนซีเมนต์ลดลง 25.44 เปอร์เซ็นต์ และอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนต่อปริมาณผลผลิตปูนเม็ดลดลง 3.37 เปอร์เซ็นต์ พงศักดิ์ พุทธวงศ์ (2546) กล่าวถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้า โดยผลการพยากรณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของภาคอุตสาหกรรม มีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยประมาณ 500 เมกะวัตต์ต่อปี

งานวิจัยฉบับนี้โดยส่วนใหญ่จะนำหลักเกณฑ์ต่างๆ จากต่างประเทศมาประยุกต์ใช้เพราะเหตุที่ว่าการจัดการเรื่องพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นั้นต่างประเทศให้ความสนใจและมีผู้ทำวิจัยในเรื่องนี้มาก มาตรการและการกำหนดเกณฑ์การบริโภคพลังงานต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้นำแนวทางการหามาตรการจากต่างประเทศและมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมในประเทศอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 1.6 แผนการดำเนินการวิจัยในช่วงต่าง ๆ

แผนดำเนินการ	พ.ศ. 2549		พ.ศ. 2550												พ.ศ. 2551		
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับภาพรวมของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์																	
2. ค้นหาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในด้านพลังงานของระบบกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน																	
3. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขต																	
4. ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																	
5. เก็บและรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย																	
6. นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์																	
7. เสนอแนวทางและมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์																	
8. สรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะโดยอ้างอิงจากข้อมูลด้านเทคนิค																	
9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency)

คำว่า "ประสิทธิภาพพลังงาน" นั้น ถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นประเด็นหลักในการค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความตื่นตัวของภาครัฐและเอกชน ซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานที่เกิดขึ้น ผลลัพธ์ของการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับประเด็นดังกล่าวจะถูกนำไปเชื่อมโยงกับนโยบายด้านพลังงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดการพัฒนาในทางที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

ประโยชน์ในการศึกษาตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานเพื่อใช้ในการกำหนดแนวทาง และมาตรการในการประหยัดพลังงานของประเทศ ทั้งนี้การรายงานผลสถานภาพด้านพลังงานของประเทศและการเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ต้องอาศัยตัวชี้วัด เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินการด้านนโยบายที่เกี่ยวกับความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศด้วย

คำว่า "ประสิทธิภาพพลังงาน" นี้ทั่วไปหมายถึง ความสามารถเชิงพลังงานในการผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆออกมา ซึ่งถ้าสามารถลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตสินค้าปริมาณเท่าเดิมลงได้ นั้นย่อมหมายความว่า สามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพพลังงานได้นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพพลังงานออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างชัดเจน หากแต่จะประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานแบบต่าง ๆ ซึ่งตัวชี้วัดส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสัดส่วนระหว่างผลลัพธ์ของกระบวนการที่เป็นประโยชน์ กับพลังงานนำเข้า

ตัวชี้วัดที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพพลังงาน อาจจำแนกประเภทออกเป็น 4 ประเภท ได้ดังนี้

1. ตัวชี้วัดเชิงอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Indicators) เป็นตัวชี้วัดที่ถูกสร้างขึ้นจากศาสตร์ด้านอุณหพลศาสตร์โดยตรง โดยจะมุ่งเน้นไปที่พลังงานเป็นหลักไม่ว่าจะเป็นส่วนของผลลัพธ์หรือส่วนนำเข้า

2. ตัวชี้วัดแบบกึ่งกายภาพ กึ่งอุณหพลศาสตร์ (Physical – Thermodynamic Indicators) ตัวชี้วัดแบบที่สอง เป็นตัวชี้วัดที่นำเอาหน่วยกายภาพไปใช้ในการกำหนดผลลัพธ์ เช่น ตันของน้ำแข็งที่ผลิตได้ เป็นต้น ในขณะที่ส่วนนำเข้ายังคงใช้หน่วยของศาสตร์ทางด้านอุณหพลศาสตร์อยู่

3. ตัวชี้วัดแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ กึ่งอุณหพลศาสตร์ (Economic – Thermodynamic Indicators) ตัวชี้วัดชนิดนี้คล้ายกับตัวชี้วัดชนิดที่ 2 หากแต่มีความแตกต่างอยู่ที่ส่วนผลลัพธ์ของ

ตัวชี้วัดชนิดที่ 3 จะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปผลได้ในเชิงเศรษฐกิจ เช่น เป็นปริมาณผลผลิต มูลค่าของผลผลิต ฯลฯ

4. ตัวชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Indicators) ตัวชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นการมองเฉพาะมูลค่าของเงิน ทั้งในส่วนของผลลัพธ์และส่วนนำเข้า โดยค่าดังกล่าวจะถูกประเมินขึ้นมาด้วยหลักการทางเศรษฐศาสตร์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์

2.1.1 ปัญหาทั่วไปจากการศึกษาตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน

1. การประเมินค่าผลลัพธ์ที่ต้องการในรูปแบบที่ไม่เหมาะสมอาจจะให้ผลบิดเบือนไปจากสภาวการณ์จริงได้ ซึ่งในประเด็นดังกล่าวจึงต้องกำหนดรูปแบบผลลัพธ์ และตัวชี้วัดผลลัพธ์ที่เหมาะสม มิเช่นนั้นผลลัพธ์ของการศึกษาอาจถูกเบี่ยงเบนไปจากความจริง และอาจมีความถูกต้องได้

2. คุณภาพพลังงานเป็นประเด็นที่ส่งผลกระทบอย่างใหญ่หลวงต่อการศึกษาระบบในภาพรวม เช่น ศึกษาการใช้พลังงานประชาชาติ เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยเชิงรวมควรต้องใส่ใจประเด็นดังกล่าวเป็นพิเศษด้วย

3. ปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับพลังงานที่มิใช่พลังงานเชิงพาณิชย์ เช่น พลังงานจากไม้หรือพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น พลังงานเหล่านี้จะไม่ถูกนำมาใช้เป็นฐานในการศึกษาประสิทธิภาพพลังงาน ทำให้ค่าประสิทธิภาพพลังงานมีความบิดเบือนไปจากความเป็นจริง

4. ปัญหาการแบ่งสัดส่วนที่มาของพลังงานในกรณีที่มีการใช้พลังงานในการผลิตสินค้าหลากหลายประเภท สำหรับประเด็นปัญหาการปันพลังงานนี้ อาจดำเนินการได้ 4 รูปแบบ คือ

4.1 การปันพลังงานทั้งหมดไปที่ผลิตภัณฑ์ที่สนใจเพียงตัวเดียว

4.2 การปันพลังงานโดยใช้สัดส่วนมูลค่าทางการเงินเป็นตัวปัน

4.3 การปันพลังงานโดยใช้หน่วยกายภาพที่สำคัญเป็นตัวปัน

4.4 การปันพลังงานโดยใช้สัดส่วนผลต่างพลังงานที่ประหยัดไปได้หากไม่ผลิตสินค้าดังกล่าวเป็นตัวปัญหา

วิธีการข้างต้นเป็นเพียงแนวทางในการศึกษาเท่านั้น ไม่มีวิธีการใดที่ถูกต้อง และให้ผลที่น่าเชื่อถืออย่างแน่นอน เพราะแต่ละวิธีนั้นมีความเหมาะสมแตกต่างกันออกไป

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีการผลิต ตัวชี้วัดที่ผ่านมาไม่สามารถจับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบได้ ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นเพราะตัวชี้วัดส่วนใหญ่เป็นตัวชี้วัดที่มีฐานการอ้างอิงคงที่ ไม่ได้มีการอ้างอิงแบบต่อเนื่องนั่นเอง

จากปัญหาต่าง ๆ ข้างต้นทำให้เกิดการศึกษาหาตัวชี้วัด และวิธีการศึกษาที่เหมาะสมเกี่ยวกับประสิทธิภาพพลังงาน ซึ่งจากการศึกษาผลงานในระดับนานาชาติ เราพบว่า ตัวชี้วัดที่นิยมใช้กันมาก คือ ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC)

2.2 ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC)

ในระดับอุตสาหกรรมตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน จะสามารถใช้เป็นตัวบอกต้นทุนทางพลังงาน นอกจากนั้นยังสามารถใช้สำหรับตั้งเป้าหมายในการประหยัดพลังงาน ในระดับกลุ่มอุตสาหกรรมค่าอ้างอิงทางประสิทธิภาพพลังงานอาจใช้สำหรับในการจัดทำ Energy Benchmarking ภายในกลุ่มอุตสาหกรรมเป็นฐานอ้างอิงให้สมาชิกในกลุ่มทราบถึงค่าประสิทธิภาพพลังงานที่ควรจะทำได้ นอกจากนั้นอาจใช้ในการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพพลังงานของอุตสาหกรรมเดียวกันในต่างประเทศ

ค่าดัชนีการใช้พลังงานนี้สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง การใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานความร้อนและของพลังงานรวม ขึ้นอยู่กับประเภทพลังงานที่นำมาคำนวณ สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าจะใช้หน่วย kWh และพลังงานความร้อนใช้หน่วยเมกกะจูล (MJ) หรือจิกกะจูล (GJ)

ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจะมีประโยชน์อย่างมากในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลงในการคำนวณค่าประสิทธิภาพพลังงานนั้น สามารถพิจารณาได้ใน 2 แนวทาง คือ

1. แนวทางของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

$$E = \text{EnergyOutput} / \text{EnergyInput} \qquad (1)$$

2. แนวทางของผลิตภาพการใช้พลังงาน

$$E = \text{EnergyInput} / \text{EnergyOutput} \qquad (2)$$

ค่าดัชนีสำหรับการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในระดับกระบวนการผลิตคือ ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption; SEC) ซึ่งคำนวณจากปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้นต่อปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน

$$SEC = \frac{E}{P} \qquad (3)$$

โดยที่ SEC= ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

E = ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น

P = ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน

ในการอธิบายการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม มักจะอธิบายในลักษณะของการบริโภคพลังงาน (Energy Consumption) ความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) และความยืดหยุ่น / สัมประสิทธิ์พลังงาน (Energy Elasticity / Coefficient)

การบริโภคพลังงาน เป็นการอธิบายว่า โรงงาน / อุตสาหกรรม / กลุ่มอุตสาหกรรม ใช้พลังงานไปเท่าไหร่ สำหรับทั้งการผลิตและการดำเนินการด้านอื่น ๆ หน่วยก็จะเป็นหน่วยของพลังงาน หรือ พลังงานเทียบเท่า

ความเข้มของพลังงาน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานจะทำหน้าที่อธิบายว่า พลังงานที่ใส่ให้กับกระบวนการผลิตได้ผลผลิต / ปริมาณ / มูลค่าเท่าใด ภาคผนวก 2.1 แสดงตัวอย่างตัวชี้วัดความเข้มพลังงานใน Sector ต่าง ๆ ของสหรัฐอเมริกา และตัวอย่างค่าความเข้มพลังงานของบาง Sector (S) ความยืดหยุ่น / สัมประสิทธิ์พลังงาน เป็นการอธิบายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ตัวชี้วัดนี้ไม่มีหน่วย

ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจะมีประโยชน์อย่างมากในการติดตาม และควบคุมการใช้พลังงาน ซึ่งโรงงานควรจะจัดทำและวิเคราะห์ค่าดังกล่าวทุกเดือน ค่าที่ได้นี้สามารถนำมาใช้ในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง และยังสามารถนำไปเทียบเคียงกับค่าดัชนีเทียบเคียงการใช้พลังงาน SEC Benchmarking เพื่อประเมินว่าโรงงานมีการใช้พลังงานอยู่ในระดับใดได้อีกด้วย

การประเมินค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการผลิตย่อยได้จากการตรวจวัดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตนั้น การแยกแยะข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิตนั้น โดยการบันทึกและจัดการแยกระบบการจ่ายไฟฟ้าและส่วนสนับสนุนการผลิตต่างๆ หรืออาศัยการตรวจวัดและคำนวณทางวิศวกรรมเพื่อประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต แต่ต้องอาศัยความเข้าใจทางวิศวกรรมและระบบการผลิตที่ถูกต้อง ส่วนข้อมูลผลผลิตหรือการใช้วัตถุดิบของการผลิตแต่ละประเภทนั้น โดยมากโรงงานได้ทำการบันทึกข้อมูลอย่างละเอียดไว้แล้ว ซึ่งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการผลิตและส่งผลโดยตรงต่อการคำนวณต้นทุนสินค้า เพียงแต่ยังไม่ได้มีการรวบรวมประมวลผลมา เพื่อใช้ในการคำนวณสำหรับการเทียบเคียงสมรรถนะเชิงพลังงาน แต่อย่างไรก็ตาม แนวทางการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานที่ได้จัดทำขึ้นนี้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับทางโรงงานได้ เพียงแต่จะต้องเข้าใจว่าการเปรียบเทียบนั้น ต้องเปรียบเทียบบนบรรทัดฐานเดียวกัน

2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

ในการวางแผนจัดการด้านพลังงานให้มีการใช้พลังงานอย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีการดำเนินการตรวจสอบ และวิเคราะห์หาสภาพการใช้พลังงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของโรงงานที่เรียกว่า Energy Audit เสียก่อน การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานดังกล่าวจะให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงาน และการสูญเสีย พลังงานที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปมีการปฏิบัติอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1. การตรวจสอบวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้น (Preliminarily Audit) เป็นการตรวจสอบรวบรวมข้อมูลด้านการผลิตระบบการใช้พลังงานในปีก่อนๆ ที่ทางโรงงานจดบันทึกไว้ เพื่อทราบปริมาณการใช้พลังทุกรูปแบบ ค่าใช้จ่าย ด้านพลังงาน ผลผลิตที่ได้ต่อพลังงานที่ใช้ ตัวแปรของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงตลอดจนรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง

2. การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยการสำรวจแผนผังโรงงานเพื่อทราบลักษณะทั่วไปของโรงงาน กระบวนการผลิตและเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆ พิจารณาบริเวณที่มีการใช้พลังงานสูง ระบบการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ และบริเวณที่เกี่ยวข้อง และในขั้นตอนต่อมาคือ การเข้าสำรวจในโรงงานเพื่อหาสาเหตุการสูญเสียพลังงาน โดยการ สำรวจใช้พลังงานทุกระบบทั้งในช่วงทำการผลิต และช่วงหยุดการผลิต รวมทั้งทำการตรวจวัด โดยใช้เครื่องมือต่างๆ ทำให้ได้ข้อมูลสภาพการใช้พลังงานของโรงงานนั้น

3. การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด (Detailed Audit) ผลการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้ พลังงานเบื้องต้น นำข้อมูลมาสร้างรูปแบบการใช้พลังงานว่าจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดบ้าง ซึ่งจะต้องทำการ ตรวจสอบและวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง หรือเป็นช่วงเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์ เพื่อให้ทราบสภาพการทำงานและวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานโดยจัดทำสมดุลพลังงาน เพื่อหาประสิทธิภาพ ของระบบ และของอุปกรณ์ที่สำคัญ และหาแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

โดยในแต่ละมาตรการการลงทุนเพื่อหามาตรการที่เหมาะสมและเป็นไปได้ วัตถุประสงค์หลักของการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน คือ การเตรียมพื้นฐานที่ชัดเจนก่อนที่จะทำการวิเคราะห์และตัดสินใจต่อไป ซึ่งในท้ายที่สุดจะนำไปสู่ผลสำเร็จของโครงการประหยัดพลังงานซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อโรงงานมากขึ้น การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ในที่นี้จะเป็นการนำแนวคิดการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต (Industrial Process Energy Efficiency Concept) มาใช้ โดยกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ จาก

ภาพรวมทั้งโรงงาน และมองลึกลงไปในระดับกระบวนการ และไปสู่การวิเคราะห์มาตรการปรับปรุง

การวิเคราะห์เริ่มจากทำความเข้าใจภาพรวมของกระบวนการผลิตและการใช้พลังงานของโรงงาน ทั้งการใช้พลังงานในขั้นตอนกระบวนการผลิตและระบบสาธารณูปโภค (Utility) ต่างๆ เพื่อที่จะได้ทราบว่าโดยรวมแล้ว พลังงานประเภทใดที่เป็นพลังงานหลักที่ต้องการใช้ / ทรัพยากรการผลิตใดที่เป็นปัจจัยสำคัญ ขั้นตอนไหนของกระบวนการผลิตที่มีการใช้พลังงานมาก และเป็นปัญหาของโรงงาน เพื่อชี้ให้ได้ว่าจุดไหนที่คาดว่าจะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานและควรดำเนินการตรวจสอบในเบื้องต้นและรายละเอียดต่อไป จากนั้นก็พิจารณาจุดหรือกระบวนการที่คาดว่ามีศักยภาพ ทำความเข้าใจธรรมชาติพื้นฐานของกระบวนการผลิตนั้น ว่ามีการใช้พลังงานอย่างไร ถ่ายเทพลังงานอย่างไร แล้วจึงพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการดังกล่าว ว่ามีจุดใดที่บกพร่องสูญเสีย ทำให้การใช้พลังงานสิ้นเปลือง เมื่อรู้จุดเหล่านั้นแล้วก็วิเคราะห์มาตรการคำนวณความคุ้มค่าของการลงทุนและปรับปรุงต่อไป

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตแบ่งเป็นขั้นตอนหลักๆ 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. ทำความเข้าใจภาพรวมของกระบวนการผลิตและการใช้พลังงานของทั้งโรงงาน ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตของโรงงาน สามารถที่จะวิเคราะห์บ่งชี้ได้ว่าพลังงานประเภทใดหรือทรัพยากรใดเป็นปัจจัยหลักหรือเป็นค่าใช้จ่ายหลักของโรงงาน เพื่อกำหนดเป้าหมายที่คาดว่าจะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงาน หรือชี้เป้าหมายได้ว่าควรจะเน้นที่ขั้นตอนการผลิตใด เครื่องมือที่ใช้ช่วย อาทิเช่น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน, ปริมาณผลผลิต, Process Flow Diagram, Energy Flow Diagram และ Demand-Supply Mapping Table เป็นต้น

2. ทำความเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมาย ขั้นตอนนี้เป็นการนำเสนอวิธีการทำความเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมายที่ประเมินว่ามีศักยภาพ โดยพิจารณาการทำงานของกระบวนการผลิตในรูปฟังก์ชั่นของลักษณะการใช้พลังงานกับกรรมวิธีการผลิต ลักษณะการรับ - ถ่ายเทพลังงาน และวิเคราะห์ระบบปฏิบัติการในกระบวนการผลิตในรูปแบบพื้นฐาน (Unit Process Operation) เพื่อให้สามารถที่จะเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมายได้ ไม่ว่ารูปแบบของเครื่องจักรที่ใช้งานในแต่ละขั้นตอนการผลิต จะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างไร ช่วยให้สามารถที่จะเข้าใจกระบวนการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ เหล่านั้นได้มากขึ้น สามารถที่จะหาแนวทางการวิเคราะห์หาศักยภาพในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้

3. ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานเพื่อกำหนดมาตรการ เมื่อเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมายแล้ว ก็เป็นขั้นตอนของการพิจารณาจุดที่ควรปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจุด

ที่มีการสูญเสีย โดยใช้หลักการพิจารณาที่จุดใช้งาน (End Use) ว่าแท้จริงแล้วกระบวนการต้องการพลังงานหรือทรัพยากรการผลิตอื่นๆ เท่าใด พิจารณาความสอดคล้องของความต้องการพลังงาน (Demand) และพลังงานที่จ่าย (Energy Supply) จุดสูญเสียพลังงานหลักๆ ของกระบวนการพิจารณาว่าสภาวะที่ใช้งานอยู่เกินความจำเป็นหรือไม่ ลดลงได้หรือไม่ รวมถึงวิธีการบริหารจัดการการใช้พลังงานด้วย ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ที่นำเสนอจะประกอบไปด้วยแนวทางต่างๆ หลักในพิจารณาคือ นอกจากจะมุ่งประเด็นเพื่อลดการใช้พลังงานแล้ว ควรให้ความสนใจที่การลดปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญ หรือปัจจัยที่เป็นต้นทุนหลักในการผลิตของโรงงานด้วย ซึ่งในบางครั้งแนวทางในการปรับปรุง เป้าหมายในตอนแรกอาจจะไม่ได้เริ่มจากพลังงานเป็นหลัก แต่อาจแฝงไปด้วยเป้าหมายทางอ้อมเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานก็ได้

4. ทำการวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน หลังจากที่ได้แนวทางที่จะปรับปรุงแล้ว ก็ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์ปรับปรุง อาจกระทำได้ ตั้งแต่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่ใช้ในการผลิต หรือวิธีการใช้งานหรือดูแลบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ (Systematic Maintenance) ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการลงทุนหรือลงทุนน้อย (No-Low Investment Cost) ไปจนถึงการลงทุนปรับปรุงเพิ่มเติมอุปกรณ์ควบคุมบางส่วน ซึ่งเป็นการลงทุนปานกลาง (Medium Investment Cost) หรือจนกระทั่งทำการปรับปรุงปรับเปลี่ยน / ติดตั้งเครื่องจักรใหม่ที่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้น ใช้พลังงานน้อยลง แต่ต้องใช้เงินลงทุนที่สูง (High Investment Cost) ซึ่งควรคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการดำเนินการของโรงงานร่วมด้วย ควรประชุมปรึกษาร่วมกับทางทีมงานของโรงงาน เพื่อให้เกิดการเห็นพ้องร่วมกัน และไม่ก่อให้เกิดความขัดแย้งในทีมงานของโรงงาน เพื่อให้ผู้ตัดสินใจได้พิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดกับกิจการของตนเองได้

2.4 กระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะ (Benchmarking)

2.4.1 กระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะ และจัดอันดับภายในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เป้าหมายสำคัญอันดับแรก ที่บริษัทปูนซีเมนต์ทั่วโลกต้องการก็คือ การเพิ่มความสามารถในการทำกำไร เพิ่มมูลค่า และผลตอบแทนให้กับกลุ่มให้มากที่สุด ซึ่งวิธีที่จะทำให้ไปถึงเป้าหมายนี้ได้นั้น บริษัทเหล่านี้จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนา และปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานในด้านต่างๆ เช่น เพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน เพิ่มผลิตภาพการผลิตของแรงงานและการใช้เครื่องมือเครื่องจักร รวมทั้งการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้สามารถใช้งานได้ดี และมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) อยู่เสมอ นอกจากจะมีแรงกดดันจากภายในให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพอย่าง

ต่อเนื่องแล้ว ยังมีแรงกดดันจากลูกค้าของบริษัทจากลูกค้า ไม่ว่าจะเป็นความต้องการในด้านคุณภาพที่เพิ่มขึ้น หรือข้อกำหนดทางด้านความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ที่เข้มงวดมากขึ้น

การจัดทำกระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะนั้น เป็นจุดเริ่มแรกของการปรับปรุงสมรรถนะขององค์กรต่างๆ สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นั้น เมื่อมีการนำมาเปรียบเทียบกันในกลุ่มอุตสาหกรรมซีเมนต์ทั่วโลก โดยจะแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบตามกระบวนการ เครื่องจักร/อุปกรณ์ และภูมิภาค ซึ่งจะช่วยกำหนดขอบเขตของการปรับปรุง และเป้าหมายในการปรับปรุง ซึ่งการเปรียบเทียบนี้จะช่วยบอกได้ว่า โรงงานนั้นๆ ถูกจัดอันดับความสามารถในการดำเนินงานอยู่ในอันดับที่เท่าใด ในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน

วิธีปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) ที่จะได้จากการพิจารณาและการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานปูนซีเมนต์ต่างๆทั่วโลก โดยที่บริษัทอินเดียนซีเมนต์ (Indian Cement) มีความเป็นเลิศทางด้านประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน โดยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ต่ำกว่า 70 กิโลวัตต์ต่อการผลิตซีเมนต์ 1 ตัน เนื่องจากการเปลี่ยนไปใช้ Compression Grinding รุ่นใหม่ ส่วนการลดการใช้พลังงานในส่วนของการเตรียมวัตถุดิบและการเผาปูนเม็ดนั้น เกิดจากการเพิ่มสารซีเมนต์เชื่อมประสาน (Cementations Material) ให้กับซีเมนต์ ส่วนการบริโภคพลังงานความร้อนของเตาเผาซีเมนต์นั้น มีการลดลงต่ำกว่า 3,000 กิโลจูลต่อปูนเม็ด 1 กิโลกรัม สำหรับเตาอุ่น (Pre-heater) ขนาด 6 ชั้นและการเผาแคลไซน์ (Calciner) ที่มีสายการผลิตแยกออกไปต่างหาก ซึ่งข้อมูลนี้ค่อนข้างไม่มีผล หากเป็นเตาเผาแบบเปียกขนาดยาว (long wet kilns) หรือเตาเผาที่มีเตาอุ่น 4 ชั้น ซึ่งตัวอย่างนี้จะแสดงให้เห็นถึงความสำคัญที่จะต้องทำการเปรียบเทียบในกลุ่มการเทียบเคียงที่เหมาะสม สำหรับการเปรียบเทียบอื่นๆของเตาเผา จากกระบวนการที่แตกต่างกัน จะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของกระบวนการ (Reliability) ซึ่งโรงงานที่สามารถดำเนินการส่วนนี้ได้ดีที่สุดนั้นสามารถทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพดีได้ โดยพิจารณาจากระยะเวลาเฉลี่ยที่เครื่องจักรสามารถทำงานต่อเนื่องได้จนกว่าจะหยุดทำงาน (mean time between stop, MTBS) คือมากกว่า 400 ชั่วโมง ส่วนโรงงานที่แย่ที่สุดนั้น มีค่าอยู่ที่มากกว่า 40 ชั่วโมง แต่โดยทั่วไปของบริษัทซีเมนต์แล้วนั้น การทำให้ MTBS มากกว่า 100 ชั่วโมง ก็จัดว่ายาก ซึ่งนี่ก็จัดเป็นขอบเขตของการปรับปรุงของโรงงานที่สามารถให้โรงงานทำให้ดีกว่าได้ นอกจากนี้ ความต้องการของตลาดก็มีผลโดยตรงกับการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของกระบวนการ ซึ่งตัวชี้วัดที่ดีตัวหนึ่งของเครื่องมือก็คือระยะเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหายแต่ละครั้ง (Mean time between failure, MTBF) โดยจะไม่นับการหยุดเพื่อบำรุงรักษาเครื่องจักรตามตารางรวมเข้าไปด้วย

2.4.2 กระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะเชิงลึก

กระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะของทั้งอุตสาหกรรมนั้น ก่อให้เกิดการเปรียบเทียบและการจัดอันดับของบริษัทต่างๆ ในกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งช่วยให้บริษัทบรรลุวัตถุประสงค์สำหรับการบริหารจัดการ เพิ่มความน่าลงทุน ทั้งยังเพิ่มความพึงพอใจให้กับกลุ่มอีกด้วย แต่การเปรียบเทียบกันในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ บางครั้งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของบริษัทในการปรับปรุงการทำงาน เนื่องจากโดยมากแล้ว ผู้จัดการส่วนใหญ่ต่างเชี่ยวชาญในเทคนิคการผลิตอยู่แล้ว และทราบดีว่าโรงงานของตนนั้น มีประสิทธิภาพเครื่องจักรดีเพียงใด ดังนั้น การเทียบเคียงสมรรถนะในเชิงลึก (Detailed Benchmarking) จะช่วยเพิ่มโอกาสในการพัฒนาปรับปรุงได้มากยิ่งขึ้น เช่นในปี ค.ศ. 2002 ที่กลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ได้ประสบกับปัญหามีความต้องการสินค้าที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก จนอาจทำให้เกิดการนำเข้าปูนซีเมนต์จากต่างประเทศเข้ามาเพื่อชดเชยช่องว่างในตลาด ซึ่งจะส่งผลต่อส่วนแบ่งตลาดที่บริษัทเหล่านั้นครองอยู่แต่เดิม จึงทำให้โรงงานต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาให้เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าเตาเผาที่มีอยู่นั้น จะจัดได้ว่าเป็นเตาที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในโลก ที่โดยปกติจะมีกำลังการผลิตไม่ต่ำกว่า 6 ตันต่อวันต่อปริมาตรภายในของเตาเผาแบบหมุน 1 คิวบิกเมตร จึงทำให้จำเป็นต้องทำการวางแผน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของเตาให้สูงขึ้น และเกิดคำถามตามมาว่า เตาเผาที่ใช้อยู่นั้นได้ผลิตถึงขีดจำกัดสูงสุดแล้วหรือยัง ดังนั้น จุดมุ่งหมายใหม่ของการเทียบเคียงสมรรถนะ คือการศึกษาว่ามีเตาใดที่มีกำลังการผลิตสูงกว่า 6 tpd/m^3 หรือไม่ และจากการศึกษาได้พบว่า มีเตาเผาที่มีกำลังการผลิตสูงถึง 6.5 tpd/m^3 นั้นเป็นของบริษัท Larsen & Toubro ในประเทศอินเดีย ซึ่งได้ทำการแก้ไขต่อเติมส่วนไซโคลน (Cyclone) ที่อยู่ในหออุ่น (Pre-heater) เพื่อลดปัญหาความดันตก และลดภาระงานของพัดลมดูด (Induced Draft Fans) ซึ่งกรณีศึกษาในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักรนี้ ได้มีการรวบรวมเป็นองค์ความรู้ไว้อยู่แล้ว นอกจากนี้ยังมีพัฒนาในเรื่องของระบบการฉีดน้ำเย็น และการจำกัดก๊าซไอเสีย (Exhaust Gas) ที่จะเข้าสู่พัดลมดูดอีกด้วย

ข้อมูลต่างๆในเชิงลึกของแต่ละโรงงานนั้น จัดว่าเป็นข้อมูลสำคัญของบริษัท ที่อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้บริษัทมีความได้เปรียบในการแข่งขัน จึงไม่ต้องการเปิดเผยเคล็ดลับเหล่านั้นต่อคู่แข่ง ซึ่งก็คือบริษัทอื่นๆที่อยู่ในอุตสาหกรรมเดียวกัน นั่นคือ ผู้ที่เข้าร่วมกลุ่มเดียวกันในกระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะนั่นเอง ดังนั้น ผลที่ได้จากการเข้าร่วมกระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะนี้ บริษัทจะได้เพียงแนวทางในการปรับปรุงการทำงานจากบริษัทที่ทำได้ดีกว่า ว่าวิธีปฏิบัติที่ดีที่สุดนั้น ใช้วิธีการและแนวทางแบบใด แต่ไม่ใช่ข้อมูลและขั้นตอนในการปรับปรุงกระบวนการทั้งหมด ทำให้แต่ละโรงงานจำเป็นต้องนำแนวทางที่ได้รับนี้ ไปวิจัยพัฒนาและประยุกต์ให้เหมาะสมกับโรงงานของตนเอง ตามสภาวะและเงื่อนไขที่แตกต่างกันไปในแต่ละโรงงาน

2.4.3 กระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะกับบริษัทที่ไม่ใช่คู่แข่งทางตรง

นอกจากข้อมูลเชิงเทคนิคและเชิงตัวเลข ที่นำมาเข้ากระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะแล้วนั้น ยังมีข้อมูลประเภทอื่นอีก อาทิ ข้อมูลทางด้านต้นทุน ข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น การบริการลูกค้า นวัตกรรม การพัฒนาผลิตภัณฑ์ ระดับความสามารถของพนักงาน การฝึกอบรมและการบริหารองค์ความรู้ภายในโรงงาน โดยข้อมูลดังที่กล่าวมานี้ มีการเปิดเผยออกมาจากบริษัทต่างๆน้อยมาก ซึ่งอาจเป็นปัจจัยสำคัญของการเพิ่มผลกำไร และเพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับทางบริษัทนั้นๆ นอกเหนือจากความเชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคในการผลิตเพียงอย่างเดียว และในกรณีของบริษัทซีเมนต์ขนาดเล็ก อาจสามารถหาคู่เทียบเคียงในระดับเดียวกันได้ แต่ถ้าหากเป็นบริษัทร่วมทุนระดับนานาชาติแล้วนั้น ก็คงเป็นไปได้ยากที่จะหาบริษัทที่คล้ายคลึงกันมาทำการเทียบเคียง เนื่องจากต่างก็แข่งขันกันอยู่ ซึ่งการหาข้อมูลจากบริษัทเหล่านี้ สามารถทำได้เพียงการติดตามข่าวสารการเปลี่ยนแปลงต่างๆของบริษัทคู่แข่งอย่างใกล้ชิด ดังเช่นบริษัทในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมี กลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษ และกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมในกลุ่มซีเมนต์ สามารถศึกษาถึงการบำรุงรักษาเครื่องจักรจากบริษัท Du-Pont หรือศึกษาด้านความน่าเชื่อถือของกระบวนการจากแท่นขุดเจาะน้ำมันกลางทะเล หรืออุตสาหกรรมการผลิตก๊าซเป็นต้น

นอกจากนี้ อุตสาหกรรมที่เป็นพันธมิตร หรือคู่ค้ากับบริษัท สามารถนำมาเทียบเคียงได้เช่นกัน อาทิ อุตสาหกรรมผลิตก๊าซออกซิเจน ที่ต้องการเสนอขายก๊าซออกซิเจนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ในเตาเผา ยินดีที่จะให้ความร่วมมือสำหรับกระบวนการเทียบเคียงในทางที่เป็นไปได้ เช่น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตก๊าซออกซิเจนนั้นคืออากาศ ซึ่งเป็นสัดส่วนของต้นทุนที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับต้นทุนรวมของการผลิต แต่ในการผลิตก๊าซออกซิเจนออกมานั้น ต้องใช้พลังงานในปริมาณมาก เพื่อแปรรูปอากาศให้กลายเป็นออกซิเจนบริสุทธิ์ ซึ่งคล้ายกับลักษณะการผลิตของบริษัทซีเมนต์ แต่อุตสาหกรรมผลิตก๊าซออกซิเจน ก็มีส่วนที่แตกต่างที่ไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบกันได้ เช่น ในเรื่องของระดับความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ และการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำได้หลากหลายกว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทซีเมนต์ ดังนั้น การเลือกหัวข้อในการเทียบเคียงสมรรถนะ จึงต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ และความเหมาะสมของหัวข้อในการเทียบเคียงอีกด้วย

2.4.4 กระบวนการเทียบเคียงสมรรถนะกับเทคนิคที่ดีที่สุดที่มีอยู่ในปัจจุบัน

การเปรียบเทียบกันระหว่างโรงงาน จะช่วยให้เกิดการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด จากการเรียนรู้เทคนิคการทำงานที่ดีกว่า ที่ได้รับจากวิธีการปฏิบัติที่เป็นเลิศ แต่ก็ยังพบปัญหารวมทั้งอุปสรรคต่างๆมากมาย นับตั้งแต่การให้ความร่วมมือของโรงงาน ความน่าเชื่อถือ และความถูกต้อง

ของข้อมูล จนถึงอุปสรรคที่เกิดจากสภาวะการแข่งขันกันของโรงงานต่างๆ ซึ่งนอกเหนือจากปัญหาที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จากการที่ได้เข้าไปทำการศึกษาในแต่ละโรงงาน พบว่า ในแต่ละโรงงานต่างก็มีเทคโนโลยีในการผลิต ประเภทเครื่องจักร ขนาดของการผลิตของเครื่องจักร รวมทั้งอายุการใช้งานแตกต่างกันไป ดังนั้น การที่จะนำค่า SEC มาเปรียบเทียบกันระหว่างแต่ละโรงงานนั้น อาจจะไม่ได้ผลการเปรียบเทียบที่แท้จริง เพราะโรงงานที่มีเทคโนโลยีใหม่กว่า ย่อมมีการติดตั้งเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูง ทำให้มีค่า SEC ต่ำกว่าโรงงานที่ใช้เทคโนโลยีรุ่นเก่า ไม่ว่าโรงงานที่มีเทคโนโลยีรุ่นเก่าจะได้ดำเนินมาตรการทางด้านพลังงานอย่างครบถ้วนแล้วก็ตาม ดังนั้น ในการเทียบเคียงสมรรถนะ อาจทำได้โดยการนำไปเทียบเคียงกับค่าที่ได้จากเทคนิคที่ดีที่สุดที่มีอยู่ในปัจจุบัน (Best Available Techniques: BAT) ซึ่งแบ่งออกตามชนิดของเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอน แต่ทั้งนี้ ยังต้องมีการนำไปปรับค่า เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมในการเทียบเคียงของเครื่องจักรแต่ละประเภทที่ใช้ในโรงงานอีกด้วย

วิธีการเทียบเคียงสมรรถนะกับค่า SEC ของเครื่องจักรประเภทเดียวกันอย่างที่ควรจะเป็นนี้ จะช่วยลดปัญหาเรื่องความแตกต่างทางด้านเทคโนโลยี อายุการใช้งาน และการเปิดเผยข้อมูลของโรงงานต่างๆลงได้ และทำให้โรงงานนั้นๆ สามารถทราบได้ถึงระดับความสามารถของตนเองได้เป็นอย่างดี

2.4.5 ขั้นตอนการพิจารณาเทคนิคที่ดีที่สุดในการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

สำหรับการพิจารณา BAT ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาเปรียบเทียบนั้น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. พิจารณาหัวข้อหลักของสมรรถนะการทำงาน คือ ด้านปริมาณการใช้พลังงาน
2. สำรวจเทคนิคที่ใช้ ซึ่งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการใช้พลังงาน
3. พิจารณาระดับการปฏิบัติงานที่ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานน้อยที่สุด
4. พิจารณาสภาวะเงื่อนไขของการทำงานต่างๆ ที่ทำให้การปฏิบัติงานประสบความสำเร็จ อาทิเช่น ต้นทุน แรงผลักดันหลักๆที่ก่อให้เกิดการใช้เทคนิคนั้นๆ
5. กำหนดให้เป็นเทคนิคที่ดีที่สุดที่มีอยู่ในปัจจุบัน (Best Available Techniques: BAT)

2.4.6 เทคนิคที่ดีที่สุดสำหรับการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

สำหรับกระบวนการผลิตซีเมนต์ที่ใช้เป็นมาตรฐาน คือกระบวนการผลิตแบบแห้ง ซึ่งประกอบด้วย 5 Cyclone Pre-heater และมีพรีแคลซิเนชั่น (Dry process with 5 cyclone pre-heater and pre-calcinations) โดยมีอัตราการใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2,900-3,200 เมกกะจูลต่อการผลิตปูนเม็ด 1 ตัน และมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 90-130 กิโลวัตต์ต่อการผลิตซีเมนต์ 1 ตัน พลังงานที่มีสัดส่วนการใช้มากที่สุดคือ เชื้อเพลิงสำหรับเตาเผา ส่วนพลังงานไฟฟ้านั้น กว่าร้อยละ 80 จะถูกใช้ไปโดยเครื่องบด (Finish grinding and raw grinding) และพัดลมระบายอากาศ ส่วนค่าใช้จ่ายที่ใช้ไปในด้านพลังงาน ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า โดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 50 ของต้นทุนการผลิตซีเมนต์แต่ละตัน ซึ่งพลังงานไฟฟ้า มีความต้องการใช้ประมาณร้อยละ 20 ของความต้องการพลังงานทั้งหมด โดยเทคนิคที่ใช้นั้น สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.4.7 เทคนิคการปรับกระบวนการเผาให้มีความเสถียรและคงที่ เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าตัวแปรที่เหมาะสม

1. การหาจุดเหมาะสม (Optimization) ของการควบคุมกระบวนการผลิต ซึ่งรวมถึงการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์

2. การใช้ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแข็งแบบใหม่ที่ใช้หลักแรงโน้มถ่วง (Gravimetric solid fuel feed systems)

การหาปริมาณที่เหมาะสมของกระบวนการเผาปูนเม็ดนั้น นอกจากจะช่วยลดปริมาณการบริโภคพลังงาน เนื่องจากที่การผลิตมีความเสถียรแล้วนั้น ยังสามารถเพิ่มคุณภาพของปูนเม็ด และยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ เช่น อิฐทนไฟ เป็นต้น ทั้งยังสามารถลดปริมาณการปล่อยก๊าซ NOX, SOX และปริมาณฝุ่นที่ถูกปล่อยออกมาอีกด้วย

การหาความเหมาะสมของกระบวนการนั้น รวมไปถึงการปั่นผสมวัตถุดิบ (Homogenizing) การบดถ่านหินให้เป็นผง และการปรับปรุงขั้นตอนการทำให้เย็น (Cooling) เพื่อที่จะให้แน่ใจได้ว่า อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแข็งเข้าสู่กระบวนการนั้นมีความแปรรวนน้อย นอกจากนี้ การออกแบบอุปกรณ์อื่นๆให้เหมาะสมก็มีความสำคัญเช่นกัน เช่น การออกแบบ hopper การออกแบบสายพานลำเลียงและเครื่องป้อน (Transportation conveyer and feeder) ซึ่งอาจใช้ระบบการป้อนเชื้อเพลิงแข็งแบบใหม่ที่ใช้หลักแรงโน้มถ่วง (Gravimetric solid fuel feed systems)

โดยเตาเผาที่มีการพิจารณาจุดความเหมาะสมนั้น จะมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำกว่าเตาเผาที่ไม่ได้มีการหาจุดเหมาะสมในการผลิต เพราะสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงและอิฐทนไฟ ซึ่ง

ส่งผลให้ค่าบำรุงรักษาลดลง นอกจากนี้ ยังทำให้กำลังการผลิตเพิ่มสูงขึ้น และทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นอีกด้วย

2.4.8 เทคนิคการลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงให้ต่ำที่สุด

- เพิ่มการอุ่น (Pre-heater) และการพรีแคลไซเนอร์ (Pre-calciner) ให้มากที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ โดยการพิจารณาจากระบบของเตาเผาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
- เพิ่มการหมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้ใหม่ (Heat recovery) ที่ได้จากอุปกรณ์ลดอุณหภูมิของปูนเม็ด (Clinker cooler)
- การหมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้ใหม่จากก๊าซทิ้ง (Waste gas)

2.4.9 เทคนิคการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ต่ำที่สุด

- การใช้ระบบการจัดการพลังงาน (Power management systems)
- การใช้อุปกรณ์ในการบด (Grinding) และอุปกรณ์ในการผลิตหลักๆ ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

<u>งานวิจัยภาษาไทย</u>

การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอโลหะ (ปูนซีเมนต์ แก้ว กระจก และเซรามิกส์) การดำเนินการเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน การอนุรักษ์พลังงานและการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน มีการประเมินผลการประหยัดพลังงานจากค่าประสิทธิภาพพลังงานปัจจุบันและค่าที่น่าจะทำได้ โดยมีประเภทตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพพลังงานคือ

- Thermodynamic Indicators
- Physical – Thermodynamic Indicators
- Economic – Thermodynamic Indicators
- Economic Indicators

ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพที่ได้รับความสนใจ คือ

- ค่าความเข้มพลังงาน (Energy Intensity)
- ค่าความยืดหยุ่น / สัมประสิทธิ์พลังงาน (Energy Elasticity / Coefficient)

การใช้ประโยชน์จากค่าความเข้มพลังงานและความยืดหยุ่นพลังงาน คือ

- เป็นตัวบอกต้นทุนทางพลังงานสำหรับสินค้าหรือบริการ
- ใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน

- ใช้สำหรับกำหนดเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน
- วัดประสิทธิภาพการบริโภคพลังงาน
- พยากรณ์ความต้องการพลังงาน

กรมโรงงานอุตสาหกรรม : อุตสาหกรรมยาง (2535) กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้จัดทำคู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทยาง ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปของอุตสาหกรรม กระบวนการผลิต ลักษณะการใช้พลังงาน การรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน มาตรการอนุรักษ์พลังงาน การจัดการด้านพลังงาน และกรณีศึกษา เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการได้ตระหนักถึงศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน และนำไปปฏิบัติเพื่อก่อให้เกิดผลการอนุรักษ์พลังงานในสถานประกอบการของตนเอง ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้แก่ผู้ประกอบการเอง

พงษ์ศักดิ์ พุทธวงศ์ (2546) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการศึกษาความต้องการไฟฟ้าในอุตสาหกรรมผลิตโลหะ อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์และภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้า การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างปี พ.ศ. 2545–2551 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์สมการพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

โดยแบบจำลองทางสถิติ จากความสัมพันธ์ของตัวแปรในแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์จะได้ว่า

$$D_{es} = a + bP_e + cP_f + dR + eQ_s + U$$

เมื่อกำหนดให้

D_{es} = ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรม
P_e = ราคาไฟฟ้าเฉลี่ย
P_f = ราคาก๊าซเฉลี่ย
R = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เฉลี่ย
Q_s = ปริมาณผลผลิตของอุตสาหกรรม
U = ค่าความผิดพลาด (Disturbance Term)
a = ค่าคงที่ (Constant)
b,c,d,e = สัมประสิทธิ์ของตัวแปรต่างๆ (Coefficients)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุปสงค์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอุตสาหกรรมผลิตโลหะและปูนซีเมนต์ มีดังนี้ ราคาไฟฟ้าเฉลี่ย ราคาก๊าซเฉลี่ย และปริมาณผลผลิตของอุตสาหกรรม ได้ค่าความหยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อราคาไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ -1.565 ของอุตสหกรรมผลิตโลหะ และ -0.783 ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ค่าความยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อผลผลิต มีค่าเท่ากับ 0.11 ของอุตสาหกรรมผลิตโลหะ และค่าความยืดหยุ่นของอุตสาหกรรมผลิตนซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.449 และค่าความยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อราคาก๊าซของอุตสาหกรรมผลิตโลหะและปูนซี-เมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.617 และ 0.332

ผลของการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมผลิตโลหะและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ในช่วง พ.ศ. 2545-2551 มีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 4.52, 3.90 และ 3.52 ต่อปีตามลำดับ ผลของการพยากรณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของภาคอุตสาหกรรม มีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยประมาณ 500 เมกะวัตต์ต่อปี

วีระพงษ์ ประสาทศิลป์ (2541) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การประหยัดพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า กรณีศึกษา โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมพระนครใต้ ชุดที่ 1 ได้ทำการสรุปว่า การใช้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่อหน่วยผลิตไฟฟ้าให้น้อยลง โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบกับสมรรถนะเป็นส่วนสำคัญ

ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะของ กังหันก๊าซ คือ

1. ระดับความสูงที่ติดตั้งเครื่องจักร (Altitude)
2. ความดันไอเสีย (Exhaust Pressure)
3. การเสื่อมสภาพของกังหันก๊าซ (Gas Tubine Degradtion)
4. ความดันอากาศขาเข้า (Intent Pressure)
5. อุณหภูมิที่มีทางเข้าคอมเพรสเซอร์ (Air Inlet Temperature)
6. ความสะอาดของคอมเพรสเซอร์ (Cleanliness of Compressure)

การรักษาสมรรถนะของกังหันก๊าซโดยลงทุนน้อยที่สุดนั้นสามารถกำหนดได้โดยการรักษาความสะอาดของ คอมเพรสเซอร์ และทำ PM (Preventive Maintenance) โดยตรวจสอบสภาพเครื่องจักร กังหันก๊าซ ตามระยะเวลา ประจำวัน ประจำสัปดาห์และประจำเดือน เพื่อทำการแก้ไขก่อนเกิดความเสียหาย

เอกสิทธิ์ สุวรรณศรี (2543) วิทยานิพนธ์มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและการวิเคราะห์การใช้พลังงาน เพื่อดำเนินการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด ทำให้ต้อง

ดำเนินการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ให้ดีขึ้น โดยมีแนวทางการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานดังนี้

1. การกำหนดนโยบายจากผู้บริหารระดับสูงและกำหนดเป้าหมายในการดำเนินงาน
2. กำหนดแผนงานหลักในการดำเนินงานการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานและแผนงานในระดับแรก
3. ปรับปรุงองค์กรดำเนินงานให้เข้าถึงทุกส่วนในกระบวนการผลิต
4. วางแผนการเดินเครื่องจักรในกระบวนการผลิตให้เหมาะสมโดยการควบคุมปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด
5. ปรับปรุงระบบการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยการจัดทำเอกสารมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบและทำการจัดตั้งทีมงานในการตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง
6. ปรับปรุงกระบวนการติดตามการปรับปรุงแก้ไขการดำเนินงานที่เกิดขึ้น

จากการดำเนินการปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จากการทำวิจัยครั้งนี้จะส่งผลให้กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามเป้าหมายที่กำหนดขึ้นในกระบวนการผลิตโดยทราบได้จากอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปริมณปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ และอัตราการใช้พลังงานความร้อนต่อปริมาณปูนเม็ด ที่มีค่าลดลงได้ตามมาตรฐานของผู้ผลิตเครื่องจักร ซึ่งจากการดำเนินงานปรับปรุงดังกล่าวจะส่งผลให้ต้นทุนอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง 25.44% และอัตราค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อนต่อปริมาณปูนเม็ดลดลง 3.37% คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ 218.01 ล้านบาท

<u>งานวิจัยภาษาอังกฤษ</u>

Cembureau the European Cement (2006) ได้ศึกษาเรื่องค่า SEC ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ พลังงานหลักที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตนั้นมี 2 ชนิด คือ พลังงานเชื้อเพลิงและพลังงานไฟฟ้า ต้นทุนพลังงานทั้ง 2 ที่ใช้ในกระบวนการผลิตคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนพลังงานทั้งหมด โดยพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 14 เปอร์เซ็นต์ของกระบวนการผลิต คิดเป็นค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงาน 25 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพลังงานเชื้อเพลิงมีความต้องการเฉพาะในกระบวนการผลิตปูนเม็ดเท่านั้น ค่าการบริโภคพลังงานที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นๆ ซึ่งในแต่ละกระบวนการย่อยนั้นหากเลือกใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยก็สามารถประหยัดพลังงานได้ โดยค่าการใช้พลังงานในกระบวนการบกวัตถุดิบจะมีช่วงการใช้พลังงานอยู่ที่ 90 – 150 kWh/ton cement โดยในกระบวนการบดไม่รวมการกระบวนการผลิตปูนเม็ดนั้นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าคิด

เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเลือกใช้เทคโนโลยีนั้นเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อการบริโภคพลังงาน งานวิจัยนี้ได้ทำงานเปรียบเทียบการใช้พลังงานของ Pre- heater แต่ละ stages ดังนี้

- 3 stages : 3400 to 3800 MJ/ton clinker
- 4 stages : 3200 to 3600 MJ/ton clinker
- 5 stages : 3100 to 3500 MJ/ton clinker
- 6 stages : 3000 to 3400 MJ/ton clinker

Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price Received (1999) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในยุโรปทำการวิจัยศึกษาการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิต และการปล่อย CO_2 โดยศึกษาในเรื่องเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต ในแต่ละกระบวนการย่อย มีความแตกต่างกันในเรื่องเทคโนโลยี ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกระบวนการทำให้ค่าพลังงานที่บริโภคมีความแตกต่างกัน อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใน U.S. มีการบริโภคพลังงานที่ผ่านมาเพิ่มขึ้น และในปัจจุบันมีการพัฒนาเพื่อจะลดการใช้พลังงานและปล่อยก๊าซเรือนกระจกลง เมื่อได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุและแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดที่สามารถนำมาใช้ และนำมาปฏิบัติสำหรับการบริโภคพลังงานและการปล่อย CO_2 แล้วสามารถสรุปได้ว่าแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดที่นำมาใช้ และนำมาปฏิบัตินั้นการการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิต และการปล่อย CO_2 ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยมีการใช้พลังงานลดลงได้ถึง 30% นั่นคือจาก 7.9 GJ/t ลงเหลือ 5.6 GJ/t การปล่อยก๊าซเรือนกระจกก็ลดลงจากการบริโภคเชื้อเพลิง 17%

Ernst Worrell and Christina Galitsky (2004) เสนองานศึกษาและวิจัยเรื่อง Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers อุตสาหกรรมใน U.S. มีทิศทางในการบริโภคพลังงานที่สูงมาโดยตลอด ค่าใช้จ่ายที่เป็นผลจากการบริโภคพลังงาน และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ผ่านมาก็สูงตามเช่นกัน จากการศึกษามาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่ผ่านมาสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานและการปล่อย CO_2 โดยจากการวิเคราะห์การใช้พลังงาน และการปล่อยก๊าซ CO_2 ของงานวิจัยที่ผ่านมานั้นสามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุได้ว่าในกระบวนการผลิตนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของเทคโนโลยีที่ใช้ ดังนั้นในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาต่อในเรื่องการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เพิ่มเติมต่อจากงานวิจัยอื่นๆที่ได้ทำการศึกษามาบ้างแล้วโดยยึดหลักการที่ว่าการบริโภคพลังงานและการปล่อยก๊าซ CO_2เป็นผลจากเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน และจากการศึกษาได้นำเทคโนโลยีในแต่ละกระบวนการผลิตย่อยมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงาน โดยนำแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดมาร่วมในการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานเพื่อเปรียบเทียบ

ค่าพลังงานที่ลดลงได้ และพบว่า ในระหว่างปี 1970 และ 1999 พลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ สามารถลดลงได้ 1% / ปี จาก 7.3 MBtu/short ton ถึง 5.3 MBtu/short ton การปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้เชื้อเพลิงและเผาวัตถุดิบลดลง 16% จาก 609 lb C/ton (0.31 tC/tonne) ของซีเมนต์ ถึง 510 lb.C/ton cement (0.26 tC/tonne)

G.A. Boyd (July 2006) ได้เสนองานวิจัยเรื่อง Development of a Performance-Based Industrial Energy Efficiency Indicator for Cement Manufacturing Plants ในองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการจัดการด้านพลังงาน โปรแกรมที่มีศักยภาพช่วยสนับสนุนในการประหยัดพลังงาน ถ้าโปรแกรมนั้นนำไปใช้อย่างเหมาะสม เป็นกุญแจสำคัญช่วยให้บรรลุผลในการประหยัดพลังงานสามารถคำนวณหาระดับสมรรถนะของพลังงานโดยการเปรียบเทียบกับสมรรถนะของโรงงาน โดยการจัดการการผลิตสามารถกำหนดเป้าหมายของประสิทธิภาพพลังงานโดยใช้สมรรถนะเป็นตัวชี้วัด EPA, Energy Star Program ได้มีการพัฒนาด้านสมรรถนะพลังงานในโรงงาน (EpI) ให้การสนับสนุน

ในงานวิจัยนี้อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์หาระดับตัวชี้วัดประสิทธิภาพของพลังงานในแต่ละส่วนของการผลิตต่างๆในโรงงาน เช่น Including Portland cement และการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทพิเศษอื่นๆ ใน USA. เมื่อพิจารณาสิ่งที่มีบทบาทตัวชี้วัดสมรรถนะเป็นพื้นฐานในการตัดสินใจ ขั้นตอนพัฒนาเครื่องมือชี้วัดรวมผลกระทบกับอุตสาหกรรม ข้อมูลที่น่าวางใจสำหรับตัวชี้วัดและการปฏิบัติจริงและใช้เป็นตัวชี้วัด เช่น พนักงานใน EPA มีความสมัครใจปรับปรุงการใช้พลังงานมีการถกเถียงอยู่เช่นกัน

Her Majesty the Queen in Right of Canada (2001) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการบริโภคพลังงานและการ Benchmark ในกระบวนการผลิตปูนเม็ด อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ให้ความสำคัญในเรื่องต้นทุนพลังงานมาก โดยมีความผันแปรของต้นทุนอยู่ที่ 25-35 เปอร์เซ็นต์ของต้นทุนทั้งหมด ส่งผลให้เกิดความสนใจและแข่งขันในเรื่องการพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องประสิทธิภาพของเทคโนโลยี โดยอุตสาหกรรมเพิ่มความสามารถประสิทธิภาพทางด้านเทคโนโลยีในกระบวนการเผา นั่นคือ Pre-heater และ Pre-calciner ซึ่งเทคโนโลยีทั้งสองสามารถลดการบริโภคพลังงานลงได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ในปี 1970

สำหรับการบริโภคพลังงานในปี 1990-1998 ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศแคนนาดานั้น มีความต้องการบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้น 9.3 เปอร์เซ็นต์ แต่ในการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตปูนเม็ดลดลง 14 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เกิดการบริโภคพลังงาน อย่างมีประสิทธิภาพได้มีการพัฒนาและปรับปรุงในด้านเทคโนโลยีมากขึ้น โดยการใช้เทคโนโลยีใหม่เพิ่มความสามารถในด้านกำลังการผลิตด้วย

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานนั้นสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตย่อย เปรียบเทียบการใช้พลังงานของเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต และทำการประเมินผลการใช้พลังงาน โดยสามารถนำค่าพลังงานของอุตสาหกรรมที่ได้ไปเปรียบเทียบค่ามาตรฐานที่ควรจะเป็นของเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นๆ

Howard Geller et al. (2004) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับนโยบายด้านประสิทธิภาพและสิ่งแวดล้อมในประเทศบราซิล โดยเริ่มต้นศึกษาตั้งแต่สาธารณูปโภคพื้นฐานที่เกี่ยวข้องตลอดจนข้อมูลด้านประชากรศาสตร์เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลเหล่านี้เข้าประเด็นการบริโภคพลังงานของประเทศ ทั้งนี้แผนที่สร้างขึ้นอาจมีจุดประสงค์แตกต่างกันออกไปตั้งแต่การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก จนไปถึงการลดปริมาณการบริโภคพลังงานในครัวเรือนเลยทีเดียว

Jaycint Sathaye , Lynn Price and David Fridley (2005) ได้เสนองานวิจัยในเรื่อง "Assessment of Energy Use and Energy Savings Potential in Selected Industrial Sectors in India" ในปี 2003 ประเทศอินเดียผลิตปูนซีเมนต์มากเป็นอันดับสองของโลก มีการผลิตเพิ่มขึ้นถึง 8.1% ของปี 1981-2003 ส่งผลให้การบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นตาม จึงทำให้เกิดการพัฒนาเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยแยกตามกระบวนการผลิต การพัฒนาต่อมาของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ดำเนินการปรับเปลี่ยนในอุตสาหกรรมมากขึ้น จึงทำให้ในขณะนั้นกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในอินเดียได้เป็นที่ยอมรับในเรื่องแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยมีการเข้าไปตรวจสอบประมาณ 50 รายการผลิตของประเทศอินเดีย พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 164 kcal/kg clinker และ 16.4 kWh/t cement ทำให้เกิดโอกาสที่จะประหยัดเงินลงทุนได้ถึง Rs. 4.40 – 66.20 million อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศอินเดียมีการพัฒนา และเติบโตเร็วมากโดยมีการปรับปรุงในด้านต่าง ๆ เพื่อจะสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพในเรื่องของพลังงาน และเทคโนโลยีที่ใช้โดยจัดทำโปรแกรม และกิจกรรมของโปรเจคในเรื่องพลังงานกระบวนการผลิตต่าง ๆ แนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด และมีการพัฒนาการบริโภคพลังงานโดยใช้เครื่องมือในการเทียบเคียงการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตสามารถทำให้ลดการใช้พลังงานของเทคโนโลยีลงได้

Kamala Ernest (2007) ทำการศึกษาวิจัยในเรื่อง Energy-use Benchmarks for the Cement Sector โดยนำข้อมูลการบริโภคพลังงานของบริษัทปูนซีเมนต์ในประเทศมาเลเซีย ทำการเทียบเคียงค่า SEC ที่โรงงานทำกับค่า SEC Benchmarks และค่าเฉลี่ยโดยรวมของบริษัททั้ง 3 บริษัทที่นำมาศึกษานั้นเท่ากับ 4.00 GJ/ton ซึ่งสูงกว่า SEC Benchmarks ที่มีค่าเท่ากับ 3.93 GJ/ton จากนั้นทำการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบริษัทปูนซีเมนต์ทั้ง 3 โดยนำมาตรการการปรับปรุงเข้ามาปรับใช้ดังนี้

- ใช้ biomass เป็นทางเลือกเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง
- Heat recovery จากเตาเผา สำหรับการบด และการอุ่นวัตถุดิบก่อนเข้าเตา
- Reduce the leakage and insulate pre-heater
- ประยุกต์ใช้ VSD กับมอเตอร์พัดลมและปั๊ม
- Reduce the leakage in compressed air system
- ปรับปรุงระบบขนส่งถ่านหินและนำกลับมาใช้ใหม่

หลังจากนำมาตรการเข้ามาปรับปรุงแล้วสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ และได้ผลของการประหยัดพลังงานมากกว่า 88 เปอร์เซ็นต์ จากเดิมก่อนการปรับปรุง

Mr. Shiban Ji Raina (2002) ศึกษาและวิจัยในเรื่อง ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT IN INDIAN CEMENT INDUSTRY กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศอินเดีย มีค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี ดังนั้นจึงได้มีการตรวจสอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและพบว่าส่วนใหญ่มาจากด้านพลังงานจึงได้ทำการศึกษาวิจัย และตรวจสอบเกี่ยวกับเทคโนโลยีในกระบวนการผลิต การบริโภคพลังงานเกิดขึ้นที่ไหนบ้าง และพบว่าการบริโภคพลังงานส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกระบวนการเผา เพราะใช้ทั้งพลังงานเชื้อเพลิง และพลังงานไฟฟ้า จึงได้จัดทำเกณฑ์มาตรฐานเพื่อใช้เทียบเคียงการบริโภคพลังงาน ในแต่ละระดับ สำหรับแต่ละกระบวนการผลิตย่อย ดังนั้นทางโรงงานจึงมีการศึกษาเพื่อทำมาตรการที่จะประหยัดพลังงาน มีการจัดการ และพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อนำไปสู่เป้าหมายการลงทุน และจากการทำการศึกษาวิจัยพบว่าสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายเรื่องพลังงานลดลง ส่งผลให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการพัฒนาและพยายามอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะลดการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนเพิ่มขึ้นอีก โดยวิธีการเพิ่มจิตสำนึกในเรื่องการประหยัดพลังงาน และปฏิบัติให้เกิดการแพร่หลายในทุก ๆ กระบวนการผลิต การควบคุมการผลิตทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การพัฒนาเรื่องพลังงานค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น และสามารถนำไปปรับปรุงในเรื่องค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ของกระบวนการผลิต

Spendolini MJ (1992) ได้ให้ความหมายของ Benchmarking ว่าเป็นกระบวนการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงขององค์กร ในอันที่จะพิจารณาว่า มีสภาพใดบ้างที่จะสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นกว่าเดิม และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับองค์กรอื่น แล้วนำความรู้ที่ได้มาจัดการวางแผนการปรับปรุงองค์กรของเรา ให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลดีขึ้น หรืออาจมองว่า เป็นกระบวนการเปรียบเทียบองค์กรกับหน่วยงานอื่น ในด้านต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะปรับปรุงให้ใกล้เคียง เพื่อเป็นผู้นำที่คนอื่นจะต้องใช้เราเป็น Benchmark ต่อไป

การทำ Benchmarking เริ่มเกิดที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี 2523 โดยเป็นกระบวนการบริหารธุรกิจ ที่มีกลยุทธ์เฉพาะตัว Benchmarking เป็นกระบวนการที่ได้จากการเรียนรู้จากผู้อื่น โดยการเปรียบเทียบกับหน่วยงานอื่นๆ ในส่วนต่างๆ ได้ โดยเป็นกระบวนการต่อเนื่อง ที่ใช้ระยะเวลาดำเนินการระยะยาว อย่างมีระเบียบแบบแผน โดยมีตัววัดความก้าวหน้า ในแต่ละระยะเวลาได้ Benchmarking process เป็นกลวิธีที่เป็นประโยชน์ ในการปรับปรุงองค์กรทุกประเภท ทั้งในภาครัฐ และภาคเอกชน

การทำ Benchmarking อาจเริ่มตั้งแต่การตั้งเป้าประสงค์ภายใน และหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น โดยเทียบกับภายในองค์กรของตนเอง แต่การกระทำดังกล่าว ไม่อาจให้ได้ผลดีนักถ้าไม่มีการเปรียบเทียบกับหน่วยงานอื่นที่มีการพัฒนาใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพื่อเป็นการผลักดันตนเอง ให้ทัดเทียมกับคนอื่นหรือเท่ากับว่าเราได้เรียนรู้การทำงานจากคนอื่น

United Nations Industrial Development Organization; UNIDO and Ministry of International Trade and Industry, MITI, Japan (1994) ได้เสนองานศึกษาและวิจัยเรื่อง Output of a Seminar on Energy Conservation in Cement Industry การอนุรักษ์พลังงาน คือ สิ่งสำคัญที่ควรสนใจซึ่งในปัจจุบันปัญหาเรื่องพลังงานเพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประเทศกำลังพัฒนาให้ความสนใจมากขึ้นถึงการใช้พลังงานที่ไม่มีประสิทธิภาพอย่างไรก็ตาม มักจะใช้พลังงานในขอบเขตตามข้อมูลที่มีอยู่ตามสัดส่วนที่หามาได้ ความรู้ในรูปแบบการประหยัดและการอนุรักษ์พลังงานถูกเผยแพร่ถึงรัฐบาลและผู้บริหาร โรงงาน มีผลที่ดีขึ้นถึงวิศวกรและพนักงานควบคุมเครื่องจักร ในประเทศที่กำลังพัฒนา โดยได้มีองค์ความรู้เรื่องเทคนิคของการใช้เทคโนโลยีให้อนุรักษ์พลังงาน

In December 1983, UNIDO ได้จัดตั้งการประชุมสำหรับการบริโภคพลังงานที่ดี กลุ่มในการประชุมที่มีความชำนาญในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมขนาดเล็กสำหรับประเทศในเอเชีย ระหว่างที่ประชุมได้มีการเสนอวิธีสำหรับการประหยัดพลังงาน โดยทำให้ประหยัดพลังงานได้ถึง 10% ซึ่งวิธีนี้สามารถให้ผลสำเร็จในการจัดการของกิจกรรมขั้นพื้นฐานและเป็นที่ยอมรับในระบบการจัดการพลังงาน

จากประสบการณ์ทั้งหมดที่ UNIDO ได้เสนอมาทำให้จัดโครงการที่สนับสนุนและเข้าร่วมเพื่อใช้เทคโนโลยีให้ประหยัดพลังงานในแต่ละแผนกและใช้พลังงานให้เป็นอัตราส่วนตามแต่ละแผนกเพื่อป้องกันการใช้พลังงานโดยสูญเปล่า ตัวอย่างอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความเคร่งครัดในการใช้พลังงานตามแผนกทำให้ใช้พลังงานออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั่นคืออุตสาหกรรมรมปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรมรมปูนซีเมนต์มีเปอร์เซ็นต์บริโภคในเรื่องพลังงานสูงสุดและค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานสูงที่สุดสำหรับทั้งกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ จากจำนวนของพลังงานที่สามารถประหยัด

ได้โดยป้องการรั่วของเตาเผา ปรับปรุงเครื่องมือทำความร้อนและความเย็นในกระบวนการผลิตอยู่เสมอทำให้ลดการสูญเสียในการใช้วัตถุดิบลงได้ด้วย

UNIDO ได้ส่งเสริมโครงการนี้และให้การสนับสนุนด้านการเงินของรัฐบาลญี่ปุ่นสำหรับประเทศกำลังพัฒนา โครงการนี้มีจุดประสงค์ปรับให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงของการใช้เทคโนโลยีให้ประหยัดพลังงานโครงงานจะพิจารณา

1. สำรวจควบคุมดูแลการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพในโรงงานทีละระดับ
2. เตรียมคู่มือในระบบการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ข้อมูลจากการสำรวจเป็นพื้นฐาน
3. เสนอและอภิปรายวิธีการสำหรับคณะรัฐบาล พนักงานเครื่องจักรและวิศวกร
4. เผยแพร่คู่มือวิธีการในประเทศกำลังพัฒนาสำหรับวิธีที่ถูกต้องทำให้เป็นประโยชน์และประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม

ประสบการณ์ที่ได้จากโครงการนี้ทำให้ภาคอุตสาหกรรมดีขึ้นในประเทศกำลังพัฒนา

- UNIDO เริ่มโครงการนี้กับโปรเจค US/RAS/90/075 – อัตราส่วนที่ใช้พลังงาน

ทรัพยากรเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเหล็กและอุตสาหกรรมสิ่งทอในมาเลเซียและอิโดนีเซียและโปรเจค US/RAS/92/035 –ใช้เทคโนโลยีอย่างประหยัดพลังงาน ของอุตสาหกรรมกระดาษและอุตสากรรมกระจกในฟิลิปปินและไทย และ US/RAS/93/039 - โปรเจคสำหรับการใช้ของเทคโนโลยีประหยัดพลังงานของอุตสาหกรรม เซรามิคและอุตสากรรมปูนซีเมนต์ในศรีลังกาและบังคลาเทศ

- เสนอวิธีการของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดย UNIDO ให้ความร่วมมือจากผู้ชำนาญ ในศูนย์อนุรักษ์ (ECC) ของประเทศญี่ปุ่น บนเทคโนโลยี อย่างประหยัดพลังงานในโครงร่างที่กล่าวถึงโปรเจค UNIDO เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานจากผลที่สำรวจข้อสังเกตจากโรงงานและคำแนะนำรวมถึงข้อเสนอแนะจากการสัมมนาเรื่องการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มีลักษณะที่เหมือนกับโปรเจคในเดือนพฤษภาคม 1994 ในDhaka บังคลาเทศและโคลัมเบีย ตัวแทนจากศรีลังกา วิธีการที่ไม่น่าสนใจสำหรับรัฐบาลและตัวแทนจากอุตสาหกรรมรูปแบบสำหรับวิศวกรระดับโรงงาน และพนักงานของประเทศกำลังพัฒนา ประยุกต์เครื่องมือเพื่อใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต

- การส่งเสริมเทคนิคการอนุรักษ์พลังงาน แต่ละอุตสาหกรรมเริ่มจากแนะนำการใช้ซอฟแวร์ในระบบควบคุมและกระบวนการผลิต จากนั้นแนะนำการแก้ไขพัฒนาการใช้ฮาร์ดแวร์ของเครื่องมือเครื่องใช้และกระบวนการผลิต สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

Step 1 – Good housekeeping

Step 2 – Equipment improvement

Step 3 – Process improvement

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศญี่ปุ่น มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากของกระบวนการผลิตจาก แบบเปียกเป็นแบบแห้งและใช้ระบบ NSP ในการเพิ่มการผลิต เมื่อต้นทุนของพลังงานของผลรวมกับค่าใช้จ่ายในการผลิตปูนซีเมนต์มาก การอนุรักษ์พลังงานเป็นสิ่งสำคัญในทางเทคนิคในการปรับปรุงแก้ไข ค่าใช้จ่ายการผลิตปูนซีเมนต์ที่มาใช้ในการผลิต การผลิตแบบเปียกไม่สามารถสู้การผลิตแบบแห้ง เมื่อนึกถึงด้านพลังงานที่ใช้ไป ทางด้านเทคนิคชั้นสูงของคุณภาพและการเพิ่มผลผลิตเหล่านี้ คือเหตุผลการนำเอากระบวนการแบบแห้งมาใช้ การปรับปรุงแก้ไขโรงงานผลิต ถึงแม้ว่า ต้องลงทุนสูง เวลาของการลงทุนของการปรับปรุงกระบวนการ ต้องเป็นไปอย่างรอบคอบ ได้แก่ความสำคัญของงบประมาณ เงื่อนไขของความยากลำบาก และทัศนะของตลาดปูนซีเมนต์

หลังจากนั้น การปรับปรุงกระบวนการ ของ "Good housekeeping" and 'equipment improvement" จะช่วยสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงานได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

3.1 ประวัติของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นที่รู้จักมาช้านานแล้วตั้งแต่สมัยอียิปต์ โดยการนำปูนขาว (Lime Mortar) ซึ่งได้จากการเผายิปซั่มหรือปูนปลาสเตอร์มาใช้เป็นปูนในการก่อสร้างปิรามิด และได้มีการนำปูนขาวผสมกับขี้เถ้าภูเขาไฟมาใช้ในการก่อสร้างต่าง ๆ

ในปี ค.ศ. 1756 John Smeaton วิศวกรชาวอังกฤษ ได้ค้นพบปูนขาวไฮดรอลิค (Hydraulic Lime) ซึ่งได้จากการเผาหินปูน (Limestone) ที่มีดินเหนียว (Clay) ปนอยู่ด้วยในเตาเผาและมีคุณสมบัติแข็งตัวได้ในอากาศและในน้ำ

ในปี ค.ศ. 1796 Joseph Parker ชาวอังกฤษได้จดสิทธิบัตรของ ปูนขาวไฮดรอลิค (Hydraulic Lime) โดยใช้ชื่อว่า Roman Cement

ในปี ค.ศ. 1810 Edger Dobbs ชาวอังกฤษได้จดสิทธิบัตร Artificial Roman Cement ซึ่งผลิตโดยใช้หินปูน ผสมกับ ดินเหนียว ทำให้เป็นก้อนเหมือนอิฐ แล้วนำไปเผาเพื่อไล่คาร์บอเนต (Carbonate)

ในปี ค.ศ. 1824 Joseph Aspdin ช่างก่ออิฐชาวอังกฤษได้จดสิทธิบัตรปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งผลิตโดยใช้หินปูน ผสมกับดินเหนียวนำไปเผาในเตาเผา และบดให้ละเอียดเมื่อผสมน้ำแล้วจะแข็งตัวมีสีเทาปนเหลืองคล้ายกับสีของหินบนเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ จึงให้ชื่อว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) และได้สร้างโรงงานผลิตขึ้นในปี ค.ศ. 1828

ในปี ค.ศ. 1887 เริ่มมีการพัฒนาเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln)

ในปี ค.ศ. 1930 ได้มีการพัฒนาเตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) จากแบบเปียกเป็นแบบ Semi – Wet โดยใช้ Grate Pre-heater

ในปี ค.ศ. 1953 เริ่มมีการพัฒนาใช้ Cyclone Pre-heater

ในปี ค.ศ. 1966 เริ่มผลิต Pre-calciner Kiln และเป็นระบบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

3.2 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย

การใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศไทย ได้ค้นพบหลักฐานทางประวัติศาสตร์ว่ามีการใช้ในการก่อสร้างมาตั้งแต่สมัยทวาราวดี โดยการนำเปลือกหอยมาบดกับดินขาว ผสมด้วยน้ำอ้อยหรือยางไม้หรือกาวจากหนังสัตว์

สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยมีจุดเริ่มต้นมาจากพระราชจินตนาการของพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 6 ที่ได้เสด็จไปศึกษา ณ ประเทศอังกฤษ และได้ทอดพระเนตรเห็นการก่อสร้างอาคารใหญ่ ๆ กับการพัฒนาตามแบบสมัยใหม่ ซึ่งการพัฒนาประเทศให้ทัดเทียมกับนานาประเทศได้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีโครงสร้างพื้นฐานด้านสาธารณูปโภคซึ่งจะมีงานด้านการก่อสร้างต่าง ๆ มากมาย วัสดุหลักที่ใช้ในงานก่อสร้างก็คือปูนซีเมนต์ ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้สูญเสียเงินตราเป็นจำนวนมาก จึงได้มีพระบรมราชโองการโปรดเกล้าฯ ให้เจ้าพระยายมราช (ปั้น สุขม) เสนาบดีกระทรวงนครบาลในขณะนั้น เป็นผู้ดำเนินการจัดตั้งบริษัท เพื่อดำเนินการผลิตปูนซีเมนต์ โดยให้พระคลังข้างที่เข้าร่วมถือหุ้นด้วยเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของหุ้นทั้งหมด และมีวัตถุประสงค์เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ เจ้าพระยายมราชได้เชิญข้าราชการชั้นผู้ใหญ่อีกหลายท่าน พร้อมทั้งชาวต่างประเทศร่วมกันเป็นคณะผู้ก่อตั้ง และได้จดทะเบียนเป็นบริษัทจำกัดเมื่อวันที่ 8 ธันวาคม 2456 โดยใช้ชื่อว่า “บริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัดสินใช้” โรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งแรก คือ โรงงานบางซื่อ เริ่มทำการผลิตเมื่อปี 2458 เนื่องจากความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ได้เพิ่มขึ้น จึงมีการก่อสร้างโรงงานผลิตปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ช่วงเวลาที่บริษัทต่าง ๆ เริ่มผลิตปูนซีเมนต์

ปี พ.ศ.	ผู้ผลิตปูนซีเมนต์
2458	บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด โรงงานบางซื่อ
2491	บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด โรงงานท่าหลวง
2499	บริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด
2509	บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด โรงงานทุ่งสง
2511	บริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด โรงงานที่ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี
2514	บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด โรงงานแก่งคอย
2515	บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด อ.แก่งคอย จ.สระบุรี
2524	หยุดผลิตที่โรงงานบางซื่อ ของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด
2535	บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด โรงงานเขาวง บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด บริษัท ไทยสถาปนา จำกัด
2536	บริษัทปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด บริษัท สระบุรีซีเมนต์ จำกัด
2537	บริษัท สามัคคีซีเมนต์ จำกัด
2539	บริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด โรงงานลำปาง

3.3 โครงสร้างอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่ต่อเนื่องจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ โดยทำหน้าที่เปลี่ยนแร่หิน ไปเป็นปูนซีเมนต์หรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากปูนซีเมนต์จะนำไปใช้เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานของอุตสาหกรรมก่อสร้าง จึงทำให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจ

รูปที่ 3.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

3.3.1 โครงสร้างต้นทุนการผลิต ต้นทุนการผลิตปูนซีเมนต์ ประกอบด้วย ค่าพลังงาน ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่าบรรจุภัณฑ์ ค่าใช้จ่ายในการผลิตอื่น โดยมีรายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดต้นทุนการผลิต

รายการ	ร้อยละ
ค่าพลังงาน	44
ค่าวัตถุดิบ	15
ค่าแรงงาน	19
ค่าบรรจุภัณฑ์	11
ค่าใช้จ่ายในการผลิตอื่น	11
รวม	**100**

อ้างอิง : วิรศักดิ์ ทองทา, "โครงสร้างอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทย" ,2543

พบว่า ต้นทุนด้านพลังงานมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 44 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ดังนั้นราคาปูนซีเมนต์จึงขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นสำคัญ หากต้นทุนด้านพลังงานสูงขึ้นย่อมส่งผลให้ผู้ผลิตมีการปรับราคาปูนซีเมนต์ให้สูงขึ้นตามไปด้วย

3.3.2 โครงสร้างการตลาด โดยทั่วไปประกอบด้วยผู้เกี่ยวข้อง คือ ผู้จำหน่ายวัตถุดิบ ผู้ผลิต ตัวแทนจำหน่าย ผู้ค้าส่ง ผู้ค้าปลีก และผู้บริโภค ซึ่งการพิจารณาภาวะการแข่งขันในตลาดจำเป็นต้องคำนึงถึงสถานะของบุคคลดังกล่าวว่าเป็นลักษณะอย่างไร เช่น ผู้ผลิตเป็นผู้จำหน่ายวัตถุดิบเพียงผู้เดียวหรือไม่ และเป็นผู้ผูกขาดในแหล่งวัตถุดิบหรือไม่ หรือผู้ผลิตทำหน้าที่ทั้งผลิต

และจัดจำหน่ายสินค้าไปพร้อมกันหรือไม่ ซึ่งโครงสร้างตลาดเหล่านี้จะสะท้อนถึงความร่วมมือกันในการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อให้เกิดผลประโยชน์ร่วมกัน หรือมีการแข่งขันเอื้อประโยชน์ให้แก่ผู้บริโภคได้

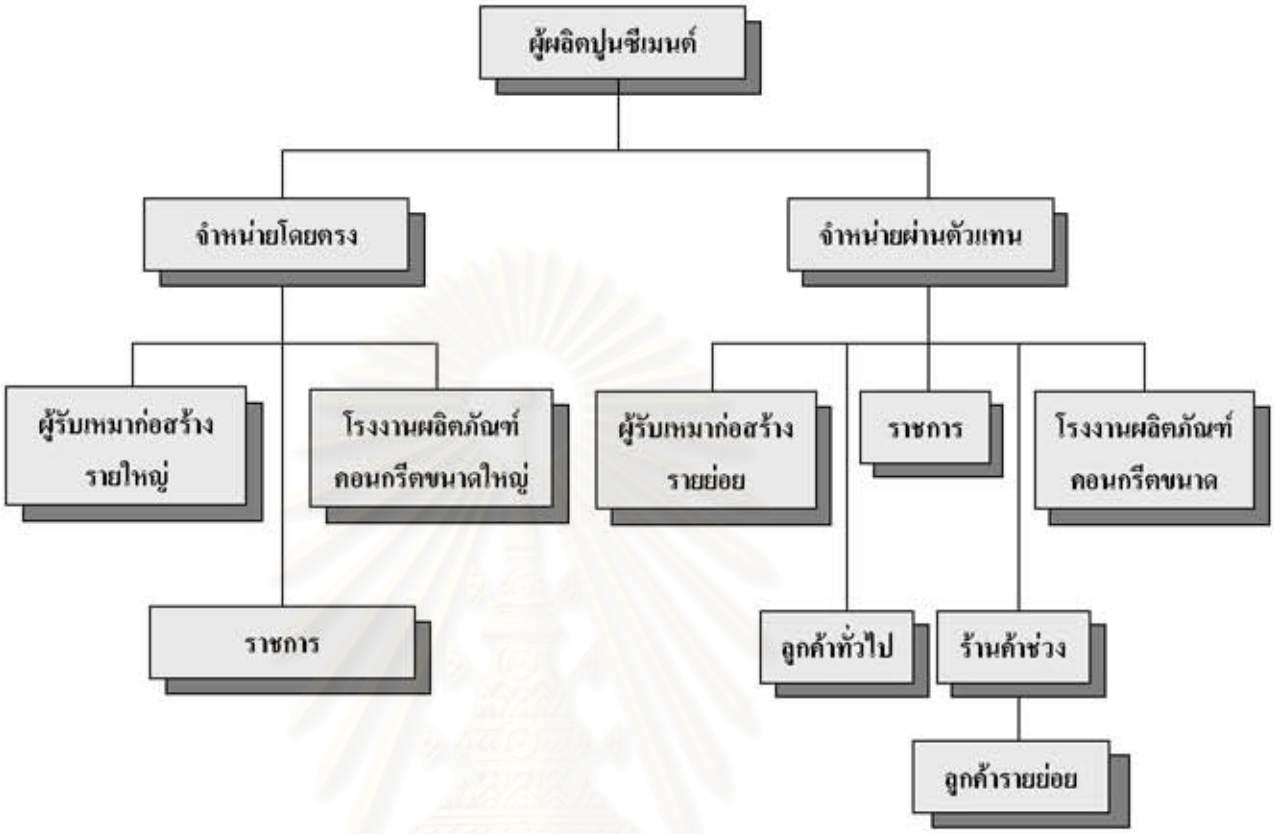
สำหรับตลาดปูนซีเมนต์ควรต้องคำนึงถึงปัจจัยทั้งหมดข้างต้นเช่นกัน โดยพิจารณารายละเอียดของระบบการจัดจำหน่าย ดังนี้

ระบบการจัดจำหน่ายของผู้ผลิตปูนซีเมนต์แต่ละรายจะมีลักษณะเหมือนกัน โดยสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

1. หน่ายโดยตรง เป็นการจำหน่ายให้แก่ลูกค้าโดยตรง ซึ่งจะเป็นผู้ใช้รายใหญ่ เช่น ผู้รับเหมาก่อสร้าง และโรงงานผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น ซึ่งราคาที่ซื้อจากผู้ผลิตจะแพงกว่าที่ซื้อจากตัวแทนจำหน่าย แต่ลูกค้าเหล่านี้จะได้รับส่วนลดและโปรแกรมการส่งเสริมการขายจากผู้ผลิตแทน

2. จำหน่ายผ่านตัวแทน ผู้ผลิตปูนซีเมนต์ทุกรายไม่มีการถือหุ้นหรือเป็นเจ้าของในตัวแทนจำหน่ายของตน เพียงแต่จะแต่งตั้งผู้ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเป็นตัวแทนการจัดจำหน่ายของตนเท่านั้น เพื่อทำหน้าที่ขายและกระจายสินค้าไปยังแหล่งต่าง ๆ โดยผู้ผลิตจะให้ส่วนลดการค้า เครดิตทางการค้า และ รายการส่งเสริมการขายต่าง ๆ แก่ตัวแทนจำหน่ายเป็นสิ่งจูงใจ อนึ่งบริษัทปูนซีเมนต์ไทยเป็นบริษัทแรกที่ได้ริเริ่มทำระบบตัวแทนจำหน่าย (Dealer Network) ทำให้มีโครงข่ายการจัดจำหน่ายผ่านตัวแทนที่เข้มแข็ง เพราะบริษัทปูนซีเมนต์ไทยได้สร้างความสัมพันธ์อันดีกับตัวเทนเป็นระยะเวลานาน ซึ่งในปัจจุบันมีตัวแทนอยู่ประมาณ 700 ราย ส่วนบริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงมีตัวแทนประมาณ 1,000 ราย และบริษัทที่พีไอมีประมาณ 500 ราย โดยตัวแทนจำหน่ายเหล่านี้มีช่องทางการจำหน่ายหลายทาง เช่น ผ่านร้านค้าช่วงหรือขายให้แก่ลูกค้าโดยตรง ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ระบบการจัดจำหน่ายปูนซีเมนต์

พบว่า สัดส่วนปริมาณการจำหน่ายปูนซีเมนต์โดยตรงต่อการผ่านตัวแทนจำหน่ายโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 ต่อ ร้อยละ 80 แต่ผู้ผลิตรายใหญ่อาจมีการขายผ่านโดยตรงมากกว่าผู้ผลิตขนาดกลางและขนาดเล็ก เนื่องจากผู้ใช้ประเภทโครงการขนาดใหญ่ต้องการซื้อตรงจากผู้ผลิตรายใหญ่มากกว่า เพราะมีความแน่นอนสูงในการจัดส่งสินค้าให้ทันเวลา เช่น บริษัทปูนซีเมนต์ไทยมีการจำหน่ายโดยตรงต่อการจำหน่ายผ่านตัวแทนเป็นสัดส่วน 20:80 และบริษัทสามัคคีซีเมนต์เป็น 5:95 อย่างไรก็ตาม สัดส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลานั้นมีความต้องการจากส่วนโครงการก่อสร้างหรือจากตัวแทนจำหน่ายมากกว่ากัน

3.4 การจัดกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ในการจำแนกกลุ่มอุตสาหกรรมนอกจากจะต้องมีการจำแนกตามกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีแล้ว เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลทางเศรษฐกิจอื่นๆ ของประเทศ รหัสที่ใช้จัด

กลุ่มอุตสาหกรรมจึงควรเป็นรหัสเดียวกับรหัสของกลุ่มอุตสาหกรรมที่ใช้ในฐานข้อมูลเศรษฐกิจอื่นๆ โดยที่ประเทศไทยเป็นสมาชิกของการจัดประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมสากลขององค์การสหประชาชาติ (International Standard Industrial Classification :ISIC) และได้มีการกำหนดมาตรฐานการจัดกลุ่มอุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับ ISIC เรียกว่า กิจกรรมการผลิตของประเทศตามประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย (Thailand Standard Industrial Classification :TSIC) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็น TSIC 2001 เนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศไทย มีเฉพาะกระบวนการผลิตแบบแห้ง (Dry Process) จึงไม่จำเป็นต้องมีการจำแนกตามกระบวนการผลิต และจากการประกอบกิจการที่รายงานภายใต้ TSIC 2694 (หรือ 3692 ตาม TSIC เดิม) ประกอบด้วย โรงงานที่ผลิตตั้งแต่เม็ดปูน (Clinker) ซีเมนต์และจำหน่าย โรงงานที่ซื้อเม็ดปูนเพื่อผลิตซีเมนต์และจำหน่ายรวมถึงโรงงานที่ซื้อซีเมนต์ผงมาบรรจุถุง ซึ่งโรงงานทั้ง 3 ประเภทมีเกณฑ์การใช้พลังงานที่แตกต่างกัน จึงเสนอให้แยกโรงงานทั้ง 3 ประเภทออกจากกัน ดังนั้นในการกำหนดรหัสสำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงานระหว่างกันมีการกำหนดรหัส 4-5 ตำแหน่ง แยกตาม TSIC 2001 โดยใช้รหัสประกอบที่ขึ้นต้นด้วยอักษร E เพื่อแสดงว่าเป็นการจัดกลุ่มโดยอ้างอิงกับพลังงาน ตัวเลขหลังอักษร E จะเป็นรหัสแทนกระบวนการผลิต ส่วนความแตกต่างของพลังงานตามเทคโนโลยีจะใช้วิธีการปรับแก้ค่า ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption :SEC) เพื่อใช้เทียบกับ ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานอ้างอิง (SEC Ben marking) โดยใช้รหัสเป็น

2694 – E 01 หมายถึง โรงงานที่ผลิตเม็ดปูนและซีเมนต์

2694 – E 02 หมายถึง โรงงานที่ผลิตซีเมนต์โดยไม่ผลิตเม็ดปูน

2694 – E 03 หมายถึง โรงงานที่รับซีเมนต์ผงบรรจุถุงจำหน่าย

3.4.1 การจำแนกประเภทของปูนซีเมนต์

จำแนกประเภทของปูนซีเมนต์ตามลักษณะการใช้งาน ออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ ได้แก่

1. ปูนซีเมนต์สำหรับงานโครงสร้างและงานหล่อผลิตภัณฑ์คอนกรีต
2. ปูนซีเมนต์สำหรับงานก่อ
3. ปูนซีเมนต์สำหรับงานพิเศษ

3.4.2 ชนิดของปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) วัตถุชนิดนี้พบครั้งแรกที่เมืองปอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษ ปูนซีเมนต์แลนด์ประกอบด้วย หินปูน (Limestone) และดินเหนียว (Clay) เป็นส่วนใหญ่นอกจากนี้ก็มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และโคโลไมต์ ($MgCo_3$) เป็นจำนวน

เล็กน้อย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาในบ้านเราที่ใช้กันทั่วไป ปกติจะมีสีเทาแกมเขียว (Greenish gray) และมันน้ำหนักประมาณ 92 ปอนด์/ฟุต^3 เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียมซิลิกอน อลูมิเนียม และ เหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันทางเคมี และรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ด ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก

สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อของสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรแคลเซียม ซิลิเกต	3 CaO. SiO_2	C_3S
ไดแคลเซียม ซิลิเกต	2 CaO. SiO_2	C_2S
ไตรแคลเซียม อะลูมิเนต	3 CaO. Al_2O_3	C_3A
เตตตราแคลเซียม อะลูมิโน เฟอไรต์	4 CaO. Al_2O_3. Fe_2O_3	C_4AF

C_3S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้เร็วภายใน 14 วัน

C_2S ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงได้ช้า ความร้อนเกิดขึ้นบ่อย

C_3A ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาเริ่มแข็งตัวเกิดความร้อนสูง มีกำลังรับแรงเร็ว

C_4AF มีผลน้อย ให้ความแข็งแรงเล็กน้อยเติมเข้าไปเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น

จำนวนสารประกอบที่อยู่ในปูนซีเมนต์ทำให้คุณสมบัติของปูนซีเมนต์เปลี่ยนไป เช่น ทำให้ปูนซีเมนต์มีกำลังรับแรงเร็วหรือช้า ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวอาจเร็วขึ้นหรือช้าลง ความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์อาจสูงหรือต่ำ เป็นต้น

ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ATM.C.150) (Type I-V) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (ม.อ.ก. 15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภทคือ

1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Normal Portland Cement) ใช้สำหรับลักษณะงานธรรมดาที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ

1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ต้องการลดอุณหภูมิเนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง งานคอนกรีตเหลา หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงดินหนา ๆ หรือท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ๆ ตอม่อ

1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความแข็งแรงสูงโดยเร็ว (High-Early-Strength-Portland Cement) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ให้กำลังสูงในระยะแรกมีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีประโยชน์สำหรับคอนกรีตที่จะต้องใช้งานเร็ว หรือรื้อแบบได้เร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น และคานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น

1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) สามารถลดปริมาณความร้อนเนื่องจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำซึ่งจะสามารถลดการขยายตัวและหดตัวของคอนกรีตภายหลังการแข็งตัว ใช้มากในการสร้างเขื่อน เนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่างานชนิดอื่นไม่เหมาะสำหรับโครงสร้างทั่วไปเพราะแข็งตัวช้า

1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) ใช้ในบริเวณที่น้ำหรือดิน มีค่าด่างสูง มีระยะการแข็งตัวช้า และมีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง

นอกจากนี้ยังมีปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ๆ อีก เช่น Portland Pozzolana Cement ซึ่งเหมาะสำหรับงานอาคารคอนกรีตในทะเล ปูนซีเมนต์ผสมซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ซิลิกา (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดากับทราย 25 – 30%) ได้แก่ ปูนซีเมนต์ดราเสือ ตรางูเห่า และตรานกอินทรีย์ มีราคาถูก แข็งตัวช้า ไม่ยึดหรือหดตัวเหมาะกับงานก่ออิฐ ทำถนน เทพื้น ตอม่อ หล่อท่อ เทภาชนะคอนกรีต กระเบื้องมุงหลังคา และตึกแถว เป็นต้น

2. ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ (Natural Cement) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ทำจากหินที่ขุดได้ในดินซึ่งมีส่วนผสมคล้าย ๆ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อยู่แล้ว โดยเอาหินนี้มาเผา แต่การเผาไม่ใช้ความร้อนสูงแบบเผาทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเผาแล้วเอาบดเป็นผง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้มีคุณภาพ แข็งในน้ำได้เหมือนกัน แต่มีกำลังต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากและมีส่วนผสมไม่แน่นอน เป็นไปตามแต่คุณสมบัติของหินที่ได้จากธรรมชาติ

3. ปูนซีเมนต์พอซโซลานา (Pozzolana Cement) ปูนซีเมนต์พอซโซลานาบางครั้งเรียกว่า ปูนซีเมนต์แล็ก (Slag Cement) ทำโดยเอาปูนขาวและกาก (slag) จากเตาเผาเหล็กหรือ พอซโซลานาซึ่งเกิดตามธรรมชาติและพวกหินภูเขาไฟมาผสมกันแล้วบดให้ละเอียด ปูนซีเมนต์ที่ชาวโรมันในสมัยโบราณใช้ก็เป็นปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ไม่แข็งเท่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่เมื่อผสมเป็นปูนก่อหรือคอนกรีตแล้วจะเหนียวดี และแตกยากกว่าปูนก่อหรือคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ได้ดีในงานที่อยู่ในน้ำเค็มและเหมาะสำหรับใช้ในน้ำทะเลหรือในที่ชื้นแฉะ เช่น ฐานราก ท่อน้ำ และงานใต้ดินทั่ว ๆ ไป

4. ปูนซีเมนต์อะลูมินัส (Aluminous Cement) ปูนซีเมนต์อะลูมินัสทำขึ้นครั้งแรกในฝรั่งเศสโดยเอาบอกไซต์ (Bauxite) ซึ่งเป็นแร่ที่มีอะลูมินามากและราคาแพงมาผสมกับปูนขาวแล้วเผา หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดเช่นเดียวกับการทำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังเร็ว คอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อหล่อแล้วได้ 24 ชั่งโมง และมีกำลังเท่ากับคอนกรีตซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3 เดือน เสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งหล่อด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้อาจนำมาใช้ตอกได้เมื่อหล่อได้เพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น

ปูนซีเมนต์ชนิดนี้เมื่อนำไปใช้ในประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวมากก็ใช้ได้โดยไม่ต้องป้องกันความหนาวแบบปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อเอาปูนซีเมนต์ชนิดนี้ผสมน้ำจะทำให้เกิดความร้อนมาก ซึ่งเป็นการป้องกันไม่ให้คอนกรีตแข็งด้วยความเย็นจัดเสียก่อน คอนกรีตซึ่งผสมด้วยปูนซีเมนต์นี้เมื่อแข็งแล้ว (ระหว่าง 4 – 6 ชั่วโมง) ต้องรดน้ำหรือคลุมให้ชื้นอยู่เสมอจนครบ 24 ชั่วโมง เพื่อชดเชยน้ำที่ระเหยไปโดยความร้อนอันเกิดขึ้นในขณะที่คอนกรีตกำลังแข็งตัว

5. ปูนซีเมนต์ซิลิกา (Sillica Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งนำมาผสมกับทรายเพื่อให้ราคาถูกลง โดยบดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเม็ด 70 เปอร์เซ็นต์ ผสมทราย 30 เปอร์เซ็นต์ และผสมยิปซัมลงไปด้วยเล็กน้อย อังกฤษและประเทศต่าง ๆ ในยุโรปส่วนมากก็ผลิตปูนซีเมนต์ชนิดนี้ขึ้นใช้กันอย่างแพร่หลาย ในประเทศที่ไม่ค่อยมีเชื้อเพลิงธรรมชาติใช้มักนิยมปูนซีเมนต์ชนิดนี้มากเพราะใช้เชื้อเพลิงในการผลิตน้อยกว่าการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาตรฐานของปูนซีเมนต์ซิลิกาส่วนมาก กำหนดส่วนต่ำสุดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งใช้ผสมไว้ 50 เปอร์เซ็นต์

3.5 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

การผลิตปูนซีเมนต์มีทั้งแบบเผาแห้ง (Dry process) กึ่งแห้ง (Semi-dry process) และแบบเผาเปียก (Wet-process) กระบวนการผลิตซีเมนต์ที่มีในโลกนี้แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1. กระบวนการผลิตแบบเปียก เป็นกระบวนการเอาหินปูนผสมดินและน้ำให้มีความชื้นประมาณ 30-40% และ นำน้ำดินไปเผาจนได้เม็ดปูน กรรมวิธีนี้เป็นแบบดั้งเดิม เสียค่าใช้จ่ายสูง มีการสูญเสียมาก ผลผลิตต่ำ

2. กระบวนการผลิตแบบกึ่งแห้ง เป็นกระบวนการเอาหินปูนผสมดินและน้ำให้มีความชื้นประมาณ 13-14% และ นำน้ำดินไปเผาจนได้เม็ดปูน

3. กระบวนการผลิตแบบแห้ง ในการผลิตปูนซีเมนต์เผาแห้งมีกรรมวิธีเป็นขั้น ๆ คือนำวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินาและธาตุซิลิกาซึ่งมีอยู่มากในดินดำ กับเหล็กซึ่งมีอยู่มากในศิลาแดง มาผสมกันตามสัดส่วน บดให้ละเอียด แล้วนำไปเผาในหม้อเผา (Cement Kiln) จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจับกันเป็นเม็ดเล็กที่เรียกว่า ปูนเม็ด (Clinker)

สำหรับประเทศไทยใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง ในการผลิตปูนซีเมนต์มีกรรมวิธีเป็นขั้นๆ คือนำวัตถุดิบที่มีธาตุอะลูมินาและธาตุซิลิกาซึ่งมีอยู่มากในดินดาน กับเหล็กซึ่งมีอยู่มากในดินลูกรัง มาผสมกันตามสัดส่วน บดให้ละเอียดและนำไปเผาในหม้อเผา (Cement kiln) จนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาทางเคมีจับกันเป็นเม็ดเล็กที่เรียกว่า ปูนเม็ด (Clinker) ขั้นตอนกระบวนการผลิตที่สำคัญ

ในการผลิตปูนซีเมนต์แสดงดังรูปที่ 3.2 ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง สามารถแบ่งได้ 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

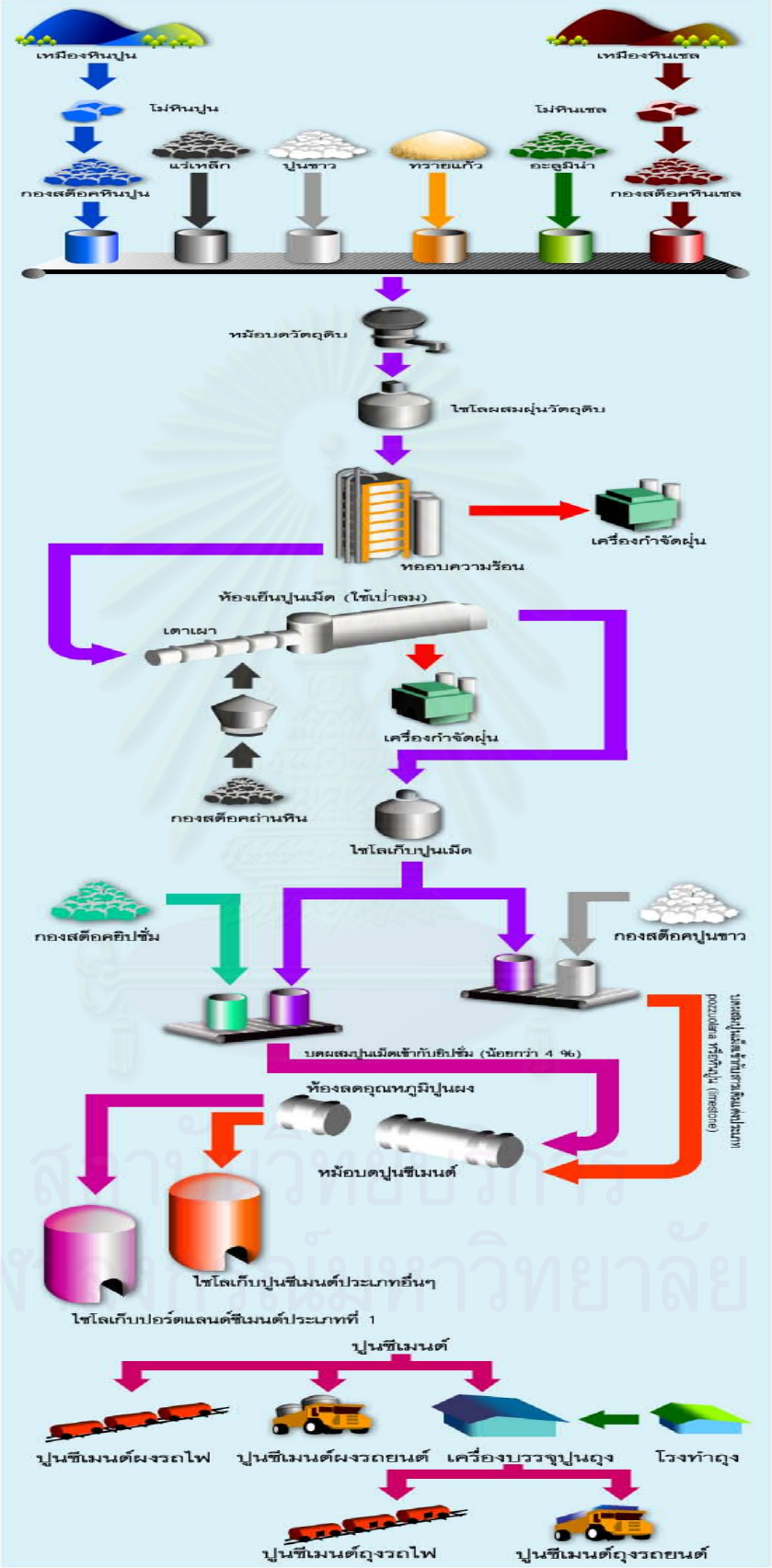
ขั้นตอนที่ 1 การทำเหมืองและการเตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบที่จำเป็นในการผลิตซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ วัตถุดิบที่มีแคลเซียมสูง (Calcareous Materials) เช่น หินปูน ชอล์ก เป็นต้น และวัตถุดิบที่มีซิลิกาสูง (Argillaceous Materials) เช่น ดินเหนียว เริ่มต้นจากการระเบิดเหมือง เพื่อนำเอาหินปูน (Limestone) มาเป็นวัตถุดิบผสมกับวัตถุดิบอื่นได้แก่ ดินขาว ดินดานและดินลูกรัง ในสัดส่วนที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตปูนซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 2 การบดวัตถุดิบ หินปูนที่ได้มาจากเหมืองจะถูกนำมาป้อนเข้าเครื่องบดหยาบ (Crusher) เพื่อทำการบดย่อยขนาด โดยหินปูนที่บดแล้วและส่วนผสมอื่นๆถูกนำไปเก็บไว้ที่ถังเก็บวัตถุดิบเพื่อรอการนำไปบดผสมในสัดส่วนที่เหมาะสมจนได้ออกมาเป็นวัตถุดิบสำเร็จ (Raw meal) แล้วจึงนำไปเก็บสะสมไว้ในไซโลเก็บวัตถุดิบสำเร็จ

ขั้นตอนที่ 3 การเผาวัตถุดิบ ถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงจะถูกนำเข้าเครื่องบดหยาบ (Crusher) บดละเอียด (Coal mill) อบแห้งด้วยอากาศร้อน (Hot air) ซึ่งสร้างขึ้นจากเตาเผาถ่านหิน (Coal-fired furnace) จากนั้นจะถูกส่งไปยังเตาเผา (Kiln) และ เผาให้เป็นผง (Calciner) วัตถุดิบสำเร็จจะถูกป้อนผ่านเครื่องอุ่นความร้อน (Pre-heater) แบบ 5 ระดับ(stage) และผ่านไซโล (Cyclone) ซึ่งอยู่ส่วนบนสุดของเตาเผา ผงถ่านหินจะพ่นจากด้านหน้าเตาเผาไหม้ ถ่ายเทความร้อนให้วัตถุดิบสำเร็จที่ไหลสวนทางจากด้านบนลงมาจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อไหลเข้าเตาเผา รับความร้อนภายในเตาวัตถุดิบสำเร็จจะเปลี่ยนสภาพเป็นปูนเม็ดเมื่อเคลื่อนที่ถึงหน้าเตาเผา ปูนเม็ดมีอุณหภูมิสูง 1,400^{o}C จะถูกทำให้เย็นลงด้วยตัวลดอุณหภูมิ(Clinker Cooler) ซึ่งอากาศจากภายนอกไหลเข้าและถ่ายเทความร้อนจากปูนเม็ดกลายเป็นลมร้อนซึ่งบางส่วนจะนำกลับไปใช้ในการสันดาปในเตาเผาอีกครั้ง (เพื่อประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศ) ส่วนปูนเม็ดที่ถูกทำให้เย็นแล้วจะถูกนำไปเก็บในไซโลเพื่อรอการนำไปบดเป็นปูนซีเมนต์

ขั้นตอนที่ 4 การบดปูนซีเมนต์ ปูนเม็ดที่เก็บไว้จะถูกป้อนเข้าเครื่องบด (Cement ball mill) เพื่อบดผสมกับยิปซัมตามสัดส่วน จนกลายเป็นซีเมนต์ จากนั้นซีเมนต์ที่ได้จะถูกเก็บรวมไว้ในถุงกรอง (Bag filter) แล้วนำไปไว้ในไซโลเก็บซีเมนต์ (Cement silo)

ขั้นตอนที่ 5 การบรรจุและขนส่งปูนซีเมนต์ ลำเลียงปูนซีเมนต์เก็บไว้ในไซโล ผงปูนนี้ส่วนใหญ่จะสามารถร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 จากนั้นซีเมนต์ที่ได้จะถูกเก็บรวมไว้ในถุงกรอง แล้วนำไปไว้ในไซโลเก็บปูนซีเมนต์เพื่อรอการนำไปบรรจุขาย



รูปที่ 3.3 ผังกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

3.5.1 วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

1.วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของปูนขาว (Line Component) เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate. $CaCo_3$) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณ 85 - 95 % ตัวอย่างวัตถุเหล่านี้ตามธรรมชาติ ได้แก่ หินปูน (Limestone) ชอล์ก (Chalk) และ ดินขาว (Marl)

2. วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของดินดำ (Clay) เป็นวัตถุดิบที่มีส่วนประกอบทางเคมีของซิลิคอน ไดออกไซด์ (Silicon Dioxide, SiO_2) อะลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide, Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric Oxide, Fe_2O_3) ตัวอย่างวัตถุเหล่านี้ตามธรรมชาติ ได้แก่ ดินดำ (Clay) และ ดินดาน (Shale)

3. วัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติ (Corree tive Materials) เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเพิ่มเติม สารประกอบบางตัวซึ่งมีไม่เพียงพอในดินดำ หรือดินดาน วัตถุดิบเหล่านี้ได้แก่ ทราย (ในกรณีที่ต้องการซิลิคอนไดออกไซด์) แร่เหล็ก หรือดินลูกรัง (ในกรณีที่ต้องการเฟอร์ริกออกไซด์) และดินอะลูมินา (ในกรณีที่ต้องการอะลูมินัม ออกไซด์) เป็นต้น

ตารางที่ 3.3 ประเภทวัตถุดิบ

ประเภทของวัตถุดิบ	รายละเอียด
1.Calcareous Materials	เป็นวัตถุดิบที่มีองประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต(calcium carbonate)หรือ$CaCo_3$ ตั้งแต่ 80%ขึ้นไป เช่น หินปูน(Limestone) ดินขาว(Marl) และดินสอพอง(Chalk)เป็นต้น
2.Argillaceous Materials	เป็นวัตถุดิบที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Silicon dioxide หรือ SiO_2) อลูมิน่า (Aluminum oxide หรือ Al_2O_3) และเหล็ก (Iron oxide หรือ Fe_2O_3)เป็นส่วนใหญ่ เช่นดินดาน(Shale) และดินดำหรือดินเหนียว(Clay)เป็นต้น
3.Corrective Materials	เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับเพิ่มเติมองค์ประกอบทางเคมีบางตัวซึ่งในดินดานหรือดินดำ มีปริมาณไม่เพียงพอเช่น • เพิ่ม Sio_2:ทราย(Sand) • เพิ่ม Al_2O_3:ดินแดง(High Alumina Clay) • เพิ่ม Fe_2O_3:แร่เหล็ก(Iron Ore)และดินลูกรัง(Late rite)
4.Additive Materials	เป็นสารผสมที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่สำคัญคือ การเติมยิปซั่มเพื่อช่วยยืดระยะเวลาการแข็งตัว ปรับปรุงคุณสมบัติการหดตัวและพัฒนากำลังอัดของปูนซีเมนต์ กรณี ปูนซีเมนต์ผสม มีการเติมหินปูน เพื่อช่วยลดการหดตัว ซึ่งช่วยลดรอยแตกร้าว นอกจากนี้ยังอาจมีการผสมสารผสมเพิ่มชนิดอื่นๆ เช่น สารปาซโลซานGGBS สารลดน้ำและสารกระจายกักฟองอากาศ เป็นต้น

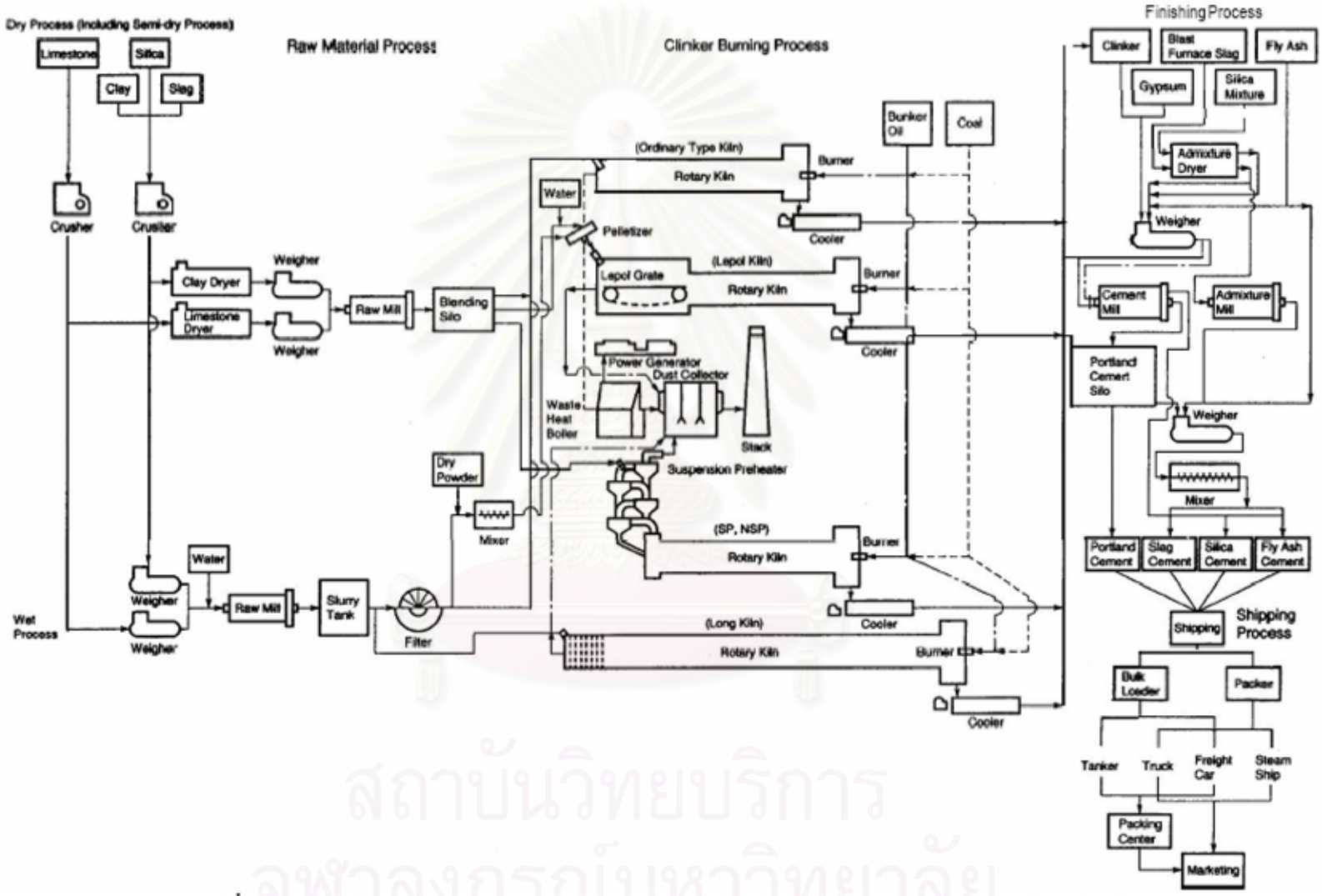
3.6 เทคโนโลยีการผลิตในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

3.6.1 การบริโภคพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต

อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์มีโครงสร้างการผลิตที่ประกอบด้วย กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การเผาวัตถุดิบเพื่อผลิตปูนเม็ด และกระบวนการบดปูนเม็ดเพื่อผลิตปูนซีเมนต์

3.6.1.1 การเตรียมวัตถุดิบ เพื่อทำการบดย่อยขนาดของวัตถุดิบ วัตถุดิบคือหินปูน(Lime Stone) ดินเหนียว(Clay)เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3)เช่นจากดินลูกรัง โคโลไมต์($MgCo_3$) และทราย(Silica)เป็นจำนวนเล็กน้อย โดยจะประกอบด้วยการบดหยาบและการบดละเอียด แล้วได้วัตถุดิบสำเร็จออกมา ในกระบวนการนี้จะใช้เฉพาะพลังงานไฟฟ้าในการบดวัตถุดิบ วัตถุดิบแต่ละชนิดถูกนำมาบดด้วยเครื่องบดหยาบ (Crusher) ทำให้แห้ง ชั่งน้ำหนักตามสัดส่วนการผลิต ผสมให้เข้ากันเรียกวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal)แล้วนำไปเก็บในไซโลเก็บวัตถุดิบสำเร็จ เพื่อรอนำไปใช้ กระบวนการบดจะใช้อุปกรณ์บดหยาบ (Crusher)ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า กระบวนการบดจะนำอุปกรณ์บดหยาบ (Crusher) มาใช้ร่วมกันกับอุปกรณ์อื่นเกิดเป็นกระบวนการบดวัตถุดิบ (Raw material Grinding System) สามแบบ แสดงในรูปที่ 3.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

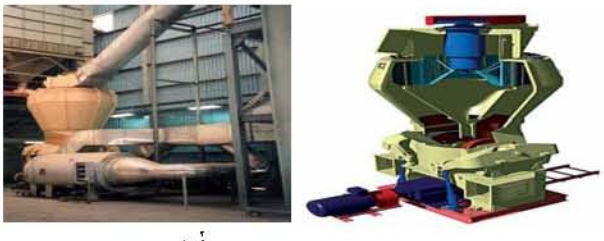


รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ของกระบวนการ 1. เตรียมวัตถุดิบ 2. ผลิตปูนเม็ด และ 3. ผลิตปูนซีเมนต์จากปูนเม็ด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- กระบวนการบดวัตถุดิบแบบวงจารเปิด (Open Circuit) วัตถุดิบจากถังเก็บถูกนำมาอบแห้ง บด แล้วเก็บในถังเก็บ (Storage Tank) เพื่อรอส่งเข้ากระบวนการอุ่นความร้อน (Pre-heater) ฝุ่นจากกระบวนการบดจะไม่มีอุปกรณ์ดัก ถูกปล่อยออกบรรยากาศ จัดเป็นกระบวนการบดแบบดั้งเดิม
- กระบวนการบดวัตถุดิบแบบวงจรปิด (Closed Circuit) โดยการเพิ่มตัวคัดแยกวัตถุดิบ (Separators) ภายหลังการบด แต่ยังไม่ได้ขนาดจะเก็บไว้ที่ Collector การอบแห้งวัตถุดิบจะรวมอยู่ภายในเครื่องบด (Mill) วัตถุดิบที่ผ่านกระบวนการบดนำไปเก็บที่ถังเก็บ (Storage Tank)
- กระบวนการบดวัตถุดิบแบบวงจร (Closed Circuit) ชนิดอนุรักษ์พลังงาน เครื่องบด (Crusher) ได้รับการออกแบบใหม่เรียก Energy Efficient Vertical Roller Mill (VRM) ที่ภายในอุปกรณ์มีตัวคัดแยกวัตถุดิบที่ไม่ได้ขนาดมาบดซ้ำ ฝุ่นที่เกิดขึ้นมีตัวเก็บไม่ปล่อยออกบรรยากาศ วัตถุที่ผ่านการบวนการบดนำไปเก็บที่ถังเก็บ

อุปกรณ์บดวัตถุดิบ(Crusher)แบบดั้งเดิมเป็นรูปทรงกระบอกเรียก Tube Mill หรือ Ball Mill ที่ภายในบรรจุลูกบอลเหล็กจำนวนมากและขณะทำงานจะหมุนพา ลูกบอลเหล็กขึ้นและตกลงบนวัตถุดิบซึ่งจะย่อยขนาดลงเมื่อถูกลูกบอลเหล็กกระทบ วัตถุดิบที่ผ่านการย่อยโดยเครื่องบด ถูกป้อนเข้า Tube Mill เพื่อบดละเอียด ปัจจุบันเครื่องบดละเอียดจะออกแบบให้ใช้พลังงานลดลงโดยเรียกตามเทคโนโลยีการออกแบบและผลิต ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อุปกรณ์ก็เช่นเดียวกันจะขึ้นกับรุ่น หรือแบบของอุปกรณ์นอกจากนั้นการติดตั้งตัวแยกวัตถุดิบ(Separator)ที่บดได้ที่ออกจากส่วนที่ต้องบดต่อเพื่อลดการใช้พลังงานเมื่อไม่ต้องบดซ้ำ เพิ่มเติมเข้าที่เครื่องบด เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องบด เครื่องบดรุ่นใหม่จะไม่ใช้ลูกบอลเหล็กแต่มีหัวบด(Roller)แทน เช่นแบบ Vertical Roller Mill แสดงในรูปที่ 3.5 แสดงรูปตัดที่ด้านบนเป็นตัวแยกวัตถุดิบ(Separator) หมุนแยกวัสดุที่ละเอียดออกทางด้านบน ส่วนที่ยังไม่ได้ขนาดจะตกลงเพื่อให้ Roller บดต่อ เครื่องบดรุ่นอนุรักษ์พลังงาน เช่น Roller grinding Mill ที่โรงงานปูนซีเมนต์ไทย(ลำปาง)ใช้พลังงาน 21.4 kWh/ton(raw meal) หรือ Roller press, tube mill, V separator ใช้พลังงาน 17-20 kWh/ton หรือถ้าใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยขึ้นไปเช่น Roller Press, Static V-separator จะใช้พลังงาน 11 kWh/ton

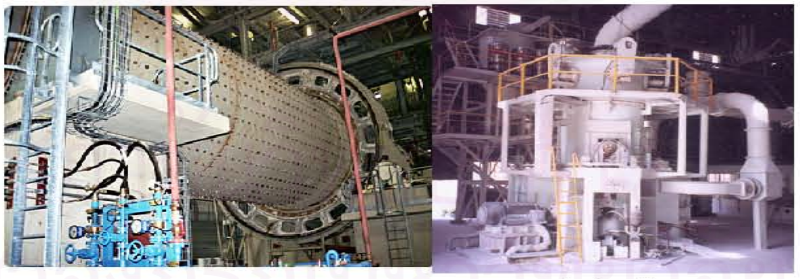


รูปที่ 3.5 Vertical Roller Mill

Jaw Crusher

Roller Crusher Hammer crusher

Impact crusher Gyratory crusher



Ball Mill Vertical Mill

รูปที่ 3.6 อุปกรณ์บดวัตถุดิบ

3.6.1.2 การผลิตปูนเม็ด (Clinker Production) จะใช้ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ปริมาณพลังงานความร้อนทั้งหมดที่อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ใช้ จะใช้ที่กระบวนการผลิตปูนเม็ด พลังงานที่กระบวนการผลิตปูนเม็ดใช้ประมาณ 80% ของพลังงานรวม (ทั้งพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า) และในกระบวนการนี้จะมีการบดถ่านหินเพื่อใช้เป็น

วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) ถูกป้อนเข้าเตาเผา (Kiln) แสดงในรูปที่ 3.6 เป็น Rotary Kiln โดยมีเตาเผา4 แบบคือ

1.) Ordinary Type Kiln

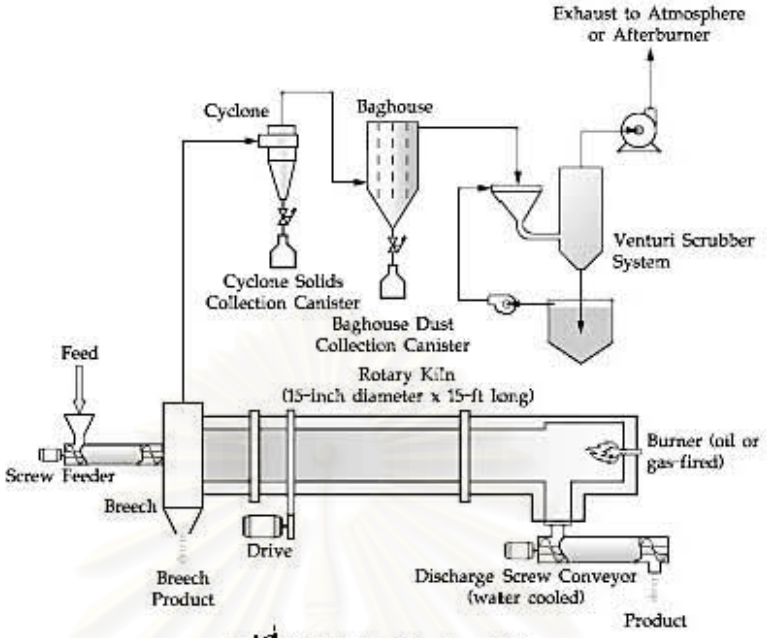
2.) แบบ Lapol Kiln

3.) แบบ NSP Kiln

4.) แบบ Long Kiln

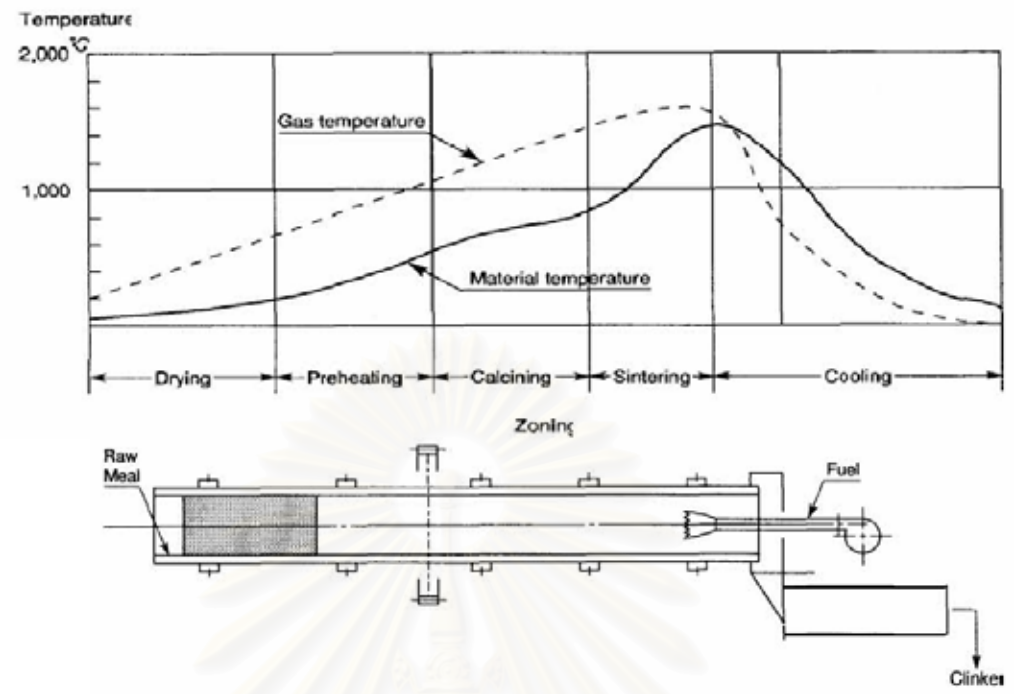
เชื้อเพลิงป้อนเข้าด้านหน้าเตาเผา โดยวัตถุดิบป้อนส่งเข้าด้านหลัง เคลื่อนที่ลงตามความลาดเอียงของเตาเผา (Kiln) ด้วยมุม 3-3.5 องศา มาทางด้านหน้าที่มีอุณหภูมิสูงสุดภายในเตา ที่บริเวณนี้วัตถุดิบเปลี่ยนรูปเป็นปูนเม็ด (Clinker) และถูกทำให้อุณหภูมิลด ถ่ายเทออกจาก ระบบ แก๊สร้อนจากการสันดาปที่ไหลไปด้านหลังเตาจะไหลสวนทางกับวัตถุดิบ โดยความร้อน (Preheat) ที่จะไหลเข้าเตาเผา(Kiln) ภายใน เตาเผา(Kiln) แต่ละแบบจะมีส่วนประกอบแตกต่างกันออกไปเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและคุณภาพของผลผลิต(ปูนเม็ด) ระดับการใช้พลังงานของเตาเผา ทั้ง 4 แบบมีดังนี้ Long Kiln เป็นเตารุ่นแรกให้ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน(SEC) สูงประมาณ 6225 kJ/kg cl แบบ Lepol Kiln มี Grate Pre-heater อยู่ด้านท้ายเตาเผารับแก๊สร้อนจากเตาเผา เพื่ออุ่นให้ความร้อน (Pre-heater) วัตถุดิบ เพื่อช่วยลดการใช้พลังงาน โดยให้ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (SEC)ประมาณ 3993 kJ/kg cl เตาเผาที่ออกแบบโดยเทคโนโลยีปัจจุบันเรียก Kiln with Suspension Pre-heater(SP – NSP) ด้านหลังของเตาเผามีตัวอุ่นความร้อน (Pre-heater) ติดตั้งเพื่ออุ่นความร้อน (Pre-heater) วัตถุดิบเตาเผาแบบนี้ให้ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน(SEC)ระดับ 3235 kJ/kg cl นอกจากนี้ เตาเผา(Kiln) แบบ Vertical ที่ออกแบบสำหรับโรงงานที่มีกระบวนการผลิตระดับต่ำ 50-350 ton cl/day ให้ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (SEC) สูงประมาณ 5000 kJ/kg cl ที่ใช้ที่ประเทศจีนจำนวนประมาณ 12,000 ตัว แต่ไม่มีใช้ในประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 เตาเผา Rotary Kiln

รูปที่ 3.8 แสดงรูปแบบของอุณหภูมิ (Temperature Profile) ภายในเตาเผาวัตถุดิบ (Raw Meal) ที่เคลื่อนที่ในเตาเผาจะมีอุณหภูมิเพิ่ม วัตถุดิบจะทำปฏิกิริยาเคมีเป็นสารต่างชนิดตามระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เช่นที่ระดับอุณหภูมิ 750-900-1200°C. วัตถุดิบหินปูน $CaCo_3$ ทำปฏิกิริยากับ Sio_2 เป็น $2CaO.SiO_2$ และเมื่ออุณหภูมิถึงระดับ 1200-1300°C ได้สารไดแคลเซียม อะลูมิเนต $2CaO.Al_2O_3$ (คือปูนประเภทเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะให้ความร้อนสูง ปูนที่เซทตัวจะรับความเค้นได้สูง) และสาร $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ รับความเค้นได้ต่ำแต่ลดความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อเซทตัว เมื่อวัตถุดิบเคลื่อนผ่านผ่านที่อุณหภูมิ 1300-1450°C จะให้การเปลี่ยนรูปจากวัตถุดิบ (Raw Meal) เป็นปูนเม็ด (Clinker) เป็นก้อนสีดำที่สมบูรณ์



รูปที่ 3.8 อุณหภูมิภายในเตาเผา (Rotary Kiln)

3.6.1.3 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จากปูนเม็ดเพื่อทำปูนซีเมนต์ โดยการนำปูนเม็ดและสารเติมแต่งเช่นแร่ยิปซัม ที่เป็นสูตรของแต่ละโรงงานมาผสมกัน และส่งเข้าเครื่องบด (Cement Mill) ในส่วนของกระบวนการนี้จะใช้เฉพาะพลังงานไฟฟ้าในการบดเท่านั้น

3.6.2 เทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต

3.6.2.1 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

1. ย่อยขนาดหินปูนที่ลำเลียงจากเหมือง แสดงดังรูปที่ 3.9 และ รูปที่ 3.10 ใช้อุปกรณ์ เครื่องบด (Crusher) โดยมีหลายเทคโนโลยีประกอบด้วย Jaw Crusher, Roller Crusher, Gyratory crusher, Hammer crusher และ Impact crusher

2. บดละเอียดวัตถุดิบ ผสมเพื่อจัดทำวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) ใช้อุปกรณ์ เครื่องบด (Crusher) มีหลายเทคโนโลยีประกอบด้วย Ball Mill, Vertical Mill, Hybrid systems, Roller Press-integral และ Roller Press-pre-grinding

3.6.2.2 กระบวนการผลิตปูนเม็ด อุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานงานคือ Rotary Kiln ลักษณะเป็นท่อเหล็กทรงกระบอกที่เส้นผ่านศูนย์กลางโตได้ถึง 6 เมตร ภายในบุด้วยอิฐทนไฟ เตาเผา (Kiln) จะมี Bearing รองรับที่หัว ท้ายและส่วนกลาง หรืออาจมีตำแหน่ง Bearing มากกว่านี้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ Kiln รูปทรงกระบอกที่อุณหภูมิสูงโค้งงอ อุปกรณ์ที่เลือกใช้มีหลายเทคโนโลยี

3.6.2.3 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จากปูนเม็ด โดยมีอุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการบดปูนเม็ดประกอบด้วย Ball Mill, Ball Mill / separator , Roller Press / ball mill / separator, Roller Press / separator /ball mill, และ Roller Press / separator

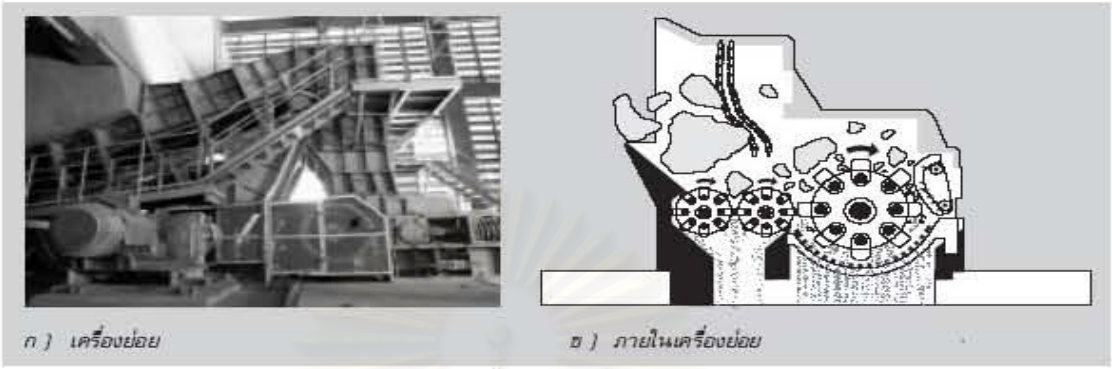
1. บ่อเตรียมดิน (wash mill)

รูปที่ 3.9 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

2. เครื่องโปรยกองหินปูน

รูปที่ 3.10 เครื่องโปรยกองหินปูน

3. เครื่องบดหยาบ (Crusher) การย่อยหินเป็นขั้นตอนการแปรรูปของหินหลังจากการเจาะระเบิดจากเหมืองโดยการใช้โม่สำหรับย่อยหินให้เหลือขนาดตามต้องการก่อนที่จะป้อนเข้าเครื่องบด การย่อยหินเรียกว่า Crushing ดัง รูปที่ 3.11 รูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 ชนิดของเครื่องจักร



รูปที่ 3.11 เครื่องโม่

1. การย่อยหิน โดยใช้แรงอัด (Compression To Break) ได้แก่

1.1 Jaw Crusher ส่วนมากใช้เป็นขั้นตอนแรกของการบดหยาบ เหมาะสำหรับวัตถุดิบที่มีความแข็งสูงๆ แต่จะดันง่ายเมื่อวัตถุดิบชื้นหรือเหนียว สัดส่วนการย่อยทำได้ประมาณ 6:1 ถึง 8:1

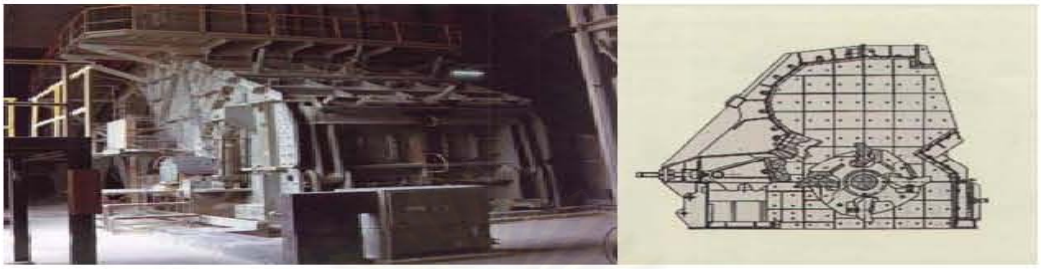
รูปที่ 3.12 ชนิดของเครื่องโม่ (Crushing)

1.2 Gyratory Crusher, Cone Crusher เหมาะสำหรับงานในลักษณะเดียวกับ Jaw Crushing แต่ดีกว่าตรงที่ไม่จำเป็นต้องมี feeder สัดส่วนการย่อยทำประมาณ 6:1 ถึง 15:1

1.3 การย่อยหิน โดยใช้แรงกระแทก (Impact) ได้แก่

- Hammer Crusher
- Impact Crusher ไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง แบบ Single-rotor จะได้สัดส่วนการย่อยได้ระหว่าง 6:1 – 20:1 และแบบ Double-rotor จะได้สัดส่วนการย่อยได้ถึง 60:1

ในการโม่หินอาจจะเป็น Single Stage ซึ่งหมายถึงย่อยครั้งเดียวออกมาเป็นขนาดที่ต้องการหรืออาจจะเป็น Closed Circuit หมายถึงคัดเอาส่วนที่โตกว่าขนาดที่ต้องการป้อนกลับเข้าไปย่อยซ้ำอีก



รูปที่ 3.13 Crushing

4. <u>เครื่องบด, หม้อบด (Grinding Mill)</u> การบดทำให้เป็นฝุ่น เรียกว่า Grinding

ชนิดของหม้อบด (Grinding Mill) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 หินปูน หินทราย ดินเหนียว และกากทองแดง จะถูกป้อนเข้าไปในเครื่อง Tube Mills เพื่อทำการบดผสมและอบแห้ง จนได้ออกมาเป็นวัตถุดิบสำเร็จ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการบด และพลังงานจากก๊าซร้อน (ก๊าซไอเสียจากเตาเผา) ในการอบแห้ง

รูปที่ 3.14 Grinding Mill

1.1 การบดวัตถุดิบโดยใช้แรงกด (Compression)

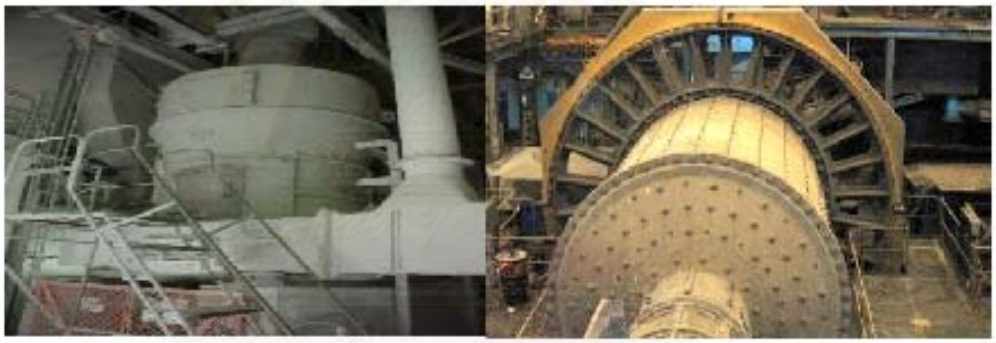
- Ring-bell mill (Peters mill)
- Ring- roller mill หรือ Bowl mill (Roesche-mill)

รูปที่ 3.15 ลูกบด (Grinding Ball)

1.2 การบดวัตถุดิบ โดยใช้แรงกระแทกและการขัดสี (Impact and Rolling)

- Ball mill
- Tube mill
- Compound mil

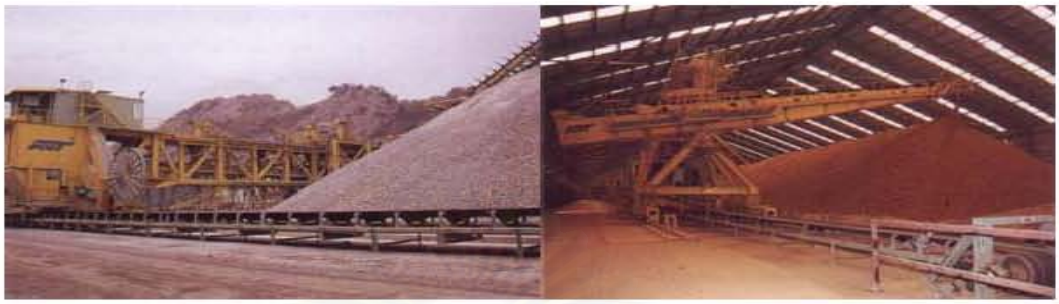
รูปที่ 3.16 หม้อบดวัตถุดิบ



รูปที่ 3.17 Ball Mill / separator

การบด Grinding ก็มีลักษณะคล้ายๆ กับ ไม่ คือมี Single Grinding ที่เรียกว่า Open Circuit Mill หรือ Recycle ของฝุ่นหยาบกลับมาบดอีกครั้งหนึ่งเรียกว่า Close Circuit Mill ซึ่งวิธีการคัดขนาดของฝุ่นหยาบนี้จะใช้เครื่องจักรที่ใช้ลมเป็นหลัก นอกจากนี้ Close Circuit Mill ยังใช้ได้กับ Wet Grinding อีกด้วย

5. ถังเก็บวัตถุดิบ



ถังและยุ้งเก็บหิน

ไซโลเก็บวัตถุดิบ

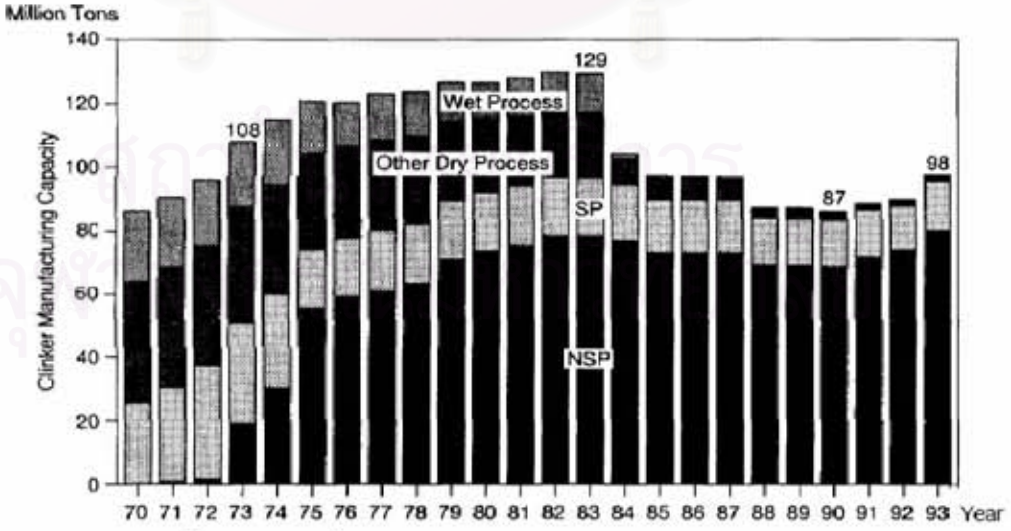
รูปที่ 3.18 ไซโลและยุ้งเก็บวัตถุดิบ

6. เตาเผา (Kiln) เตาเผาปูนซีเมนต์เป็นหัวใจสำคัญซึ่งจะมีลักษณะเป็นแนวนอน ทำด้วยเหล็กกล้า รูปทรงกระบอก ยาวประมาณ 50-150 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตรด้านในบุด้วยอิฐทนไฟที่เอียง ตัว 1.7-2.9 องศาจากแนวราบความเร็วในการหมุน 1.3รอบต่อนาที อุณหภูมิที่ใช้ 1,400-1,650 องศาเซลเซียส เชื้อเพลิงที่ใช้คือ น้ำมันเตาและถ่านหิน ดังแสดงในรูปที่ 3.19

เตาเผาสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ เตาเผาสำหรับกระบวนการแบบเปียก (Wet Process Kiln) เตาเผาสำหรับกระบวนการกึ่งเปียก (Semi-wet Process Kiln) และเตาเผาสำหรับกระบวนการแห้ง (Dry Process Kiln) แต่จะแสดงรายละเอียดของเตาเผาที่ใช้สำหรับกระบวนการแบบแห้ง (Dry Process) ได้แก่ เตาเผาแบบ Dry long kiln, เตาเผาแบบ Short kiln, เตาเผาแบบ Suspension Pre-heater kiln (SP kin) และเตาเผาแบบ New Suspension Pre-heater kiln (NSP kiln) ดังแสดงในรูปที่ 3.20

เตาเผาแบบ Dry long kiln มีใช้อยู่เป็นหลักในแถบตะวันออกใกล้และตะวันออกกลางที่ซึ่งมีฝนตกน้อย และมีองค์ประกอบที่มีความเป็นด่างในวัตถุดิบอยู่มาก ลักษณะของเตาเผาชนิดนี้คล้ายกับเตาเผาสำหรับกระบวนการแบบเปียก (Wet Process Long Kiln) ในขณะที่แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อเมริกากลางและใต้ และอเมริกาเหนือ มีการใช้เตาเผาแบบ Wet Process Long Kiln เป็นหลัก

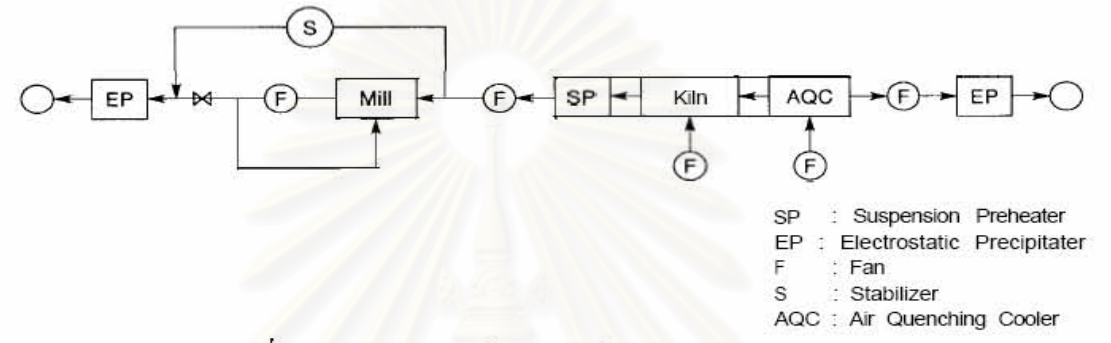
รูปที่ 3.19 หม้อเผาแบบหมุน (Rotary kiln)



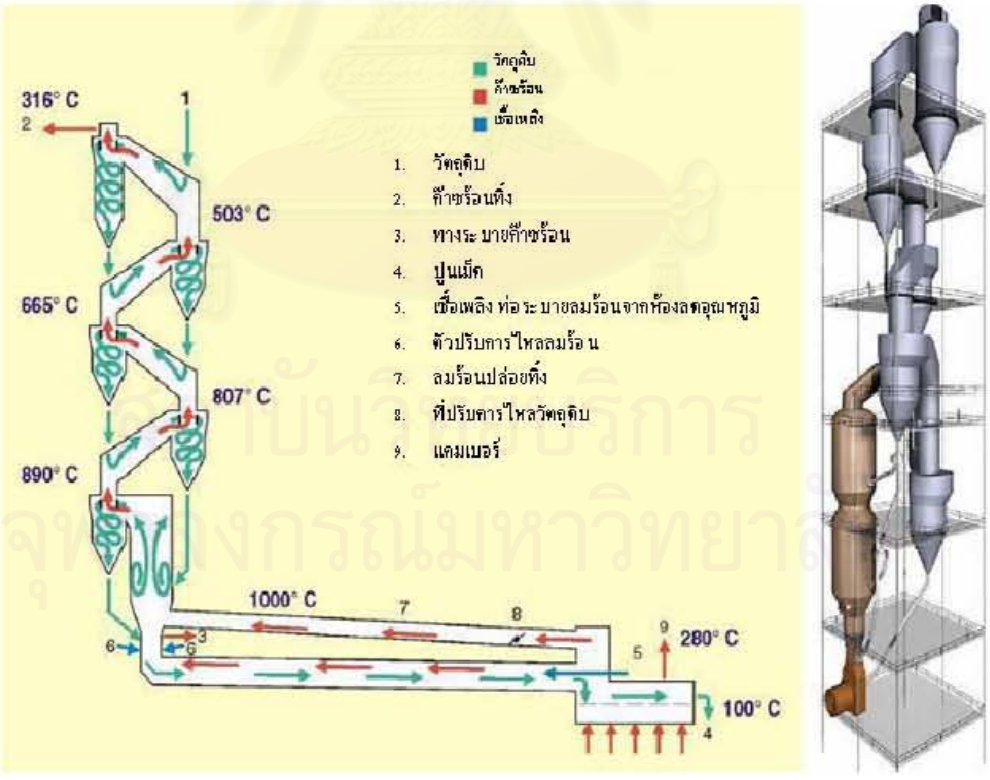
รูปที่ 3.20 การเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตปูนเม็ดแยกตามประเภท

(ที่มา: Cement in Janpan 1993, JCA)

กระบวนการที่ใช้เตาเผาแบบ NSP ขนาดใหญ่ที่ออกมาล่าสุดนี้มีอัตราการใช้ความร้อนประมาณ 750 kcal/kg•cl และมีสมรรถนะเหนือกว่ากระบวนการเผา (Sintering) แบบทั่วไปทั้งหมด ในขณะที่เตาเผาแบบ Wet Process Long Kiln อาจมีอัตราการใช้ความร้อนอยู่ที่ 1,500 ถึง 2,000 kcal/kg•cl ยกเว้นในกรณีพิเศษบางกรณี และเตาเผาแบบSemi-dry process อาจมีอัตราการใช้ความร้อนอยู่ที่ 1,000 ถึง 1,200 kcal/kg•cl ดังแสดงในรูปที่ 3.21



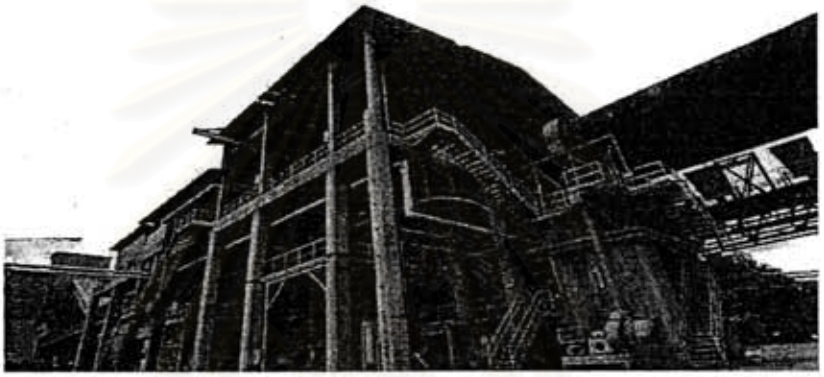
รูปที่ 3.21 แผนภาพการไหลของก๊าซสำหรับเตาเผาแบบ SP kiln



รูปที่ 3.22 เตาเผาสำหรับกระบวนการแบบแห้ง (เตาเผาแบบ SP kiln และ NSP kiln)

รูปที่ 3.22 แสดงเตาเผาแบบ SP kiln ที่มี Cyclone แบบ 4 stage (Dry process kiln with 4-stage cyclone pre-heater) และหากเพิ่มเติมส่วนที่เรียกว่า Calciner เข้าไปในรูปนี้ ก็จะได้เป็นเตาเผาแบบ NSP kiln โดยทั่วไปแล้ว ก๊าซไอเสีย (อุณหภูมิ 350 ถึง 380 องศาเซลเซียส) จากเตาเผาแบบ SP และ NSP จะถูกนำไปใช้อบแห้งวัตถุดิบและผลิตกระแสไฟฟ้า

9. ถังลดความเย็น (Cooler)



รูปที่ 3.23 Cooler

10. หออบความร้อน

รูปที่ 3.24 หออบความร้อนก่อนเข้าเตาเผา

11. เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อให้พลังงานความร้อนในการเผาปูนเม็ดแบ่งได้ 2 ประเภทหลักได้แก่

11.1 เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป (Nonrenewable Fuel) เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา และ Petroleum Coke เป็นต้น

11.2 เชื้อเพลิงทดแทน (Sccondary Fucl) ช่วยลดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อมและประหยัดการใช้เชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดไป แบ่งเป็น 2 ประเภทย่อย ได้แก่ เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) เป็นวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับการเกษตร เช่น แกลบ ขี้เลื่อย เปลือกไม้ และกะลาปาล์ม เป็นต้น เชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม (Industrial Waste) เช่น ยางรถยนต์ และน้ำมันใช้แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.25 เป็นต้น

รูปที่ 3.25 เชื้อเพลิง

โดยสรุปการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งเป็นสามขั้นตอนคือ (1) การเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation) (2) การผลิตปูนเม็ด (Clinker Production) และ (3) การผลิตปูนซีเมนต์จากปูนเม็ด (Finish Grinding) กระบวนการทั้งสามมีอุปกรณ์และการใช้พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าแยกออกจากกัน การประเมินค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (SEC) กระบวนการผลิตทั้งสามคือเป้าหมายของการศึกษา เมื่อต้องการประเมินค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (SEC) ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ให้นำค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (SEC) ของกระบวนการผลิตทั้งสามมารวมกัน หรือเมื่อต้องการประเมินค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน(SEC) กระบวนการผลิตปูนเม็ดให้นำค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (SEC) ของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบรวมกันค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (SEC) ของการผลิตปูนเม็ด

บทที่ 4

การบริโภคพลังงานและการเทียบเคียงสมรรถนะพลังงาน

ในการดำเนินงานเพื่อนำไปสู่การหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นั้นจำเป็นต้องมีการประเมินการใช้พลังงานของโรงงานเสียก่อน ซึ่งควรจะใช้หน่วยของค่าการบริโภคพลังงานที่ได้จากการตรวจวัดที่เป็นมาตรฐานเดียวกันและนำไปเทียบเคียงกับอุตสาหกรรมอื่นได้ โดยเลือกใช้ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งเป็นค่าดัชนีสำหรับชี้วัดปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ในระดับกระบวนการผลิต ซึ่งคำนวณจากปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในช่วงเวลาหนึ่งวัฏจักรทำงาน เช่น 1 เดือนต่อปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน

4.1 การบริโภคพลังงาน และค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ

กลุ่มประเทศอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ต่างให้ความสนใจในเรื่องการประหยัดพลังงานและการบริโภคพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตก็เป็นส่วนหนึ่งที่สามารถจะใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและสามารถลดการบริโภคพลังงานของกระบวนการผลิตลงได้ โดยค่าที่ได้จากการตรวจวัดการบริโภคพลังงานของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศต่างๆแสดงในตารางที่ 4.1 จากค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์แต่ละประเทศเป็นค่าเฉลี่ย แต่สำหรับประเทศอินเดียค่าที่ปรากฏในตารางเป็นค่าที่ดีที่สุดของประเทศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ค่า SEC ของกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ

ประเทศ	SEC (GJ/ตันซีเมนต์)
มาเลเซีย	4.0
ไทย	3.55
อินเดีย (Best)	3.05
แคนนาดา	5.0
Taiheiyo(ญี่ปุ่น)	3.64
Uniland(สหรัฐอเมริกา)	3.53
Heidelberg(เยอรมันนี)	5.20
อินโดนีเซีย	3.63
จีน	4.71

อ้างอิง : Energy Efficiency and CO_2 Reduction Opportunities in the Global Cement Industry by Michael Taylor, Energy-use Benchmarks for the Cement Sector by Kamala Ernest

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในยุโรป ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการบริโภคพลังงานของเทคโนโลยีและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตย่อยจะมีความแตกต่างกัน การบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตย่อยก็มีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.2 ส่วนตารางที่ 4.3 แสดงผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในปี 1994 ที่ขั้นตอนการผลิตต่างๆ

ตารางที่ 4.2 ดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศอังกฤษ ปี 1994

กระบวนการ	พลังงานเชื้อเพลิง GJ/ตัน	พลังงานไฟฟ้า kWh/ตัน	พลังงานปฐมภูมิ GJ/ตัน
การเตรียมวัตถุดิบ	0.0	34	0.4
การผลิตปูนเม็ด	4.3	35	4.7
การบดซีเมนต์	0.0	57	0.6
พลังงานรวม	4.0	145	5.6

อ้างอิง : Potentials for energy efficiency improvement in US cement industry by Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพเทคโนโลยีสำหรับการบริโภคพลังงาน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถลดลงได้ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศอังกฤษ ปี 1994

เทคโนโลยี	กระบวนการ (ล้านตัน)	พลังงานเชื้อเพลิงที่ลดได้ (GJ/ตัน)	พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (GJ/ตัน)	พลังงานปฐมภูมิที่ลดได้ (GJ/ตัน)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้ (kgC/ตันซีเมนต์)
การเตรียมวัตถุดิบ					
Mechanical transport system	87.6	0.00	0.01	0.02	0.53
Raw meal blending system	87.6	0.00	0.01	0.01	0.26
High efficiency roller mills	87.6	0.00	0.03	0.08	1.85
High efficiency classifiers	87.6	0.00	0.01	0.03	0.71
การผลิตปูนเม็ด					
Kiln combustion system	49.0	0.20	0.00	0.17	8.80
Kiln shell heat loss reduction	49.0	0.20	0.00	0.15	7.67
Use of waste fuels	49.0	0.60	0.00	0.60	30.70
Conversion to grate cooler	49.0	0.30	-0.01	0.30	16.37
Low pressure-drop cyclone	49.0	0.00	0.01	0.04	0.74
Heat recovery for power generation	49.0	0.00	0.07	0.22	3.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพเทคโนโลยีสำหรับการบริโภคพลังงาน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สามารถลดลงได้ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ในประเทศอังกฤษ ปี 1994 (ต่อ)

เทคโนโลยี	กระบวนการ (ล้านตัน)	พลังงานเชื้อเพลิงที่ลดได้ (GJ/ตัน)	พลังงานไฟฟ้าที่ลดได้ (GJ/ตัน)	พลังงานปฐมภูมิที่ลดได้ (GJ/ตัน)	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดได้ (kgC/ตันซีเมนต์)
การผลิตปูนเม็ด (ต่อ)					
Conversion to multi-stage preheating	49.0	0.90	0.00	0.90	46.05
Conversion to pre-calciner kiln	49.0	0.40	0.00	0.40	20.46
Conversion to PH/PC-kiln	49.0	1.30	0.00	1.30	66.51
Optimize heat recovery	49.0	0.10	0.00	0.10	5.12
การผลิตปูนซีเมนต์					
Improved grinding media	74.3	0.00	0.01	0.02	0.32
High-pressure roller press	74.3	0.00	0.03	0.09	1.28
Roller press/Horomill	74.3	0.00	0.10	0.30	4.33
High efficiency classifiers	74.3	0.00	0.01	0.03	0.48

อ้างอิง : Potentials for energy efficiency improvement in US cement industry by Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในสหรัฐอเมริกาทำการศึกษาการบริโภคพลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตย่อย ในปี 1999 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 ส่วนตารางที่ 4.5 แสดงค่า SEC ในแต่ละขั้นตอนของช่วงการขุดเจาะและบดหินปูน

ตารางที่ 4.4 ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศสหรัฐอเมริกาปี 1999

กระบวนการ	พลังงานเชื้อเพลิง GJ/ตัน	พลังงานไฟฟ้า kWh/ตัน	พลังงานปฐมภูมิ GJ/ตัน
การเตรียมวัตถุดิบ	0.0	38	0.46
การผลิตปูนเม็ด	4.65	45	5.22
การบดซีเมนต์	0.0	52	0.70
พลังงานรวม	5.76	150	6.03

หมายเหตุ : หน่วยของพลังงานทั้งหมดใช้เฉพาะค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value: HHV) ที่ใช้ทั่วไปในอังกฤษ (U.S) ค่าสถิติของพลังงานในระดับนานาชาติโดยทั่วไปจะรายงานค่าพลังงานความร้อนต่ำ (Lower Heating Value: LHV)

อ้างอิง: Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 การบริโภคพลังงานในช่วงการขุดเจาะและบดหินปูนของสหรัฐอเมริกา

อุปกรณ์ในแต่ละกระบวนการ	GJ/ตัน
การเตรียมวัตถุดิบ	
Percussion Drill	7.12
Hydraulic Shovel	6.56
Rear-Dump Truck	4.67
Bulldozer	3.97
Pick-Up Truck	2.61
Water Tanker	1.36
Service Truck	1.30
Lighting Plant	0.08
Front-End Loader	0.22
Bulk Truck	0.17
Pumps	2.61
Grader	0.01
พลังงานรวม	30.69
การบดหยาบ	
Conveyor	0.21
Screens	0.42
Primary Crushers	2.12
Secondary Crushers	1.27
พลังงานรวม	4.03
พลังงานรวมทั้งหมด	34.72

อ้างอิง : U.S. Department of Energy, Mining Industry of the Future, Energy and Environmental Profile of the U.S. Mining Industry, pg. 9-9

เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีที่ต่างกันจะบริโภคพลังงานที่แตกต่างกัน เช่น ในส่วนการจัดเตรียมวัตถุดิบเพื่อเข้าเผา จะมี 4 ประเภทของระบบการบดวัตถุดิบ

1. Tube Mill (Ball Mill)
2. Vertical Roller Mill (ใช้พลังงานประมาณ 70 – 75% ที่ใช้กับ Tube Mill)
3. Horizontal Roller Mill (ใช้พลังงานประมาณ 65 – 70% ที่ใช้กับ Tube Mill)

4. Roller Press (หรือ High – pressure Grinding Rollers) (ใช้พลังงานประมาณ 50 – 65% ที่ใช้กับ Tube Mill)

ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อหาเทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบันที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ โดยกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของอเมริกา อินเดีย จีนและกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ประเทศอื่นๆ ต่างทำการศึกษาในเรื่องนี้โดยในการศึกษาส่วนมากจะใช้ค่าSEC ของกระบวนการผลิตเป็นค่าพลังงานในการเทียบเคียงเพื่อเป็นมาตรฐาน เพื่อให้สามารถใช้เทคโนโลยีแต่ละประเภทให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดจำเป็นต้องมีการใช้งานตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) ดังนั้นในการเปรียบเทียบว่าเทคโนโลยีใดดีกว่าเทคโนโลยีอื่น ก็ต้องเทียบกันที่ค่า SEC ของแต่ละเทคโนโลยีที่ดีที่สุด (Best Practice) ของเทคโนโลยีนั้น ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยการบริโภคพลังงานจำเพาะตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดและตารางที่ 4.7 แสดงตัวอย่างเทคโนโลยีและ SEC ที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด

ตารางที่4.6 ค่าเฉลี่ยการบริโภคพลังงานจำเพาะตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Best Practice) ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ของประเทศอินเดีย

กระบวนการ	ค่าเฉลี่ย
การบดวัตถุดิบ	
Coal mill	8 kWh/ตันปูนเม็ด
Crushing	2 kWh/ตันปูนเม็ด
Raw mill	28 kWh/ตันปูนเม็ด
การผลิตปูนเม็ด	
Kiln & cooler	770 K cal/กก.ปูนเม็ด
Kiln & cooler	28 kWh/ตันปูนเม็ด
การบดซีเมนต์	
Cement mill	30 kWh/ตันซีเมนต์
อื่นๆ	
Utilities : mining & transportation	1.6 kWh/ตันปูนเม็ด
Utilities : packing house	1.9 kWh/ตันซีเมนต์
Utilities : misc	2.0 kWh/ตันซีเมนต์
พลังงานไฟฟ้ารวม	95 kWh/ตันซีเมนต์

อ้างอิง : Cement Manufacturer's Association, 2003; Worrell, 2004.

ตารางที่ 4.7 เทคโนโลยีและ SEC ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

		กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ		กระบวนการผลิตปูนเม็ด			กระบวนการบดซีเมนต์	
Plant		**เทคโนโลยี**	**พลังงานที่ใช้ (kWh/ตันวัตถุดิบ)**	**กำลังการผลิต (ตัน/วัน)**	**เทคโนโลยีเตาเผา**	**พลังงานที่ใช้ (kJ/kg,ปูนเม็ด)**	**เทคโนโลยี**	**พลังงานที่ใช้ (kWh/ตันซีเมนต์)**
เทคนิคทั่วไป	Cembureau BAT-Dry	Center discharge Tube Mill*(TMCD)*	*TMCD:*17-20	3000	5-stage-preheater Pre-calciner	2900-3200	Tube mill in Close circuit	3500cm^2/g
		Airs wept tube Mill*(TMAS)*	*TMAS:*17-20				*(TMCC)*	*TMCC:*36.5
		Vertical Roller Mill*(VRM)*	*VRM:*13-14				Vertical Roller Mill*(VRM)*	*VRM:*28.5
							Roller Press*(RP)*	*RP:*24.5
							Horizontal Roller Mill*(HRM)*	*HRM:*25.5
	"Modern Plant Design"	Roller Press, static V-separator	10-12	5000	4-stage,2-string Pre-heater, low NOx calciner	Coal: 2990-3110	Roller Press Static V-separator	Type I,3600 cm^2/g:25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 เทคโนโลยีและ SEC ที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (ต่อ)

		กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ		กระบวนการผลิตปูนเม็ด			กระบวนการบดซีเมนต์	
Plant		**เทคโนโลยี**	**พลังงานที่ใช้ (kWh/ตันวัตถุดิบ)**	**กำลังการผลิต (ตัน/วัน)**	**เทคโนโลยีเตาเผา**	**พลังงานที่ใช้ (kJ/kg,ปูนเม็ด)**	**เทคโนโลยี**	**พลังงานที่ใช้ (kWh/ตันซีเมนต์)**
ข้อมูลจริงใน Plant	ลำปาง ประเทศไทย	Roller grinding Mill	21.4	5700	5-stage,2-string Pre-heater, PYROCLON Pre-calciner	Fuel oil:2977 Lignite:3014	Tube mill with High efficiency Classifier	OPC(3000 cm^2/g): 41.76"Tiger Mix"[6] (4200cm2/g): 33.70
	Bernburg, Germany	N/A	N/A	5000	6-stage,2-string DOPOL-90 with Pre-calcination	Lignite: Continuous operation:3100 Optimal:3008	Roller Press and Ball Mill with High efficiency Classifier variable Speed drives	CEM I32.5R cement:22.8
	Rajashree Cement, India	Roller press, tube Mill, V-separator	17-20	3500	6-stage,2-string Pre-heater Calciner	Coal: 2931 *(expected)*	Roller press Tube mill, High efficiency classifier	($3000cm^2$/g): 31.25
	Tepeaca, Mexico	N/A	N/A	6500	5-stage preheater Pre-calciner	Fuel oil: 3030	Ball Mill SEPAX separator	N/A

N/A คือไม่แสดงข้อมูล [6] มีส่วนประกอบของหินปูน 30 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากการเทียบเคียงแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคโนโลยีที่ต่างกันคือปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การบริโภคพลังงานต่างกันด้วย หากในกระบวนการผลิตย่อยที่ใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกันก็จะทำให้มีการบริโภคพลังงานต่างกัน ดังนั้นสมรรถนะทางด้านพลังงานที่จะนำมาเปรียบเทียบกันจึงต้องพิจารณาความได้เปรียบของเทคโนโลยีที่อุตสาหกรรมใช้ด้วย

4.2 การบริโภคพลังงาน และค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศ

เนื่องจากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการใช้พลังงานและการผลิตต่อเนื่อง จึงมีการวัดปริมาณการใช้พลังงานในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งได้ และสามารถขยายผลการใช้พลังงานต่อเดือนหรือต่อปีก็ได้ ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าวัดค่าได้จากเครื่องตรวจวัดไฟฟ้า (Power Meter) ส่วนพลังงานเชื้อเพลิงวัดค่าได้จากมิเตอร์เชื้อเพลิงคูณกับค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ดังนั้นการประเมินสมรรถนะของอุตสาหกรรมที่ดีนั้นควรประเมินทั้งกระบวนการผลิตย่อย กระบวนการผลิตรวมและการบริโภคพลังงานของเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตย่อย เพราะอุตสาหกรรมจะได้ทราบสมรรถนะของกระบวนการผลิตย่อย เพื่อนำไปสู่การปรับปรุง

โดยที่อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และต้นทุนพลังงานมีสัดส่วนที่สูง โรงงานจึงมีการตรวจวัดตามการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องทำให้ข้อมูลที่ได้จากรายงานการตรวจติดตามด้านพลังงาน(Energy Audit Report) สามารถให้ค่าที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบกันได้ ตารางที่ 4.8 แสดงค่า SEC ของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ

ตารางที่ 4.8 ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

โรงงาน	เทคโนโลยี	SEC (kWh/ตันวัตถุดิบ)
พีทีไอโพลีน	N//A	18.13
ปูนซีเมนต์ไทย ลำปาง	N//A	15.31
ปูนซีเมนต์ไทย ทุ่งสง	N//A	37.37
ปูนซีเมนต์ไทย ท่าหลวง	N//A	47.55
ปูนซีเมนต์ไทย แก่งคอย	N//A	25.51
ปูนเอเซีย	N//A	16.11

อ้างอิง : ข้อมูลที่ได้จากรายงานการตรวจติดตามด้านพลังงาน (Energy Audit Report)

จากตารางที่ 4.8 โรงงานปูนซีเมนต์ไทยลำปางให้ค่าดัชนีชี้วัดพลังงานจำเพาะของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบที่มีค่าเท่ากับ 15.31 kWh/t raw meal ซึ่งต่ำกว่าโรงงานอื่นๆ ซึ่งอาจจะเป็นเหตุมาจากที่โรงงานปูนซีเมนต์ไทยลำปางเป็นโรงงานที่ก่อตั้งใหม่เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยและสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ดี สำหรับโรงงานอื่นๆ เนื่องจากไม่มีการรายงานประเภทของเทคโนโลยีที่ใช้จึงไม่ทราบว่าเป็นเทคโนโลยีใด

จากข้อมูลการผลิตการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุม (บพร1) ของปี 2545 – 2548 สามารถสรุปค่า SEC ของขั้นตอนการผลิตเม็ดปูนได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ (SEC) ของการผลิตปูนเม็ด

โรงงาน	เทคโนโลยี	SEC,avg	SEC,opt
		kJ/kg,ปูนฯ	kJ/kg,ปูนฯ
ปูนซีเมนต์ไทย(แก่งคอย)	N/A	3453	3220
ปูนซีเมนต์นครหลวง โรงงาน 1,3	N/A	3380	3230
พีทีไอ โพลีน	N/A	3298	3020
ปูนซีเมนต์นครหลวง โรงงาน 2	N/A	4125	4120
ปูนเอเซีย	N/A	3170	3170
ชลประทานซีเมนต์(ชะอำ)	N/A	3545	3160
ปูนซีเมนต์ไทย(ทุ่งสง)	N/A	4200	3190
ชลประธานซีเมนต์(ตาคลี)	N/A	3707	3560
ปูนซีเมนต์ไทย(ท่าหลวง)	N/A	3640	3640
เซเม็กซ์(ประเทศไทย)	N/A	4293	3680
ปูนซีเมนต์ไทย(ลำปาง)	5-stage, 2-string, pre-heater, PYROCLON with Pre-calciner	N/A	2863

หมายเหตุ : หน่วย kJ/kg clinker มวลของปูนเม็ด เท่ากับ 95% ของมวลปูนซีเมนต์

ปริมาณพลังงานที่ใช้เพื่อผลิตปูนซีเมนต์จากปูนเม็ด ข้อมูลของค่า SEC ของกระบวนการบดปูนเม็ดของโรงงานปูนซีเมนต์ของประเทศได้จากรายงานการตรวจติดตามด้านพลังงาน (Energy

Audit Report) และแสดงให้เห็นค่า SEC ของกระบวนการผลิตเดียวกันของประเทศไทยดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการบดปูนเม็ดเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ (Finishing Grinding)

โรงงาน	เทคโนโลยี	SEC (kWh/ตันซีเมนต์)	หมายเหตุ
พีทีไอโพลีน	N//A	34.64	
ปูนซีเมนต์ไทย ลำปาง	N//A	22.16	
ปูนซีเมนต์ไทย ทุ่งสง	N//A	29.01	
ปูนซีเมนต์ไทย ท่าหลวง	N//A	71.96	
ปูนซีเมนต์ไทย แก่งคอย	N//A	51.88	
ปูนเอเซีย	N//A	51.44	

ด้วยข้อมูล SEC กระบวนการบดปูนเม็ดของโรงงานปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) ที่ได้จาก Energy Audit report เท่ากับ 22.16 kWh/ton cement ขณะที่ข้อมูลที่ตีพิมพ์ให้โรงงานดังกล่าวเป็นโรงงานหนึ่งที่มีสมรรถนะดีที่สุด ถ้าเปรียบเทียบ SEC ของโรงงานในประเทศ SEC Benchmarking ของกระบวนการบดปูนเม็ดเป็นปูนซีเมนต์เท่ากับ 22.16 kWh/kg cement

4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะ และการกำหนดค่าเทียบเคียงพลังงาน

การเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงาน (Energy Benchmarking) เป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการกำหนดเป้าหมายในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน การหามาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการวางแผนกลยุทธ์ทางด้านการจัดการพลังงาน ดังนั้นในประเทศต่าง ๆ โดยเฉพาะประเทศอุตสาหกรรมพยายามหาวิธีในการกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงาน เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงาน แต่การได้มาซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวไม่ใช่เรื่องง่าย ทั้งนี้เพราะการบริโภคพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีความผันแปรไปตามกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีมักมีผลต่อผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ดังนั้นการปรับเปลี่ยนใดๆจะมีข้อจำกัด อาจเนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์จากลูกค้า ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีความพยายามที่จะหาวิธีการกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานที่น่าจะเหมาะสมกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์แต่ละประเภท กระบวนการผลิตย่อยและแต่ละเทคโนโลยี เพื่อสามารถแก้ไขและหามาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงเกณฑ์ที่กำหนดได้

ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่ได้ข้อมูลจากการศึกษาและตรวจวัดของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศต่างๆ โดยมีเทคโนโลยีและการบริโภคพลังงานสำหรับกระบวนการผลิตย่อยดังต่อไปนี้

- กระบวนการบดหยาบ เทคโนโลยีที่สามารถนำมาเลือกใช้ในกระบวนการผลิตนี้มีดังนี้ Jaw crusher ,Gyratory crusher, Roller crusher, Hammer crusher, Impact crusher ซึ่งจะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีที่ให้ค่าของการบริโภคพลังงานต่ำที่สุดมีค่า 0.3-1.4 kWh/ton product คือ Jaw crusher และหากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใดที่ใช้เทคโนโลยี Roller crusher ที่มีค่าการใช้พลังงาน 0.4 kWh/ ton product เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่ใช้เทคโนโลยี Jaw crusher แล้วมีค่าการบริโภคพลังงานสูงกว่าเท่ากับ 0.4 - 0.3 = 0.1 kWh/ton product นั่นคือความแตกต่างระหว่างการบริโภคพลังงานของเทคโนโลยีที่เราสามารถนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุการใช้พลังงานที่สูงกว่าได้
- กระบวนการบดละเอียด เทคโนโลยีที่สามารถนำมาเลือกใช้ในกระบวนการผลิตนี้มีดังนี้ Ball mill, Vertical mill, Hybrid systems, Roller Press-integral, Roller Press-pre-grinding เทคโนโลยีของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในอดีตและจนถึงปัจจุบันที่ยังเลือกใช้สำหรับกระบวนการนี้คือ Ball mill ซึ่งมีค่าการบริโภคพลังงาน 22 kWh/ton product แต่ในปัจจุบันพบว่ายังมีเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้และให้ค่าการบริโภคพลังงานต่ำที่สุดคือ Roller Press-integral ให้ค่าการบริโภคพลังงาน 12 kWh/ton product นั่นคือหากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่ยังใช้อุปกรณ์เดิมอยู่ก็จะมีค่าการใช้พลังงานสำหรับกระบวนการผลิตนี้สูงกว่าเทคโนโลยี Roller Press-integral เท่ากับ 10 kWh/ton product
- กระบวนการผลิตปูนเม็ด เทคโนโลยีการเผาเพื่อผลิตปูนเม็ดในปัจจุบันนี้มีการพัฒนาและปรับปรุงเรื่องประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการเผากันมากขึ้นสาเหตุหนึ่งเนื่องมาจากพลังงานโดยส่วนมากจะถูกใช้ในกระบวนการผลิตปูนเม็ดสูงกว่ากระบวนการย่อยอื่นๆ และจากการพัฒนาเทคโนโลยีในกระบวนการเผานั้นทำให้ได้เทคโนโลยีที่ช่วยในการบริโภคพลังงานในกระบวนการนี้ต่ำที่สุดนั่นคือ Short dry-pre-heater & pre-calciner มีค่าการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิงเท่ากับ 2.9 GJ/ton clinker และค่าการบริโภคพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 26 kWh/ton clinker เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยบางโรงที่ใช้เทคโนโลยี Short dry-suspension Preheating ซึ่งให้ค่าการบริโภคพลังงานสูงกว่า Short dry-pre-heater & pre-calciner เท่ากับ 4 kWh/ton clinker
- กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ในกระบวนการนี้เทคโนโลยีที่ใช้สามารถใช้เทคโนโลยีลักษณะเดียวกับกระบวนการบดละเอียดได้เช่น Ball mill, Ball mill/separator, Roller press/ball mill/separator, Roller press/separator/ball mill, Roller press/separator, Roller press/ball mill/high eff. classifier/variable speed drive โดยอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศไทยบางโรงใช้

เทคโนโลยี Roller press/separator/ball mill ให้ค่าการบริโภคพลังงาน 39 kWh/ton product ซึ่งมีการใช้บริโภคพลังงานสูงกว่าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่ใช้เทคโนโลยี Roller press/ball mill/high eff. คือ 39 – 22.8 = 16.2 kWh/ton product

สำหรับค่าดัชนีวัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตย่อยที่ควรเป็นหากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เลือกใช้เทคโนโลยีนั้นๆ แสดงดังตารางที่ 4.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ค่า SEC ตามเทคโนโลยีที่ใช้ (a)

กระบวนการผลิต	พลังงานความร้อน (GJ/t of product)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/t of product)	พลังงานปฐมภูมิ (GJ/t of cement) (b)
การบดหยาบ			
Jaw crusher	N/A	0.3-1.4	0.02
Gyratory crusher	N/A	0.3-0.7	0.02
Roller crusher	N/A	0.4-0.5	0.02
Hammer crusher	N/A	1.5-1.6	0.03
Impact crusher	N/A	0.4-1.0	0.02
การบดละเอียด			
Ball mill	NA	22	0.39
Vertical mill	NA	16	0.28
Hybrid systems	NA	18-20	0.32-0.35
Roller Press-integral	NA	12	0.21
Roller Press-pre-grinding	NA	18	0.32
การผลิตปูนเม็ด			
Wet	5.9-7.0	25	6.2-7.3
Lepol	3.6	30	3.9
Long dry	4.2	25	4.5
Short dry-suspension Preheating	3.3-3.4	22	3.6-3.7
Short dry-pre-heater & pre-calciner	2.9-3.2	26	3.2-3.5
Shaft	3.7-6.6	N/A	3.7-6.6
การบดซีเมนต์ (c)			
Ball mill	N/A	55	0.60
Ball mill/separator	N/A	47	0.51
Roller press/ball mill/separator	N/A	41	0.45
Roller press/separator/ball mill	N/A	39	0.43
Roller press/separator	N/A	28	0.31

[a] พลังงานที่นำไปใช้คิดเป็น ต่อ 1 หน่วยของผลผลิตที่ได้แต่ละกระบวนการ พลังงานปฐมภูมิคำนวนมาจาก 1 ตันของซีเมนต์ปอตแลนด์(มีปูนเม็ดผสมอยู่ 95%) N/A คือไม่มีค่าพลังงาน

[b] พลังงานปฐมภูมิคำนวนมาจากประสิทธิภาพการแปลงพลังงานความร้อนเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ 33%(LHV)

[c] ที่การบดของซีเมนต์ปอตแลนด์มีส่วนผสมของ ปูนเม็ด 95% และ ยิปซัม 5% ที่ความละเอียด 4000 Blaine

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าในเทคโนโลยีของกระบวนการผลิตย่อยที่ให้ค่าการบริโภคพลังงานต่ำที่สุดตามลำดับดังนี้ กระบวนการบดหยาบ กระบวนการบดละเอียด กระบวนการผลิตปูนเม็ดและกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ Jaw Crusher เท่ากับ 0.3-1.4 kWh/ton product, Roller Press-integral เท่ากับ 12 kWh/ton products, Short dry-pre-heat & pre-calciner เท่ากับ 26 kWh/ton product และ 2.9 GJ/ton product และRoller press/ball mill/high eff. classifier/variable speed drive เท่ากับ 22.8 kWh/ton product และหากเมื่ออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใดที่ได้เลือกใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิตย่อยใดแล้วค่าSEC ของเทคโนโลยีนั้นก็ไม่ควรจะต่ำกว่าที่ควรจะทำได้เช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เลือกใช้เทคโนโลยี Ball Mill ในกระบวนการบดละเอียด ซึ่งมีค่า SEC เท่ากับ 22 kWh/ton product ฉะนั้นอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นั้นก็ควรจะให้ค่า SEC ของกระบวนการบดละเอียดไม่สูงกว่า 22 kWh/ton product

เนื่องจากประสิทธิภาพพลังงานไม่ได้ผันแปรตามกระบวนการผลิตแต่เพียงอย่างเดียว เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่ต่างกัน ยังมีผลต่อประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานด้วย ดังนั้นกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันย่อมมีเกณฑ์การใช้พลังงานที่ต่างกัน โดยการใช้การจัดกลุ่มที่แยกย่อยลงตามกระบวนการผลิต ก็จะช่วยให้เกิดเกณฑ์การใช้พลังงานที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ในระดับหนึ่ง เพื่อให้มีเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสม จึงมีแนวทางในการกำหนดเกณฑ์โดยยึดหลักการใช้เทคโนโลยีเป็นเกณฑ์ในการเทียบเคียงของกระบวนการผลิตย่อย

จากแนวทางข้างต้นจึงได้มีการกำหนดเกณฑ์ค่า SEC Benchmarking สำหรับกระบวนการผลิตย่อยและค่าปรับแก้ของกระบวนการผลิตย่อยและเทคโนโลยี โดยพิจารณาจากเทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Best Available Technology) และแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) สำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ซึ่งจะพิจารณาจากการเลือกเทคโนโลยีการผลิตย่อยที่มีในปัจจุบันและค่า SEC ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ต่ำที่สุดจากตารางที่ 4.12 เพื่อใช้กำหนดเป็นค่า SEC Benchmarking ของเทคโนโลยีสำหรับกระบวนการผลิตย่อย โดยมีรายละเอียดค่า SEC ของกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตย่อยนั้นๆแสดงดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ตามกระบวนการผลิตย่อยที่ถูกเลือกเป็นเทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Best Available Technology; BAT) ของกระบวนการผลิตย่อยแสดงในตารางที่ 4.12 (แสดงด้วยตัวทึบ)

ตารางที่ 4.12 ค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การใช้พลังงานกระบวนการผลิตที่เทคโนโลยีต่างๆ

กระบวนการผลิต	เทคโนโลยี	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานเชื้อเพลิง	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานเชื้อเพลิง
		kWh/t product	GJ/t product	kWh/t clinker	GJ/t clinker
การบดหยาบ	Gyratory Crusher	0.3 - 0.7	-	0.498 - 1.162	-
	Roller Crusher	0.4 - 0.5	-	0.664 - 0.83	-
	Jaw Crusher	**0.3 - 1.4**	**-**	**0.498 - 2.324**	-
	Impact Crusher	0.4 - 1.0	-	0.664 - 1.660	-
การบดละเอียด	Ball mill	22	-	36.52	-
	Roller Press-pregringing	18	-	29.88	-
	Vertical Mill	16	-	26.56	-
	Roller Press-integral	**12**	**-**	**19.92**	-
การเผาปูนเม็ด	Shaft	25	3.7	25	3.7
	Long dry	25	4.2	25	4.2
	Lepol	30	3.6	30	3.6
	Short dry-suspension Preheat	22	3.3	22	3.3
	Short dry-preheat&precalciner	**26**	**2.9**	**26**	**2.9**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 ค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การใช้พลังงานกระบวนการผลิตที่เทคโนโลยีต่างๆ (ต่อ)

กระบวนการผลิต	เทคโนโลยี	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานเชื้อเพลิง	พลังงานไฟฟ้า	พลังงานเชื้อเพลิง
		kWh/t product	**GJ/t product**	**kWh/t clinker**	**GJ/t clinker**
การบดซีเมนต์	Ball mill	55	-	55	-
	Ball mill/separator	47	-	47	-
	Roller press/ball mill/separator	41	-	41	-
	Roller press/separator/ball mill	39	-	39	-
	Roller press/separator	28	-	28	-
	Roller press/ball mill/high eff. classifier/variable speed drive	**22.8**	**-**	**22.8**	-
		kWh/t product		GJ/t product	
SEC Benchmarking per ton clinker		**69.22**		**2.90**	
SEC Benchmarking per ton cement		**65.76**		**2.76**	

หมายเหตุ 1.66 kg raw meal เข้ากระบวนการผลิตได้ 1 kg clinker, clinker 0.95 kg + 0.05 ยิปซัม = 1 kg cement

อ้างอิง : Opportunities for Improving Energy Efficiency and Increasing Economic Output in Chinese Cement Kilns, ACEEE(American Council for and Energy-Efficient Economy) Summer Study on Energy Efficiency in Industry, July 24-27, 2007, by Lynn Price and Christina Galitsky, Environmental Energy Technologies Division, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 ค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตย่อยอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

(ton ของผลผลิต)

ผู้ประกอบการ	ขั้นตอนการผลิต	ผลผลิต = วัตถุดิบ		ผลผลิต = ปูนเม็ด		ผลผลิต = ซีเมนต์	
		kWh/ton	GJ/ton	kWh/ton	GJ/ton	kWh/ton	GJ/ton
การผลิตเริ่มที่การบดหยาบวัตถุดิบผลิตปูนเม็ดและปูนซีเมนต์	การบดหยาบ	0.30	-	0.498	-	0.473	-
	การผสม บดละเอียด	12	-	19.92	-	18.92	-
	การเผา	-	-	26	2.90	24.7	2.755
	การบดผสมซีเมนต์	-	-	-	-	22.80	-
	การบรรจุถุง	-	-	-	-	3.04	-
	รวม	12.30		46.42	2.90	69.93	2.755
	SEC ปฐมภูมิGJ/ton	**0.098**		**3.27**		**3.31**	
นำปูนเม็ดมาบดผสมเป็นปูนซีเมนต์		**ผลผลิต=ปูนเม็ด**		**ผลผลิต=ปูนซีเมนต์**			
	การบดผสมซีเมนต์	22.80	-			NA	
	การบรรจุถุง	3.04	-			NA	
	รวม	25.84	-			NA	
	SEC ปฐมภูมิGJ/ton	**0.21**		NA		NA	
ปูนซีเมนต์บรรจุถุง		**ผลผลิต=ปูนซีเมนต์**		NA		NA	
	การบรรจุถุง	3.04	-	NA		NA	
	SEC ปฐมภูมิGJ/ton	**0.024**		NA		NA	

อ้างอิง : World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors, Lynn Price, Christina Galitsky and Zhou Nan A Process-Step Benchmarking Approach to Energy Use at Industrial, Michael Ruth, Lawrence Berkeley National Laboratory, Ernst Worrell, Lawrence Berkeley National Laboratory and Lynn Price, Lawrence Berkeley National Laboratory

จากตารางที่ 4.13 ค่า SEC Benchmarking ของการผลิตวัตถุดิบคือ 12.30 Kwh/ton (วัตถุดิบ) หรือ ค่า SEC Benchmarking ของการผลิตปูนเม็ดคือ 3.27 GJ/ton (ปูนเม็ด) หรือ ค่า SEC Benchmarking ของการผลิตปูนซีเมนต์คือ 3.31 GJ/ton (ปูนซีเมนต์)

การรวบรวมข้อมูลค่า SEC ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จากข้อมูลโรงงานผลิตปูนในประเทศ ทั้งจากรายงานการตรวจติดตามด้านพลังงาน (Energy Audit Report) ข้อมูลการผลิตการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุม (บพร1) ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่าง และข้อมูลค่า SEC ของโรงงานปูนซีเมนต์ต่างประเทศ เพื่อการจัดทำค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิตปูนเม็ด และกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยโรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยจะให้ข้อมูลค่า SEC ของกระบวนการผลิต

ปูนซีเมนต์ที่ต่ำกว่า แต่มิได้หมายความว่าโรงงานที่ให้ข้อมูลค่า SEC ของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์สูง สาเหตุมาจากการใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ไม่ทันสมัยแล้วจะไม่มีประสิทธิภาพในเรื่องการใช้พลังงานและไม่อนุรักษ์พลังงาน

4.3.5 การประเมินค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ โรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใดเมื่อต้องการประเมินค่าการบริโภคพลังงานของกระบวนการผลิตในโรงงานของตัวเองเพื่อต้องการทราบว่าเทคโนโลยีที่โรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่โรงงานตนเองใช้อยู่ในปัจจุบันนี้มีค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยเมื่อเทียบเคียงกับค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตย่อยแล้วมีค่าต่างกันมากหรือน้อยเท่าไรและจะสามารถพัฒนาประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานของโรงงานตนเองให้มีค่าใกล้เคียงกับค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตย่อยนั้นมากที่สุดทำได้ดังนี้

1. วิเคราะห์ว่ากระบวนการผลิตประกอบด้วยกระบวนการผลิตย่อยใดบ้าง
2. เลือกชนิดอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีที่โรงงานของตนเองใช้อยู่ในปัจจุบันและนำค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยเทียบเคียงกับค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตย่อยที่เป็นเทคโนโลยี (ที่ทำงานได้ทางปฏิบัติที่ดีที่สุด) ให้ค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยต่ำที่สุดโดยเทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Best Available Technology) ที่เลือกจากตารางที่ 4.12 ของกระบวนการผลิตย่อยคือ

2.1กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (Raw Meal preparation) เลือก Roller Press Integral

2.2 กระบวนการผลิตปูนเม็ด (Clinker Production) เลือก Shot dry pre-heater & pre-calciner

2.3 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จากปูนเม็ด เลือก Roller Press/ball mill, high efficiency, classifier, VSD.

3. เทียบเคียงเทคโนโลยีสำหรับกระบวนการผลิตย่อยของโรงงานตนเองกับเทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Best Available Technology) แล้ว และประเมินการเทียบเคียงนั้นว่าค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยในโรงงานตนเองมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าเกณฑ์ที่ควรจะเป็น

4.4 ค่าปรับแก้สำหรับค่าดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของแต่ละกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

เนื่องจากเทคโนโลยีที่แตกต่างกันมีผลต่อการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตดังนั้นจากการกำหนดค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ตามกระบวนการผลิตย่อยแล้วแต่โรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไม่ได้ใช้เทคโนโลยีเดียวกับเทคโนโลยีที่เป็นแนวทางปฏิบัติ

ที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Best Practice)แต่ต้องการจะเทียบเคียงเทคโนโลยีของโรงงานตนที่ใช้อยู่เพื่อต้องการรู้ระดับการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตนั้นๆก็สามารถจะเทียบเคียงค่าดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ(SEC)ของกระบวนการผลิตได้โดยใช้ค่าปรับแก้สำหรับค่าดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการผลิตย่อยตามเทคโนโลยีที่ใช้ ก่อนที่จะนำไปเทียบเคียงกับเทคโนโลยีเดียวกันกับที่โรงงานตัวเองใช้อยู่ในขณะนั้น ดังแสดงในตารางที่ 4.15 แสดงค่าปรับแก้สำหรับค่าดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการผลิตย่อยตามเทคโนโลยีที่ใช้

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่มีค่าดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของแต่ละกระบวนการการผลิตหลังจากการปรับแก้สูงกว่าเกณฑ์อยู่ แสดงว่า ประสิทธิภาพพลังงานต่ำกว่าที่ควรจะเป็น และในกรณีที่โรงงานอุตสาหกรรมใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างจากที่ระบุในตารางที่ 4.12 และต้องการกำหนดค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของโรงงานตนเอง ให้เลือกใช้ค่า SEC ของเทคโนโลยีที่ตรงกับของตนเองแล้วนำค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยมารวมกัน ซึ่งถ้าเทคโนโลยีของตนแตกต่างจากที่เลือกเป็นค่าเทียบเคียง (ค่าต่ำที่สุด) ค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยของตนย่อมจะสูงกว่าค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ หรือใช้ตารางที่ 4.14 ค่าปรับแก้สำหรับค่าเทียบเคียงดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC Benchmarking) ของกระบวนการผลิตย่อยตามเทคโนโลยีที่ใช้ โดยเลือกค่าปรับแก้ของเทคโนโลยีโรงงานใช้ นำไปรวมกับค่าเทียบเคียงดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ(SEC Benchmarking) ของกระบวนการผลิตย่อยผลที่ได้รับคือ ค่าเทียบเคียงดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC Benchmarking) ของกระบวนการผลิตย่อยตามเทคโนโลยีที่ใช้ของโรงงานตนเอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าปรับแก้ สำหรับค่าดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการผลิตย่อยตามเทคโนโลยีที่ใช้

กระบวนการผลิต	เทคโนโลยี	ไฟฟ้า kWh/ton product	เชื้อเพลิง GJ/ton product	ความสัมพันธ์ kWh/ton product	ความสัมพันธ์ GJ/ton product
บดวัตถุดิบ	Gyratory Crusher	0.3 - 0.7	-	0	-
	Roller Crusher	0.4 - 0.5	-	0.1	-
	Jaw Crusher*	0.3 - 1.4	-	0	-
	Impact Crusher	0.4 - 1.0	-	0.1	-
บดละเอียด	Ball mill	22	-	10	-
	Roller Press – pre-grinding	18	-	6	-
	Vertical Mill	16	-	4	-
	Roller Press - integral*	12	-	0	-
การเผาเม็ดปูน	Shaft	25	3.7 - 6.6	-1	0.80
	Long dry	25	4.20	-1	1.30
	Lepol	30	3.60	4	0.70
	Short dry - suspension Preheat	22	3.3-3.4	-4	0.40
	Short dry - preheat & pre-calciner*	26	2.9 - 3.2	0	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าปรับแก้ สำหรับค่าดัชนีชี้การบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ของกระบวนการผลิตย่อยตามเทคโนโลยีที่ใช้ (ต่อ)

กระบวนการผลิต	เทคโนโลยี	ไฟฟ้า kWh/ton product	เชื้อเพลิง GJ/ton product	ความสัมพันธ์ kWh/ton product	ความสัมพันธ์ GJ/ton product
การบดซีเมนต์	Ball mill	55	-	32.20	-
	Ball mill/separator	47	-	24.20	-
	Roller press/ball mill/ separator	41	-	18.20	-
	Roller press/separator/ball mill	39	-	16.20	-
	Roller press/separator	28	-	5.20	-
	Roller press/ball mill/high eff.*	22.80	-	0	-
	Classifier/Variable Speed drive				

หมายเหตุ วัตถุดิบ 1.66 kg เข้ากระบวนการผลิตจะได้ปูนเม็ด 1 kg clinkerและปูนเม็ด 0.95 kg ผสมยิปซัม 0.05 ยิปซัม จะได้ปูนซีเมนต์

* เทคโนโลยีกระบวนการผลิตย่อยที่ใช้เป็นเทคโนโลยีอ้างอิง

อ้างอิง : Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making, an ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers, Ernst Worrell and Christina Galitsky

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการใช้ค่าปรับแก้ เช่น โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ที่ใช้เทคโนโลยีในแต่ละขั้นตอนเป็นเทคโนโลยีที่ดีที่สุดตามเทคโนโลยีที่อ้างอิง ยกเว้นในกระบวนการ Raw meal grinding ที่ใช้ Ball mill ในการบด ซึ่งการใช้ Ball mill นี้จะมีค่า SEC Benchmarkingเท่ากับ 22 kWh/ton product ในขณะที่เทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการ Raw meal grinding คือการใช้ Roller Press – integral ที่มีค่า SEC น้อยที่สุด คือ 12 kWh/ton product (จัดว่าเป็นค่า SEC Benchmarking) ดังนั้น ค่า SEC จากการใช้ Ball mill จึงต่างกับค่า SEC Benchmarking เท่ากับ 22 – 12 = 10 kWh/ton product นั่นก็คือค่าปรับแก้ (Correction) และเมื่อนำค่าปรับแก้ไปบวกเพิ่มกับค่า SEC ของกระบวนการผลิตทั้งหมด Benchmarking per ton cement เท่ากับ 65.76 kWh/ton product และเมื่อนำค่า ปรับแก้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 ไปบวกเพิ่มแล้วเท่ากับ 75.76 kWh/ton product ก็จะทำให้ได้ค่า SEC อ้างอิงตามเทคโนโลยีที่โรงงานใช้อยู่จริงนั่นเอง

4.5 การเทียบเคียงค่า SEC Benchmarking กับค่า SEC ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

4.5.1 การเปรียบเทียบค่า SEC Benchmarking กับค่า SEC ในโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จากฐานข้อมูลการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุม (บพร. 1)

ในตารางที่ 4.15 แสดงค่า SEC ที่ประเมินจากฐานข้อมูลการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุม (บพร.1) ของโรงงานปูนซีเมนต์ และข้อมูลค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยดังแสดงในตารางที่ 4.16 เมื่อสอบเทียบค่า SEC ของกระบวนการผลิตอย่างเดียวจากข้อมูลของโรงงานเอง กับ ค่า SEC Benchmarking แล้ว SEC ของกระบวนการผลิตย่อยของโรงงาน มีค่าสูงกว่าค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตย่อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบ Sec Benchmarking กับข้อมูล SEC โรงงานตัวอย่าง

โรงงาน	ปี 2547			ปี 2548		
	SEC.EE	SEC.TH	SEC.total	SEC.EE	SEC.TH	SEC.total
	kWh/ตัน	GJ/ตัน	GJ/ตัน	kWh/ตัน	GJ/ตัน	GJ/ตัน
บ.ปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย)	114.72	3.55	4.47	113.42	3.43	4.34
บ.ทีพีไอ โพลีน	101.36	3.18	3.99	106.02	3.02	3.87
บ.ปูนซีเมนต์นครหลวง โรงงาน 2	118.25	4.13	5.08	113.81	4.12	5.03
บ.ชลประธานซีเมนต์(ชะอำ)	131.1	4.12	5.17	124.1	3.16	4.15
บ.ปูนซีเมนต์ไทย(ทุ่งสง)	90.63	3.19	3.92	105.59	6.25	7.1
บ.ชลประธานซีเมนต์(ตาคลี)	126.52	3.7	4.17	117.67	3.56	4.5
บ.ปูนซีเมนต์ไทย(ท่าหลวง)	N/A	N/A	N/A	113.89	3.64	4.72
บ.ปูนซีเมนต์ไทย(ลำปาง)	92.580	2.45(1)	3.19	94.79	2.78	3.54
SEC Benchmarking				65.76	2.76	3.26

หมายเหตุ (1) SEC.th ต่ำกว่าค่าทฤษฎี

ตารางที่ 4.16 เปรียบเทียบ ค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อย

โรงงาน	กระบวนการผลิต			
ชื่อโรงงาน(ข้อมูลปี พ.ศ.)	การเตรียมวัตถุดิบ GJ/ตันซีเมนต์	ปูนเม็ด GJ/ตันซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ GJ/ตันซีเมนต์	ทั้งหมด GJ/ตันซีเมนต์
บ.ปูนซีเมนต์ไทย (แก่งคอย) (2543)	0.338	5.896	0.415	6.649
บ.ทีพีไอ โพลีน(2547)	0.25	3.374	0.287	3.3911
บ.ปูนซีเมนต์ไทย(ทุ่งสง) (2543)	0.472	4.864	0.233	5.569
บ.ปูนซีเมนต์ไทย(ท่าหลวง) (2545)	0.632	8.906	0.575	10.113
บ.ปูนซีเมนต์ไทย(ลำปาง) (2543)	0.228	2.649	0.209	3.086
บ.ปูนเอเชีย				0
โรงงานปูนซีเมนต์อ้างอิง (Benchmark)	0.151	2.973	0.17	3.294

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

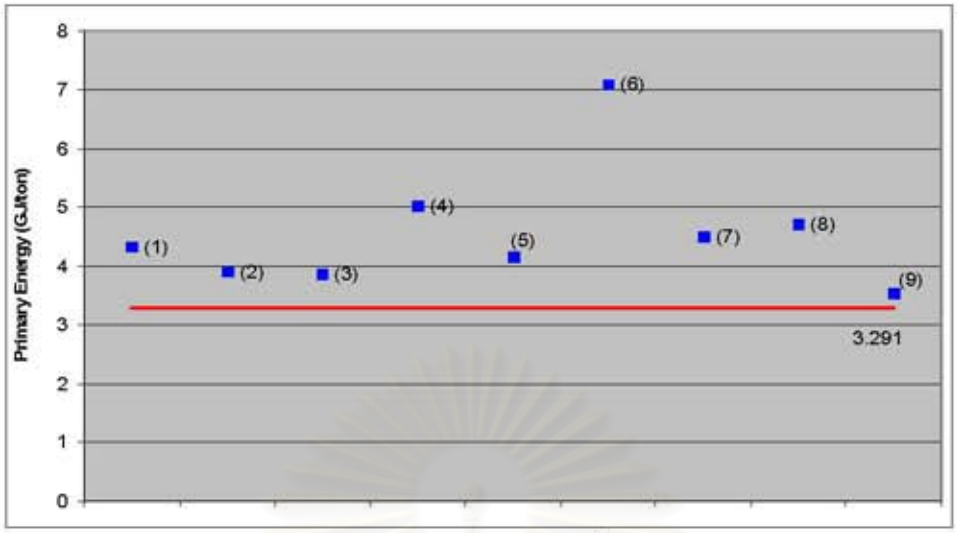
4.5.2 การเปรียบเทียบค่า SEC Benchmarking กับค่า SEC ในโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่เข้าตรวจวัด

ในการทำการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานเพื่อเพิ่มมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในครั้งนี้ได้นำตัวอย่างค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ของโรงงานที่ได้ไปตรวจวัดมาแสดงให้เห็นและเทียบเคียงกับ ค่า SEC Benchmarking ซึ่งจะแสดงข้อมูลค่า SEC ของโรงงานนี้ที่ได้ทำการตรวจวัดมาในปี พ.ศ. 2549 โดยแสดงไว้ในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยของโรงงานตัวอย่างที่ได้ทำการตรวจวัด

กระบวนการผลิต	SEC โรงงานตัวอย่าง	SEC Benchmark
การเตรียมวัตถุดิบ	23.67 kWh/ton clinker	20.418 kWh/ton clinker (12.30 kWh/ton raw material X 1.66)
ปูนเม็ด	3.947 GJ/ton clinker	3.10 GJ/ton clinker
ปูนซีเมนต์	35.820 kWh/ton cement (37.71 kWh/ton clinker X 0.95)	22.8 GJ/ton cement

จากตารางที่ 4.17 ข้อมูลค่า SEC ทุกๆค่าของแต่ละกระบวนการคือ กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผลิตปูนเม็ดและ ในกระบวนการบดซีเมนต์ขั้นสุดท้าย ให้ค่า SEC ของแต่ละกระบวนผลิตย่อยสูงกว่าค่า SEC Benchmarking ของกระบวนการผลิตย่อยจากตารางที่ 4.13 เช่น ในตารางที่ 4.17 กระบวนการเตรียมวัตถุดิบให้ค่า SEC เท่ากับ 23.67 kWh/ton clinker สูงกว่าเมื่อเทียบกับ ค่า SEC Benchmark ซึ่งเท่ากับ 20.418 kWh/ton clinker ทั้งนี้เนื่องจากอาจจะเป็นเพราะการใช้เทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่ต่างกันจึงทำให้ค่า SEC ออกมาต่างกับเทคโนโลยีของค่า SEC Benchmarking ส่งผลให้ต้องมีการเพิ่มมาตรการเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตย่อยและเพื่อพยายามปรับปรุงให้ได้มาซึ่งค่า SEC ของกระบวนการผลิตย่อยที่มีค่าใกล้เคียงค่า SEC Benchmarking มากที่สุด



หมายเหตุ การประเมิน SEC กระบวนการผลิตไม่รวมการใช้พลังงานที่ระบบ Utilities

แสดงค่า SEC Benchmarking อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบของแต่ละโรงงาน

แสดงค่า SEC ของโรงงานตัวอย่าง

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ SEC Benchmarking กับ SEC โรงงานตัวอย่าง

จากการเข้าตรวจวัดโรงงานและทำการสรุปค่า SEC ของกระบวนผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าโรงงานตัวอย่างที่ 9 มีค่า SEC ของกระบวนผลิตใกล้เคียงกับค่า SEC Benchmarking เนื่องมาจากโรงงานตัวอย่างนี้ใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุด (Best Available Technology) ณ ขณะนี้ในกระบวนการผลิตส่งผลให้การบริโภคพลังงานต่ำ ดังนั้นการที่โรงงานปูนซีเมนต์มีค่า SEC สูงกว่าค่า SEC Benchmarking นั้นขึ้นกับระดับการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการ และพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ พยายามปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการผลิตเพื่อให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากที่สุด แต่ด้วยงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด การลงทุนเพื่อปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานนั้นมีราคาสูง และโรงงานมีลักษณะการทำงานตลอด 24 ชั่วโมงทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไม่สามารถหยุดทำงานได้ จึงเป็นอุปสรรคที่สำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน หากนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามที่เสนอในบทที่ 5 ไปประยุกต์ใช้เพิ่มเติมในส่วนที่ยังไม่ได้ดำเนินการเพื่อจะทำให้ค่า SEC ต่ำลงและเมื่อเทียบการผลิตในกระบวนการผลิตทั้ง 3 สำหรับการผลิตปูนซีเมนต์ของโรงงานหนึ่งในประเทศไทย กับเทคโนโลยีที่ดีที่สุด สรุปได้ดังตารางที่ 4.18 ซึ่งข้อมูลนี้ได้มาจากรายงานการตรวจติดตามด้านพลังงาน (Energy Audit Report) ดังแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.18 ค่า SEC ที่อาจลดได้เมื่อเทียบกับการใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุด

ขั้นตอนการผลิต	ผลผลิต	SEC ที่ทำได้	SEC เมื่อใช้เทคโนโลยีที่ดีที่สุด	ผลการประหยัด
การจัดเตรียมวัตถุดิบ	3.4 Mt วัตถุดิบ / ปี	21 kWh / ตันวัตถุดิบ	12 kWh / ตันวัตถุดิบ	9 kWh / ตันวัตถุดิบ
การผลิตเม็ดปูน	2 Mt เม็ดปูน / ปี	3108 MJ / ตันเม็ดปูน	2977 MJ / ตันเม็ดปูน	131 MJ / ตันเม็ดปูน
การบดเป็นซีเมนต์	2.1 Mt ซีเมนต์ / ปี	42 kWh / ตันซีเมนต์	22.8 kWh / ตันซีเมนต์	19.2 kWh / ตันซีเมนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

5.1 แนวทางการหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์จากแนวทางของต่างประเทศและกรณีศึกษาของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ การดำเนินการปรับปรุงด้านพลังงานหลายๆ ด้านและจากข้อมูลการตรวจวัดการใช้พลังงานในโรงงานตัวอย่าง พบว่าเป็นไปได้ที่อุตสาหกรรมจะดำเนินการประหยัดพลังงาน ซึ่งสามารถดำเนินการได้โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยเงินลงทุนจำนวนมาก แต่ที่สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กรทั้งในรูปของตัวเงินจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ลดลง หรือในรูปแบบของผลผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น และการที่อุตสาหกรรมจะดำเนินการหรือไม่ยังขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย

ทั้งนี้จากกรณีศึกษาของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศอเมริกาและอินเดียระบุว่า การดำเนินการเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสามารถลดการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ลงได้ ในขณะเดียวกันก็สามารถลดจำนวนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่อากาศได้ด้วยเช่นกัน ดังนั้น ผู้บริหารองค์กร ตลอดจนพนักงานทุกคนจำเป็นต้องเล็งเห็นคุณค่า และประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงานด้านพลังงาน เพื่อให้เกิดการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานในองค์กรอย่างกว้างขวาง ซึ่งจะนำองค์กรไปสู่ความเป็นเลิศ และมีข้อได้เปรียบทางการค้าเหนือคู่แข่งในอนาคตในที่สุด

การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ จำเป็นต้องเข้าใจถึงการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม เครื่องมือที่ดีที่สุดที่จะช่วยให้เกิดความเข้าใจ โดยกระบวนการผลิตในกระบวนการเดียวกันใช้เทคโนโลยีที่ต่างกัน ส่งผลให้มีการบริโภคพลังงานที่แตกต่างกันได้ แม้จะใช้เทคโนโลยีที่เหมือนกันหากการใช้งานและการบำรุงรักษาที่ต่างกัน ก็มีผลการบริโภคพลังงานที่ต่างกันเช่นกัน จากการศึกษาแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในต่างประเทศ มีแนวทางการส่งเสริมของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เกี่ยวกับแรงจูงใจที่ทำให้อุตสาหกรรมดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1.การลดค่าใช้จ่ายในด้านต้นทุนของกระบวนการผลิตโดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงาน

2.ปรับปรุงความน่าเชื่อถือของระบบและควบคุม

3.ปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์

4.ความสามารถในการเพิ่มการผลิตโดยไม่มีการเพิ่มการใช้พลังงาน

5.หลีกเลี่ยงค่าใช้จ่ายที่เป็นการลงทุน เช่น การปลูกสร้างอาคาร โดยเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่มีอยู่ให้ดียิ่งขึ้น

6.เป็นบริษัทสีเขียว (Green Company)

7.เป็นบริษัทตัวอย่างแบบปฏิบัติการบริหารที่ได้ผล

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศต่างๆทั่วโลกมีนโยบายเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานของอุตสาหกรรมเอง โดยการกำหนดนโยบายด้านพลังงาน โครงสร้างหน้าที่ ความรับผิดชอบ และในการนำไปปฏิบัติจะต้องมีการวางแผนที่ดี มีความรู้ความเข้าใจในมาตรฐาน ข้อกำหนดต่างๆ ด้านพลังงาน และมีการติดตามผลเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สามารถจัดการพลังงานได้อย่างเรียบร้อยราบรื่น มีประสิทธิภาพ บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และดำเนินการได้อย่างยั่งยืน มีนโยบายในการประหยัดพลังงานและการดำเนินการที่เป็นรูปธรรมโดยมีวิธีการต่างดังนี้

1. การดำเนินการสำหรับการหวังผลระยะสั้น (ระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี) มักจะใช้แนวทางการบริหารพลังงาน (Energy Management) ซึ่งมีการนำมาตรการหลาย ๆ อย่างมาใช้ เช่น การให้คำปรึกษาด้านเทคนิคในการประหยัดพลังงาน การตรวจประเมินการใช้พลังงานในหน่วยงาน และการสร้างแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) สำหรับ การบริหารพลังงาน

2. การดำเนินการสำหรับการหวังผลระยะกลาง (ระยะเวลาไม่เกิน 3 ปี) มักจะใช้การให้แรงจูงใจด้านการเงิน และระบบภาษี (Economy and Fiscal Incentives) ในการสนับสนุนให้หน่วยงานมีการลงทุนด้านการประหยัดพลังงาน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของการให้เงินเสริมการลงทุน (Investment Subsidies) หรือการให้กู้ดอกเบี้ยต่ำ (Soft loans) หรือ อาจอยู่ในรูปของการให้สิทธิทางภาษี เช่น การให้หักลดหย่อนทางภาษีกับอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพทางพลังงาน ซึ่งอาจอยู่ในลักษณะของการเร่งการหักค่าเสื่อมราคา (Accelerated depreciation) การให้เครดิตภาษี (Tax Credit) และการลดหย่อนภาษี (Tax Reduction) การดำเนินการ ด้านสิทธิทางภาษีปกติเป็นมาตรการที่ต้องมีการดำเนินการด้านกฎหมายที่เกี่ยวข้องด้วย

3. การดำเนินการสำหรับการหวังผลระยะยาว (เกินกว่า 3 ปีขึ้นไป) มักจะใช้การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่เพื่อให้ได้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ในการดำเนินการประเภทนี้

จำเป็นต้องมีความ ร่วมมือระหว่างรัฐและหน่วยงานผู้ใช้พลังงานในการพัฒนาเทคโนโลยีซึ่งปกติจะได้รับการสนับสนุนด้านการเงินจากรัฐ

5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

การส่งเสริมให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีการดำเนินมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานจนประสบผลสำเร็จ จะต้องทำความเข้าใจกับทัศนคติและอุปสรรคที่อุตสาหกรรมพบ ถ้าจะมีการดำเนินการด้านพลังงาน ทัศนคติที่จะทำให้อุตสาหกรรมไม่สนใจการประหยัดพลังงาน เช่น การตัดสินใจในการผลิตต้องพิจารณาจากค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ ไม่เฉพาะเรื่องการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เรื่องทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะการขายสินค้ามีความสำคัญกว่าเรื่องพลังงาน และอุตสาหกรรมมีข้อจำกัดในด้านเงินทุนซึ่งไม่สามารถลงทุนในเรื่องใดได้อีก

จากข้อมูลการสอบถามโรงงานตัวอย่าง และข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์อื่นๆ สามารถสรุปจุดอ่อนและจุดแข็งของปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ซึ่งอาจจำแนกได้เป็น 4 ปัจจัย ได้ดังนี้

- จุดอ่อน

1. ปัจจัยด้านเทคนิค ซึ่งเกี่ยวกับอายุการใช้งานของเครื่องจักรที่สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง เชื้อเพลิงราคาถูกที่หาได้ในประเทศ เช่น ถ่านหิน ลิกไนท์ เป็นเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของซัลเฟอร์สูง และวัตถุดิบที่มีคุณภาพแตกต่างกัน ทำให้ขาดความแน่นอนในการใช้พลังงานในการผลิต อาทิ ความแข็งของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการบดโดยตรง

2. ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการบริโภคพลังงานสูง ดังนั้น ราคาพลังงานที่สูงขึ้น จึงส่งผลต่อต้นทุนสินค้าโดยตรง และในกรณีที่จะทำการเปลี่ยนแปลงหรือประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ดีกว่า (ประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้น ประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานดีกว่า ฯลฯ) จะทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง

3. ปัจจัยด้านทรัพยากรมนุษย์ พนักงานระดับปฏิบัติการบางส่วน ยังไม่มีความรู้ความเข้าใจที่ดี เกี่ยวกับพลังงานและประสิทธิภาพพลังงาน เนื่องจากในการทำงาน พนักงานเพียงแต่ปฏิบัติงานตามมาตรฐานการทำงานที่บริษัทจัดทำขึ้นเท่านั้น

4. ปัจจัยด้านองค์กรและพฤติกรรม ขาดข้อบังคับ หรือกฎหมาย ที่จะทำให้บริษัทจำเป็นต้องออกนโยบายในด้านการอนุรักษ์พลังงาน การวางนโยบายของผู้บริหารระดับสูงในด้าน

การอนุรักษ์พลังงาน อาจจะยังเป็นเรื่องรอง เนื่องจากในบางบริษัทจำเป็นต้องดำเนินการโครงการอื่นที่มีความจำเป็นมากกว่า ก่อนการดำเนินการด้านการอนุรักษ์พลังงาน

- จุดแข็ง

1. ปัจจัยด้านเทคนิค สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตซีเมนต์ในประเทศไทยนั้น เทคนิคหรือเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตเป็นเทคโนโลยีเดียวกันทั้งหมด คือ Dry Process ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงที่สุด เทคโนโลยีในการผลิตคงที่ ทำให้การติดตั้งเครื่องจักรแต่ละครั้ง สามารถใช้ในงานผลิตได้ตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักร และมีระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง จำเป็นต้องเดินสายการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง จึงทำให้ได้ผลที่ชัดเจนเมื่อดำเนินโครงการอนุรักษ์พลังงาน

2. ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนของวัตถุดิบหลักและการขนส่งวัตถุดิบต่ำ เนื่องจากส่วนมากเป็นวัตถุดิบที่ได้รับจากการสัมปทานเหมืองแร่ของบริษัท และโรงงานผลิตจะตั้งอยู่ติดกับแหล่งวัตถุดิบ ในส่วนของค่าพลังงานเชื้อเพลิงและค่าพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น จนทำให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนหากทำตามมาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน เช่นการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งสามารถลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ นอกจากจะช่วยลดต้นทุนทางด้านพลังงาน

3. ปัจจัยด้านทรัพยากรมนุษย์ บุคลากรระดับบริหารมีระดับการศึกษาตั้งแต่ปริญญาตรีขึ้นไป โดยบางส่วนเป็นผู้เชี่ยวชาญชาวต่างชาติ ซึ่งมีประสบการณ์สูงทั้งในด้านการบริหารและทางด้านเทคนิค มีระบบการฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่อง และมีการคัดเลือกพนักงานเป็นอย่างดี

4. ปัจจัยด้านองค์กรและพฤติกรรม การวางผังโรงงาน ระบบการผลิตและวิธีการทำงาน มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากได้ถูกออกแบบไว้ตั้งแต่เริ่มการออกแบบก่อสร้าง ซึ่งโดยมากจะได้รับการออกแบบจากผู้ชำนาญการจากต่างประเทศ โดยมีระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นอย่างดี มีกำหนดการที่ชัดเจน สำหรับการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่และการเปลี่ยนเครื่องจักรทดแทนเมื่อเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งบริษัทผู้ผลิตปูนซีเมนต์เอง จัดว่าเป็นองค์กรที่มีระบบการจัดการ และมาตรฐานในการทำงานที่ดี มีการวางนโยบาย และโครงการเกี่ยวกับการลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน

- ปัญหาและอุปสรรคในสำหรับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่จะดำเนินการพัฒนาประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดพลังงาน มี 4 ด้านดังนี้

1. ด้านการผลิต การขนส่งและเทคโนโลยี ขาดการลงทุนในเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าปริมาณมาก ๆ เพื่อการส่งออก ทำให้การลำเลียงสินค้าลงเรือใหญ่ช้า เมื่อ

เปรียบเทียบกับคู่แข่งในต่างประเทศ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากโรงงานมาสู่ท่าเรือสูง รวมทั้งการไม่สามารถจัดหาสายเดินเรือที่ราคาต่ำได้ ทำให้ราคาสินค้าเพื่อการส่งออกแข่งขันลำบาก

2. ด้านวัตถุดิบและพลังงาน แหล่งเชื้อเพลิงในประเทศที่มี คือ ลิกไนต์ ซึ่งมีค่าพลังงานความร้อนต่ำ จึงต้องนำเข้าเชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงกว่า เช่น บิทามินัส ฯลฯ มาใช้ร่วมในกระบวนการผลิต และแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ มีกฎหมายที่เป็นพระราชบัญญัติหลายฉบับ ซึ่งใช้มานานยังไม่มีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งมีหลายกระทรวงที่เกี่ยวข้อง ทำให้การอนุญาตต่าง ๆ เป็นไปด้วยความล่าช้า เช่น ความล่าช้าในการต่ออายุประทานบัตรในพื้นที่ลุ่มน้ำชั้นที่ 1 หรือเขตป่าอนุรักษ์ เป็นอุปสรรคในการประกอบการเรื่องวัตถุดิบ

3. ด้านการตลาด เครือข่ายในการส่งออกไม่กว้างขวาง ยกเว้นบริษัทที่ร่วมทุนกับผู้ผลิตระดับโลก ซึ่งมีเครือข่ายการส่งออกทั่วโลก และความต้องการในประเทศลดต่ำลง ทำให้กำลังการผลิตเหลือ จึงมีต้นทุนคงที่ (Fixed cost) สูง และราคาปูนซีเมนต์ส่งออกต่ำและราคาปูนซีเมนต์ในประเทศสูง ทำให้ไม่เป็นธรรมสำหรับผู้บริโภคในประเทศ

4. ด้านความสามารถในการแข่งขัน ประกอบด้วยความสัมพันธ์อันยาวนานระหว่างผู้ผลิตกับตัวแทนจำหน่าย ในธุรกิจปูนซีเมนต์นี้มีรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตกับตัวแทนจำหน่ายคล้ายกันทุกบริษัท กล่าวคือ ทั้งสองฝ่ายจะมีความสัมพันธ์อันดีระหว่างกัน ดังนั้นสำหรับผู้ประกอบการที่จะเข้ามาในธุรกิจนี้จะมีความยากลำบากในการเข้าถึงตลาด เพราะต้องสร้างเครือข่ายตัวแทนจำหน่ายของตัวเองขึ้นมาใหม่ เนื่องจากโดยส่วนใหญ่ตัวแทนจำหน่ายมักไม่เปลี่ยนไปเป็นตัวแทนจำหน่ายสินค้ายี่ห้ออื่นเท่าใดนักเพราะมีความคุ้นเคยกับผู้ผลิตเดิมอยู่แล้ว จึงเห็นได้ว่าบริษัทที่มีการสร้างเครือข่ายและดูแลตัวแทนจำหน่ายอย่างดีก่อนผู้ประกอบการรายอื่น จะมีความได้เปรียบในการยึดช่องทางการจัดจำหน่ายได้ก่อน โดยเฉพาะกรณีของบริษัทปูนซีเมนต์ไทยที่เป็นผู้ผลิตปูนซีเมนต์รายแรกและเน้นการสร้างความสัมพันธ์อันดีกับตัวแทนจำหน่าย ทำให้ทั้งสองฝ่ายทำธุรกิจร่วมกันมานานหลายสิบปีและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้เงินลงทุนและเทคโนโลยีสูง ดังนั้นผู้ประกอบการจึงต้องมีฐานะทางการเงินที่มั่นคง เพราะมีค่าใช้จ่ายหมุนเวียนในการดำเนินงานสูง เช่น ปัจจัยการผลิต บุคลากรในการดำเนินงาน ระยะเวลาในการคืนทุนรวมถึงต้องมีการขยายช่องทางการตลาดที่กว้างขวาง ฯลฯ ทำให้เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการรายใหม่ที่จะเข้าสู่ตลาด ในช่วงวิกฤติเศรษฐกิจผู้ผลิตบางรายจึงประสบปัญหาทางการเงิน และต้องมีการร่วมทุนกับต่างชาติ เพื่อให้ธุรกิจดำเนินต่อไปได้

ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ทัศนคติและปัญหาอุปสรรคดังที่กล่าวมา ยังคงมีผลต่อการดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน ดังนั้นเพื่อหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน จึงควรมีการพิจารณาปัจจัยที่จำเป็นสำหรับที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการดำเนินมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานควบคู่ไปกับปัญหาอุปสรรคต่างๆ

5.3 มาตรการการดำเนินงานในต่างประเทศของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในปัจจุบัน

ปัจจุบันอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในต่างประเทศได้นำมาตรการการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมของตนเอง โดยมาตรการต่างๆได้มาจากการศึกษาและกรณีศึกษาการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ดังแสดงตัวอย่างแนวทางการปฏิบัติในการดำเนินมาตรการการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในภาคผนวก ข มาตรการที่มีการดำเนินงานในปัจจุบันมีดังต่อไปนี้

5.3.1 มาตรการลดขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องบดหินปูนปฐมภูมิ (Limestone Primary Crusher)

หินปูนถูกขนย้ายมาจากเหมืองในลักษณะเป็นก้อนจะต้องถูกนำไปบดในขั้นปฐมภูมิด้วยเครื่องบด (Hammer) ที่มีความสามารถในการบด 50-60 ตันต่อชั่วโมง การดำเนินงานในมาตรการนี้ทำโดยการเปลี่ยนมอเตอร์หลักขนาด 220 กิโลวัตต์ (kW) ของเครื่องบดนี้ให้มีขนาดลดลงเป็น 165 kW เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้า หลังจากการลดขนาดมอเตอร์ลง สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงไปได้ 118 kW ปัจจุบันอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในประเทศได้นำมาตรการนี้มาประยุกต์ใช้บ้างแล้ว

5.3.2 มาตรการการใช้ระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพ (Efficient Transport Systems)

วัตถุดิบการผลิตจะเป็นลักษณะผง ระบบขนส่งโดยส่วนใหญ่จะมี 2 ประเภท คือ การขนส่งโดยใช้สายพาน (Mechanical Conveyor) และการขนส่งโดยใช้ลม (Pneumatic system) ซึ่งการขนส่งโดยใช้สายพานจะใช้พลังงานน้อยกว่าการขนส่งโดยใช้ลม จากงานวิจัยของ Holderbank(1993) การเปลี่ยนมาใช้การขนส่งโดยใช้สายพานจะประหยัดพลังงานลงประมาณ 1.9 kWh/ton raw material โดยมีค่าการลงทุนในการดำเนินมาตรการนี้ประมาณ 2.7 $/ton raw material และที่สำคัญระบบขนส่งแบบสายพานที่มีประสิทธิภาพนั้นต้องเป็นระบบที่มีความเสถียรด้วย มาตรการนี้ปัจจุบันได้นำมาดำเนินการใช้กับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทย

5.3.3 มาตรการการเตรียมเชื้อเพลิง (Fuel Preparation: Roller Mill)

ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ถ่านหินที่นำเข้ามาใช้ในโรงงาน จะเป็นถ่านหินเปียก เพื่อป้องกันการกระจายตัว ดังนั้นจึงต้องการใช้ระบบอบแห้งและระบบบดถ่านหิน โดยระบบอบแห้งอาจจะสามารถใช้ความสูญเสียมาใช้ในการลดความชื้นถ่านหิน สำหรับระบบบดถ่านหินนั้นสามารถแบ่ง ได้เป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบการบดแบบกระแทก (Impact mill) โดยต้องการพลังงานประมาณ 45-60 kWh/ton coal

2. ระบบการบดแบบ Tube Mill โดยต้องการพลังงานประมาณ 25-26 kWh/ton coal

3. ระบบการบดแบบ Roller Mill โดยต้องการพลังงานประมาณ 16-18 kWh/ton coal ระบบนี้จะมีค่าก่อสร้างที่สูงกว่า 2 ระบบข้างต้นแต่จะประหยัดพลังงานกว่า โดยประหยัดพลังงานกว่า Tube mill 20 เปอร์เซ็นต์ และประหยัดพลังงานกว่าระบบ Impact Mill กว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ระบบนี้กลายเป็นระบบมาตรฐานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของอเมริกาในปัจจุบัน และหลายประเทศได้ติดตั้งระบบนี้ รวมถึงประเทศไทย

5.3.4 มาตรการการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 30 เปอร์เซ็นต์ของที่โรงงานใช้ปัจจุบัน โรงงานที่นำความร้อนมาใช้ ส่วนใหญ่นำความร้อนทิ้งจากส่วนของ Pre-heater และ Clinker Cooler มาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า มาตรการนำความร้อนทิ้งมาผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ระยะเวลาคืนทุนต่ำกว่า 3 ปี โรงงานที่ทำมาตรการจะต้องเป็นประเทศที่มีศักยภาพ โดยประเมินจากผลผลิตที่ 37.8 ล้านตันต่อปีหรือ 103,560 ton/day ถ้าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ดำเนินการมาตรการนี้จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 136 เมกกะวัตต์ (MW) มาตรการนี้ในประเทศไทยมีดำเนินการบ้างแล้ว

5.3.5 มาตรการการลดการใช้พัดลม (Optimize Grate Cooler)

Clinker Cooler จะลดอุณหภูมิ Clinker จาก 1200°C จนถึง 100 °C โดยทั่วไป Clinker Cooler จะเป็นแบบ Planetary, Traveling และ Reciprocating Grate ในปี 1994 อเมริกามีการใช้ Grate Cooler ประมาณ 94 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนทั้งหมด Clinker Cooler ทุกชนิดจะให้ความร้อนกับ Secondary Combustion Air ของเตาเผา Reciprocating Grate Cooler เหมาะกับเตาเผาขนาดใหญ่ (จนถึง 10,000 tpd) ระบบนี้ใช้พัดลมไฟฟ้าและอากาศส่วนเกิน ส่วนที่อุณหภูมิสูงสุดสามารถใช้เป็น Tertiary Air ของ Pre-calciner ระบบ Rotary Cooler ซึ่งมีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ของทั้งหมด เหมาะสมกับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 2200-5000 tpd และระบบ Planetary Cooler ซึ่งมีประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดเหมาะสมกับโรงงานที่มีกำลังการผลิต 3300-4400 tpd ระบบ Planetary

Cooler ไม่ต้องใช้พัดลมและอากาศส่วนเกินมาก ทำให้ความร้อนสูญเสียค่อนข้างต่ำ Grate Cooler สามารถนำความร้อนกลับมาได้ระหว่าง 1.28-1.63 GJ/ton clinker การปรับปรุงประสิทธิภาพการนำความร้อนกลับใน Cooler จะมีผลให้เกิดการประหยัดพลังงาน แต่อาจจะมีผลกระทบกับคุณภาพผลผลิตและระดับมลภาวะ

วิธีการปรับปรุงอาจจะทำได้โดยการลดปริมาณอากาศส่วนเกิน ควบคุมการกระจายตัวของอากาศใน Grate เพื่อลดอุณหภูมิของ Clinker และเพิ่มอุณหภูมิขอากาศ การเพิ่มนำความร้อนกลับยังมีผลในการลดการใช้พลังงานในเตาเผาและ Pre-calciner ตัวอย่างการปรับปรุง Cooler มีหลายกรณีที่ดำเนินการสำเร็จไปแล้ว

บางกรณีสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 0.05-0.08 GJ/ton clinker

บางกรณีสามารถประหยัดพลังงานได้ 0.16 GJ/ton clinker

บางกรณีประหยัดพลังงานได้ 0.08 GJ/ton clinker แต่ต้องเพิ่มพลังงานไฟฟ้าไป 1.8 kWh/ton clinker

การลงทุนในการปรับปรุงประมาณครึ่งหนึ่งของการเปลี่ยน Planetary ไปเป็น Grate Cooler หรือ ประมาณ 0.25$/annual ton clinker capacity เทคโนโลยีที่ทันสมัยที่สุดในปัจจุบัน คือการติดตั้งส่วน Static Grate ที่ปลายที่ร้อนของ Clinker ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการนำความร้อนกลับมาใช้ประโยชน์มากขึ้นและลดค่าบำรุงรักษา จากการดำเนินงานจะสามารถนำความร้อนกลับมาได้ 2-5 เปอร์เซ็นต์ ของระบบ Grate ปกติ ค่าลงทุนประมาณ 0.1-0.35$/annual ton clinker capacity

5.3.6 มาตรการการนำ Roller Mill มาใช้กับ Ball Mill (High-Efficiency Roller Mills)

เดิมระบบการบดแบบเก่าใช้ Ball Mill สำหรับในปัจจุบันสามารถแทนด้วยการใช้ระบบ Roller Mill ประสิทธิภาพสูง หรือ ระบบที่มีการทำงานร่วมกันของ Ball Mill กับ Roller Press ความดันสูง หรือ ระบบ Roller Press แนวนอน จะสามารถประหยัดพลังงานไป 6-7 kWh/ ton raw material โดยมีตัวอย่างจาก Arizona Portland Cement, 1998 การลงทุนประมาณ 5.0$/ ton raw material (Holderbank, 1993) นอกจากนั้นการใช้ Roller Mill แบบแนวตั้งยังสามารถใช้ระบบอบแห้งวัตถุดิบโดยใช้พลังงานสูญเสียจากเตาเผา (Kiln) หรือ ระบบลดอุณหภูมิของปูนเม็ด (Clinker Cooler) (Lowitt, 1998)

5.3.7 มาตรการใช้พลังงานเสริม (Use of Secondary fuel)

Waste Fuel สามารถใช้แทนเชื้อเพลิงปกติที่ใช้ในเตาเผา อุตสาหกรรมซีเมนต์ในอเมริกามีการใช้ Waste Fuel เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในปี 1999 มีการใช้ยางรถยนต์เป็นเชื้อเพลิงเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ ของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ ในขณะที่ Waste Fuel ทุกชนิดมีการใช้คิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์ ของเชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ แนวโน้มการใช้ Waste Fuel เพิ่มขึ้น

ต้นฉบับไม่มีหน้านี้
NO THIS PAGE IN ORIGINAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การลดการเดินปั๊มน้ำของเครื่องปรับอากาศ

2. ด้านการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการผลิต

- การติดตั้งระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ในสายการผลิต
- การลดขั้นตอนการเดินเครื่องบดหินฝุ่น
- การติดตั้งเครื่องคัดแยกเศษเหล็กออกจากปูนเม็ดเสีย(CLINKER)
- การติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุก
- การลดเวลาเดินชุด SPOT FILTER
- การย้ายถังใช้งานคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (Liquid CO_2) แทนการใช้รถบรรทุกในการขนถ่าย
- หลีกเลี่ยงการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก (On Peak) และเพิ่มการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย (Off Peak) ทำให้ไม่ต้องเสียค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า
- การลดการเดินเครื่องจักรสูญเปล่า โดยเฉพาะเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ขนาดใหญ่ เช่น พัดลมอุตสาหกรรมในสายการผลิต เป็นต้น
- การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นหรือใช้ไฟในการผลิตลดลงทำให้อัตราค่าไฟต่อหน่วยต่ำลง โดยเฉพาะเครื่องจักรที่ใช้พลังงานในการลดขนาด เช่น การติดตั้งระบบบดก่อนการบดละเอียด (Pre-grinding system) ในการย่อยวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต
- การซื้อเครื่องจักรเทคโนโลยีสูงมาทดแทนเทคโนโลยีเก่าๆ ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น เช่น การติดตั้งเครื่องคัดแยกประสิทธิภาพสูง(High Efficiency Separator) ในการคัดแยกขนาดของผลิตภัณฑ์
- การนำก๊าซไอเสียจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ประโยชน์ โดยการเปลี่ยนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า
- การทดแทนเชื้อเพลิงหลักด้วยเชื้อเพลิงราคาถูกกว่า เช่น การใช้ถ่านหินแทนน้ำมันเตา
- การทดแทนเชื้อเพลิงหลักด้วยเชื้อเพลิงทดแทน หรือการนำของเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมประเภทที่มีค่าความร้อนมาใช้ทดแทน เช่น เชื้อเพลิงชีวมวล ขยะอุตสาหกรรม เป็นต้น

3. ด้านการอนุรักษ์พลังงานในส่วนสนับสนุน(Utility)

- การยกเลิกการเดินพัดลมระบายอากาศห้องคอมเพรสเซอร์(Compressor)

- การยกเลิกการเดินมอเตอร์ระบายความร้อนห้องคอมเพรสเซอร์
- การลดการเดินมอเตอร์ระบายความร้อนหอหล่อเย็น(Cooling Tower) ของโรงบำบัดน้ำเสีย
- การลดเวลาการเดินพัดลมทำความสะอาด (Cleaning Fan) ในกระบวนการบรรจุ
- การเปลี่ยนจอภาพในการควบคุมการผลิต โดยเปลี่ยนจอจากแบบ หลอดภาพ (CRT: Cathode Ray Tubes) เป็นจอแบบผลึก (LCD: Liquid Crystal Display) และลดขนาดลง
- การลดความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม

4. ด้านการตระหนักในการอนุรักษ์พลังงาน
   - การเข้าร่วมโครงการมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงาน
   - การทำโครงการ 5ส. ภายในโรงงาน
   - การตรวจติดตามพลังงานสำหรับโรงงานควบคุม(บพร.1) ทั้งด้านพลังงานความร้อนและไฟฟ้า เพื่อติดตามปริมาณการใช้พลังงาน
   - การทำโครงการ TQM เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต จัดให้มีการอบรมให้ความรู้แก่พนักงานอย่างสม่ำเสมอ การทำโครงการ TPM เพื่อบำรุงรักษาเครื่องจักร

5.5 มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานที่นำเสนอ

จากวัตถุประสงค์ของทุกอุตสาหกรรมที่ต้องการจะพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงนำเสนอมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ โดยมาตรการที่นำเสนอได้จากการศึกษาแนวทางในการหามาตรการต่างๆและมาตรการที่ต่างประเทศได้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์แล้วได้ผลจากการตรวจวัดที่สามารถประหยัดพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตย่อยได้ และเป็นมาตรการที่อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ดำเนินการเองในโรงงานที่มีความพร้อม เช่น โรงงานกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มาตรการพบในโรงงานตัวอย่าง และมาตรการที่รวบรวมจากข้อมูลอื่นๆ รวมถึงผลการประหยัดและระยะคืนทุน จึงได้นำแนวทางมาตรการเหล่านั้นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้หรือนำมาพัฒนาใช้กับอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ดังแสดงในภาคผนวก ค

5.5.1 มาตรการการประยุกต์อุปกรณ์ VSD ใช้ได้กับมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ

การประยุกต์อุปกรณ์ VSD ใช้ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้งานขับเคลื่อนภาระที่ทำงานเป็นวัฏจักรและความเร็วรอบไม่คงที่ งานประเภทมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนอุปกรณ์ที่ภาระงานไม่สม่ำเสมอแล้วใช้การปรับโดย Damper ในการประยุกต์ VSD เพื่อใช้จะให้ผลการอนุรักษ์พลังงาน

สูง โดยผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าประมาณ 0-5 kWh/ton ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมกับภาระ การประเมินผลการอนุรักษ์พลังงานให้ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานและเปรียบเทียบโดยตรวจวัดต่อเนื่องอย่างน้อย 1 รอบของวัฏจักรภาระงาน เช่น 1 สัปดาห์ ข้อพิจารณาเบื้องต้นของการประยุกต์อื่นให้พิจารณาภาระงานสัมพัทธ์(ภาระงานต่ำสุด/ภาระงานสูงสุด)ของระบบนั้นๆ ถ้าค่าดังกล่าวต่ำ ระยะเวลาคืนทุนของการนำมาใช้ VSD จะต่ำตาม

ตัวอย่างการใช้มาตรการ VSD กับมอเตอร์พัดลมกับโรงงานตัวอย่าง เนื่องจากการที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง จากนั้นนำถ่านหินไปบดให้เป็นผงแล้วใช้พัดลมดูดเพื่อส่งเข้าเตาเผาเม็ดปูน โดยมีมอเตอร์ขับพัดลม 6 ตัวทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ การควบคุมอัตราการไหลของลมที่ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้ที่หม้อเผาปูนเม็ด โดยมีการปรับการเปิด Damper ที่ก่อนดำเนินมาตรการร้อยละของการเปิด Damper ที่ 31 – 50 เปอร์เซ็นต์

- กำลังงานที่มอเตอร์ใช้ขึ้นกับร้อยละของการเปิด Damper โดยมีกำลังงานผันแปรระหว่าง 815.44 kW – 893.75 kW หรือโดยเฉลี่ย 850.23 kW
- โรงงานดำเนินมาตรการกับมอเตอร์พัดลม 2 ชุดจากที่มีอยู่ 6 ชุด โดยเปิด Damper 100 เปอร์เซ็นต์ ใช้การควบคุมอัตราการไหลของลมผ่านพัดลมด้วยการใช้อุปกรณ์ VSD เพื่อปรับรอบการหมุนมอเตอร์ขับพัดลม
- ภายหลังดำเนินมาตรการมอเตอร์ทำงานที่ร้อยละของความเร็วรอบเทียบกับของเดิม 68 – 73 และกำลังงานที่มอเตอร์พัดลม 500 kW – 566 kW หรือโดยเฉลี่ย 530.23 kW
- ดังนั้นโรงงานสามารถคำนวณการอนุรักษ์พลังงานได้จาก
  กำลังงานผันแปร – กำลังงานที่มอเตอร์พัดลม
  = 850.23 kW – 530.23 kW = 320 kW หรือเท่ากับ 1,536,000 kWh/ปี
- ผลการอนุรักษ์พลังงานได้จาก
  ค่าการอนุรักษ์พลังงาน(kWh) /ผลผลิต (ton clinker)
  = (1,536,000 kWh/ ปี) / (7,144,187 ton clinker /ปี)
  = 0.215 kWh/ton clinker
- โดยมาตรการนี้ใช้เงินลงทุน 3,314,688 บาท และผลการประหยัดคำนวณได้จาก
  ค่าการอนุรักษ์พลังงาน X ค่าไฟฟ้า
  =1,536,000 kWh/ปี X 2.6 บาท/ kWh = 3,993,600 บาท/ปี
- ระยะเวลาคืนทุนได้จาก เงินลงทุน / ผลการประหยัด
  = 3,314,688 บาท / 3,993,600 บาท/ปี =0.83 ปี

สำหรับพัดลมที่เหลือโรงงานสามารถนำไปใช้ดำเนินมาตรการลำดับต่อไป

5.5.2 มาตรการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตพลังงานไฟฟ้า

มาตรการนี้ได้มีการดำเนินการในต่างประเทศแต่ยังไม่มีการดำเนินการในประเทศ จากข้อมูลการสอบถามแนวความคิดของมาตรการกับโรงงานปูนซีเมนต์ตัวอย่างซึ่งได้รับคำตอบว่าโรงงานเองกำลังดำเนินการ แต่โดยที่ใช้การลงทุนสูง ทางโรงงานดำเนินการโดยขอสิทธิประโยชน์ทางภาษีเพื่อนำเข้าเครื่องจักรคือกังหันไอน้ำความดันต่ำและระบบควบคุม สำหรับอุปกรณ์ประกอบอื่นคือหม้อไอน้ำที่ใช้ลมร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตไอน้ำทางโรงงานจะนำเข้าก่อน และถ้ามีการดำเนินมาตรการนี้ต่อไปทางโรงงานจะพิจารณาเรื่องราคา ถ้าทางผู้สร้างในประเทศให้ราคาที่ต่ำกว่าก็จะดำเนินการในประเทศ

การใช้เทคโนโลยีในการนำพลังงานความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ณ เตาเผาปูน เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับโรงงาน วัตถุประสงค์หลักของการนำเทคโนโลยีดังกล่าวเข้ามาใช้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักที่สำคัญ ดังนี้

- ลดต้นทุนการผลิตในการใช้กระแสไฟฟ้า
- ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทางอ้อม ซึ่งเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงธรรมชาติทั่วไป จำพวกถ่านหิน และแร่ลิกไนต์ให้น้อยลง

การนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้นี้ เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงแนวทางพัฒนาอุตสาหกรรมที่ทันสมัย โดยเป็นไปตามหลักการในการจัดทำระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม หรือ ISO 14001 ของโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ภายใต้หลักการในการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน (Sustainable Development) ความร้อนทิ้งจากระบบมีสองส่วน ส่วนแรก เป็นลมร้อนจากทางออกของ Pre-heater อัตรา 2.094 kg/kg clinker อุณหภูมิประมาณ 315^{o}C ส่วนที่สอง เป็นอากาศร้อน (มีก๊าซออกซิเจน) จาก Clinker Cooler ที่อัตรา 0.94 kg/kg clinker ความร้อนทิ้งจาก Pre-heater Exit และ Clinker Cooler นำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนทิ้งมีการออกแบบเป็น 2 แนวทาง คือ

1. แนวทางมาตรการนำความร้อนทิ้งมาใช้เท่านั้น (ไม่มีมาตรการเสริม) ระบบนำความร้อนทิ้งมาผลิตกระแสไฟฟ้า

- กำลังไฟฟ้าที่ผลิต 11, 670 kW ต่อกำลังการผลิต Clinker10, 000 ตัน/วัน
- ประสิทธิภาพของระบบ 28.2 เปอร์เซ็นต์
- มูลค่าลงทุน 5.79 พันล้านบาท
- ระยะเวลาคืนทุน 2.58 ปี

2. แนวทางมาตรการนำความร้อนทิ้งไปเพื่อเพิ่มคุณภาพแล้วนำไปใช้ผลิตไอน้ำและพลังงานไฟฟ้า

- ใช้ความร้อนทิ้ง + ถ่านหิน 0.635 ton/hr
- กำลังไฟฟ้าที่ผลิต 13, 066 kW ต่อกำลังการผลิต Clinker10, 000 ตัน/วัน
- ระยะเวลาคืนทุน 2.64 ปี
- ราคาพลังงานไฟฟ้าส่วนเพิ่ม 0.94 Km/kWh (กำลังไฟฟ้าเพิ่ม 1396 kW)

- การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนเบื้องต้น มูลค่าการลงทุนของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง 28,800 – 36,000 ฿/kW โดยใช้สมมติฐานโรงไฟฟ้าผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังติดตั้ง มูลค่าพลังงาน 2 บาท/kWh ค่าบำรุงรักษาและดำเนินงานรายปี 10 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าระบบ ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ

ผลตอบแทนการลงทุน = (มูลค่าระบบ)/ (มูลค่าการขายพลังงานไฟฟ้า – ค่าใช้จ่ายรายปี)

= (มูลค่าโรงไฟฟ้า)/ [(0.9x11,670x365x24(kWh/yr)x2฿/kWh - 0.1xมูลค่าโรงไฟฟ้า]

เมื่อมูลค่าโรงไฟฟ้า = 11,670 kWx32,400 ฿/kWx36฿/kW

ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้นเท่ากับ 2.58 ปี

- สรุปผล มาตรการที่สองที่เพิ่มคุณภาพของอากาศร้อนก่อนนำไปใช้ จะทำให้กำลังไฟฟ้าผลิตได้เพิ่มจาก 11,670 kW เป็น 13,066 kW แต่ระยะเวลาคืนทุนของระบบเพิ่ม เพราะการเพิ่มกำลังผลิตจะเพิ่มมูลค่าการลงทุนและต้องเพิ่มค่าเชื้อเพลิง

เมื่อดำเนินมาตรการทั้งสองครบระยะเวลาคืนทุน มาตรการที่สองที่ให้ผลผลิต kW สูงกว่าจะให้ผลตอบแทนผลิตไฟฟ้าต่อปี 160 ล้านบาท ขณะที่มาตรการแรกให้ผลตอบแทน 138 ล้านบาทต่อปี

ประมาณการพลังงานไฟฟ้าผลิตได้จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มาตรการนำความร้อนทิ้งมาผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ระยะเวลาคืนทุนต่ำกว่า 3 ปี โรงงานที่ทำมาตรการนี้ จะทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อได้ประมาณ 31 เปอร์เซ็นต์ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ทุกโรงงานของประเทศที่มีศักยภาพโดยประเมินจากผลผลิตที่ 37.8 ล้านตันต่อปีหรือ 103,560 ton/day ถ้าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ดำเนินการมาตรการนี้จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 90 -136 MW

5.5.3 มาตรการเครื่องคัดแยกเศษเหล็กออกจาก CLINKER ที่ REJECT

ตัวอย่างการดำเนินการมาตรการกับโรงงานตัวอย่าง จะทำการติดตั้งเครื่องคัดแยกเศษเหล็กเพื่อลดเวลาในการทำงานที่กระบวนการผลิตก่อนนำปูนเม็ดเข้าบดเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ที่ Ball Mill ดำเนินการโดย REJECT CLINKER ที่ PLANT CEMENT MILL LINE 1 พลังงานที่ใช้ คือพลังงานความร้อน (น้ำมันดีเซล)

- สภาพเดิมก่อนการดำเนินมาตรการคือ CLINKER ที่ถูก REJECT ออกมา จะมีเศษเหล็กปนอยู่ ประมาณวันละ 30-35 ตัน ซึ่งจะต้องใช้รถ LOADER ตักออกมาโปรยบางๆบนพื้น และใช้แรงงานคนในการคัดแยกเศษเหล็กออก

  ใช้เวลาทำงาน 6 ชั่วโมงต่อวัน
  น้ำมันดีเซลที่ใช้รวม 30 ลิตรต่อชั่วโมง
  ชั่วโมงทำงานที่ใช้รวม 2,190 ชั่วโมงต่อปี
  น้ำมันดีเซลที่ใช้รวมเท่ากับ 30 X 2,190 = 65,700 ลิตรต่อปี

- ดำเนินการโดยติดตั้งเครื่องคัดแยกเศษเหล็กใน LINE ผลิต และใช้รถ LOADER ตัก CLINKER ลง HOPPER ของ เครื่องคัดแยกเศษเหล็ก

  ใช้เวลาทำงาน 2 ชั่วโมงต่อวัน
  น้ำมันดีเซลที่ใช้รวม 30 ลิตรต่อชั่วโมง
  ชั่วโมงทำงานที่ใช้รวม 1,460 ชั่วโมงต่อปี
  น้ำมันดีเซลที่ใช้รวมเท่ากับ 30 X 1,460 = 43,800 ลิตรต่อปี

- หลังจากดำเนินมาตรการปรับปรุงลดการทำงานของ รถ LOADER จากวันละ 6 ชั่วโมง เหลือ 2 ชั่วโมง และไม่ต้องใช้รถ FORK LIFT

  ชั่วโมงทำงานที่ลดลงเท่ากับ 2,190 – 1,460 = 730 ชั่วโมงต่อปี
  น้ำมันดีเซลที่ลดลงเท่ากับ 65, 700 -43800 = 21,900 ลิตรต่อปี

รูปที่ 5.1 เครื่องคัดแยกเศษเหล็กที่ PLANT CEMENT MILL LINE 1

- สรุปศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

  น้ำมันดีเซล 30.00 ลิตรต่อชั่วโมง

  ชั่วโมงการทำงาน 730.00 Hrs/ปี

  ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้เท่ากับ 30 X 730 = 21,900 ลิตร/ปี

  ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เท่ากับ 21, 900 X 30 = 657,000 บาท/ปี

  (ราคาน้ำมันดีเซล 30.00 บาทต่อลิตร)

- สรุปผลวิเคราะห์ทางการเงินและเศรษฐศาสตร์

  รวมเงินลงทุนทั้งสิ้น 920,000 บาท

  ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 920, 000 / 657,000 = 1.4 ปี

และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีตัวอื่นๆ สำหรับกระบวนการบดได้

5.5.4 มาตรการติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK

ตัวอย่างรายละเอียดของโรงงานตัวอย่างในการดำเนินมาตรการคือติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK เพื่อลดขั้นตอนการลำเลียงหินคลุกไปคัดแยกที่ PLANT TELSMITH 3 สำหรับก่อนนำวัตถุดิบเข้าไปบดที่ Jaw Crusher หรือหากเป็นเทคโนโลยีบดหยาบอื่นๆ ก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ที่ PLANT CFBK พลังงานที่ใช้พลังงานไฟฟ้า, พลังงานความร้อน (น้ำมันดีเซล)

- สภาพก่อนการดำเนินมาตรการ การคัดแยกหินคลุก จะใช้รถสิบล้อ 2 คัน ขนลำเลียงหินคลุกจาก PLANT CFBK ที่สายพาน T 5 และ T 26 มาคัดแยกที่ PLANT TELSMITH 3 จะได้ส่วนที่เป็นหิน 30 % ส่งไปใช้ที่ COMPOUND CRUSHER แทนหินใหญ่ และส่วนที่เป็นดินส่งให้ SHALE CRUSHER ชั่วโมงทำงานต่อปี 2,245 ชั่วโมง

  พลังงานที่สูญเสีย

  น้ำมันดีเซล 80,992.00 ลิตรต่อปี

  พลังงานไฟฟ้า 822,006.75 kWhต่อปี

- การดำเนินมาตรการและปรับปรุงโดยติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุก ที่สายพาน T 5 และ T 26 ค่าพลังงานไฟฟ้ารวม 54.25 kW

- หลังการดำเนินมาตรการ สามารถลดขั้นตอนใช้รถสิบล้อขนหินคลุก ไปคัดแยกที่ PLANT TELSMITH 3 สามารถประหยัดค่าพลังงานได้

  น้ำมันดีเซลเท่ากับ 80, 992 X 24 = 1,943,808.00 บาทต่อปี

  พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ [822, 006.75-(54.25 X 2245)] X 2.6

= 1,820,560.3 บาทต่อปี

รูปที่ 5.2 ตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK (T5)

รูปที่ 5.3 ตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK (T26)

- สรุปศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน

  กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 311.90 kW

  ปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้เท่ากับ 311.90 X 2,245

  = 700,215.50 kWh/ปี (ชั่วโมงการเดินเครื่องจักร 2,245 ชั่วโมง)

  ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เท่ากับ 700, 215.50 X 2.6 =1,820,560.3 บาทต่อปี

  ปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ 80,992.00 ลิตรต่อปี

  ค่าน้ำมันที่ประหยัดได้เท่ากับ 80, 992 X 30 = 2,429,760.00 บาทต่อปี

รวมค่าพลังงานที่ประหยัดได้เท่ากับ 1,820,560.3 + 2,429,760.00

= 4,250,320.3 บาทต่อปี

- สรุปผลวิเคราะห์ทางการเงินและเศรษฐศาสตร์

  รวมเงินลงทุนทั้งสิ้น 5,350,000.00 บาท

  ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 5,350,000 / 4,250,320.3 = 1.26 ปี

5.5.5 มาตรการเตาเผาปูนแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Bed Cement Kiln, FCK)

เป็นมาตรการที่ยังไม่มีการดำเนินงานในประเทศ นวัตกรรมเทคโนโลยีในการเผาปูนซีเมนต์ในปัจจุบันได้มีระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS (Fluidized Bed Advanced Cement Kiln System) โดยมีการพัฒนาไปใช้ที่บริษัท Kawasaki Heavy Industries, Ltd. ซึ่งเทคโนโลยีนี้ได้นำมาใช้แทนระบบเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) ระบบเตาเผาแบบ FAKS เป็นระบบที่ช่วยส่งเสริมด้านสิ่งแวดล้อมและช่วยลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงขึ้น รวมไปถึงสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) รายละเอียดของมาตรการนี้แสดงในภาคผนวก ค

- ข้อดีของระบบเตาเผาแบบ FAKS

1. มีความยืดหยุ่นในการใช้พลังงานสูง สามารถเลือกใช้ถ่านหินได้หลายประเภท เช่น ถ่านหินปิโตเลียม

2. ประสิทธิภาพด้านความร้อนดีขึ้น สามารถลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 10-25

3. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เพราะลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ลงร้อยละ 10-25 และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ลงร้อยละ 40

4. ผลิตผลเพิ่มขึ้นโดยใช้เวลาในกระบวนผลิตลดลง

5. ทางด้านต้นทุนนั้น ราคาของโครงสร้างเตาลดลงร้อยละ 10-30 และพื้นที่ใช้งานลดลงร้อยละ 70 การบำรุงรักษาต่ำกว่าระบบเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln)

6. ระบบ FCK มีต้นทุนน้อยกว่าระบบเดิมคิดเป็น 88เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงจากระบบเดิม 12 เปอร์เซ็นต์

7. พลังงานที่ประหยัดได้ 3,460 x 10^3 กิโลจูลต่อตันปูนเม็ด หรือพลังงานที่ประหยัดได้ร้อยละ 9.53 อนุรักษ์พลังงานได้รวม 23.3 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1 ผลการประหยัดของมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

ตารางที่ 5.1 ผลการประหยัดของมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

กระบวนการผลิตหลัก	กระบวนการผลิตย่อย	มาตราการประหยัดพลังงาน	ผลการประหยัดพลังงาน					ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
			เชื้อเพลิงถ่านหิน (ตัน)	ไฟฟ้า kWh ต่อปี	ก๊าซเรือนกระจก CO2 ต่อปี	ตัวเงิน $ ต่อปี	เงินลงทุน$	
การผลิตวัตถุดิบสำเร็จ (Raw meal Production)	การบดย่อยขนาดหินปูน	การป้องกันไม่ให้ False Air เข้าไปใน Coal Mill Circuit	-	7,740	6.91	688	-	ทันที
		ลดอัตราการไหลในท่อขาออกของ Coal Mill	-	32,000	29	2,761	-	ทันที
		การติดตั้งเครื่อง VSD ให้กับ Reducer High Pressure Pump และ Reducer Low Pressure Pump ที่ Raw mill	-	82,913	16	3,500	9,877	3 ปี
	การผสมหินปูนที่บดแล้วเข้ากับส่วนผสมอื่นๆ	การปรับปรุงการอบแห้งถ่านหินด้วยการหุ้มฉนวนและการเพิ่ม Hot Air Duct จากเตาเผาถ่านหิน	47,684	-	73	2,218	-	ทันที
		การเพิ่มความสูงและมุมของแผ่นยกภายในห้องอบแห้งถ่านหิน	-	20,003	17.8	1,726	-	ทันที
		การลดขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องบดหินปฐมภูมิ	-	27,280	24	2,354	2,326	น้อยกว่า 1 ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ผลการประหยัดของมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (ต่อ)

กระบวนการผลิตหลัก	กระบวนการผลิตย่อย	มาตราการประหยัดพลังงาน	ผลการประหยัดพลังงาน					ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
			เชื้อเพลิงถ่านหิน (ตัน)	ไฟฟ้า kWh ต่อปี	ก๊าซเรือนกระจก CO_2 ต่อปี	ตัวเงิน $ ต่อปี	เงินลงทุน$	
การผลิตวัตถุดิบสำเร็จ (Raw meal Production)	การบดและอบแห้งถ่านหิน	การลดความเร็วของพัดลมดูดอากาศใน Coal mill ด้วยการเปลี่ยนจากมอเตอร์กระแสสลับไปใช้มอเตอร์กระแสตรง	-	18,600	17	1,608	1,622	13 เดือน
		การเพิ่มเส้นผ่านศูนย์กลางของ inlet duct ของพัดลมดูดอากาศเพื่อลดอัตราการไหลและการสูญเสียความดัน	-	744	0.7	64	-	ทันที
การผลิตปูนเม็ด (Clinker Production)	การเผาวัตถุดิบสำเร็จรูปให้กลายเป็นปูนเม็ด	การเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Fan Pulley เพื่อลดความเร็วรอบของพัดลม	-	39,912	29	2,271	27.8	ทันที
		การซ่อมแซมรอยรั่วที่ Hood Door ของเตาเผาโดยใช้ซีเมนต์ทนไฟเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อน	24.5	-	45	12,283	น้อยมาก	ทันที
		การติดตั้งเครื่องปรับความเร็วรอบ (VSD) ให้กับพัดลมแบบ Forced Draft ที่ใช้งานอยู่กับเตาเผา	-	124,200	84	7,611	20,000	32 เดือน

ตารางที่ 5.1 ผลการประหยัดของมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (ต่อ)

กระบวนการผลิตหลัก	กระบวนการผลิตย่อย	มาตราการประหยัดพลังงาน	ผลการประหยัดพลังงาน					ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
			เชื้อเพลิงถ่านหิน (ตัน)	ไฟฟ้า kWh ต่อปี	ก๊าซเรือนกระจก CO_2 ต่อปี	ตัวเงิน $ ต่อปี	เงินลงทุน$	
การผลิตปูนเม็ด (Clinker Production)	การเผาวัตถุดิบสำเร็จรูปให้กลายเป็นปูนเม็ด	การปรับเปลี่ยนตะแกรงของเตาเผา (Furnace Grate Bars) และขนาดของอนุภาคถ่านหิน	50	-	77	2,326	-	ทันที
การผลิตปูนเม็ด (Clinker Production)	การทำให้ปูนเม็ดเย็นตัวลง	การดึงน้ำหล่อเย็นจากมอเตอร์ส่วนกลาง (ใช้สำหรับหมุนเตาเผา) และคอมเพรสเซอร์กลับมาใช้ใหม่	-	150,000	146	29,083	12,500	5 เดือน
		การหุ้มฉนวนบริเวณที่มีการเผาไหม้ในเตาเผา	13	-	33	338	740	27 เดือน
		การดึงความร้อนจากการเผาเม็ดปูนมาใช้ใหม่เพื่ออุ่นอากาศที่จะใช้เผาไหม้มาจากพัดลมแบบ Forced draft	445	-	-	11,570	9,500	10 เดือน
		การสำรวจการรั่วของ false air และซ่อมแซมรอยรั่วในเตาเผา	11,895	885,600	30,490	400,637	18,294	2 สัปดาห์

ตารางที่ 5.1 ผลการประหยัดของมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (ต่อ)

กระบวนการผลิตหลัก	กระบวนการผลิตย่อย	มาตราการประหยัดพลังงาน	ผลการประหยัดพลังงาน					ระยะเวลาคืนทุน (เดือน)
			เชื้อเพลิงถ่านหิน (ตัน)	ไฟฟ้า kWh ต่อปี	ก๊าซเรือนกระจก CO_2 ต่อปี	ตัวเงิน $ ต่อปี	เงินลงทุน$	
การผลิตซีเมนต์ (Cement Production)	การบดผสมปูนเม็ดเข้ากับยิปซั่มกลายเป็นซีเมนต์	การปรับปรุงการปิดผนึก (sealing) ของระบบควบคุมฝุ่น (Dust Control System)	4,500	-	11,007	14,400	2,210	น้อยกว่า 2 เดือน
อื่นๆ		การปรับปรุงซ่อมแซม Boiler เดิมที่มีอยู่และ / หรือจัดซื้อใหม่เพื่อทดแทน	1,400	-	3,514	41,000	110,000	3.1 ปี
		การปรับปรุง Cooling Tower โดยการปรับเปลี่ยนการทำงานของพัดลมและซ่อมแซมวาล์วลูกลอย	-	250,560	181	14,489	27,174	1.8 ปี
		การติดตั้งเครื่องปรับความเร็วรอบ (VSD) ให้กับพัดลมเพื่อลดการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์	-	5,530	4,004	360,000	136,000	5 เดือน

หมายเหตุ ตัวเลขที่ปรากฏในตารางทั้งหมด เป็นตัวเลขที่ได้มาจากการศึกษาทั้งสิ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผล

6.1 สรุปผล

อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย สร้างรายได้ให้กับประเทศปีละหลายแสนล้านบาทมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก เนื่องจากยังมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปริมาณที่สูง ส่งผลให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ยังคงเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศ และหากพิจารณาเพิ่มเติมในมิติด้านพลังงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางที่จะส่งเสริมและสนับสนุน ให้อุตสาหกรรมดังกล่าวมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพการพลังงาน นอกจากนั้นยังมีแรงกดดันในด้านสิ่งแวดล้อมระดับนานาชาติกับอุตสาหกรรมนี้ เนื่องจากการดำเนินการของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีผลโดยตรงในด้านการปล่อยออกของก๊าซเรือนกระจกกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

ตัววัดประสิทธิภาพพลังงานที่สำคัญที่หยิบยกขึ้นมา คือ ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการบริโภคพลังงาน (Specific Energy Consumption; SEC) ซึ่งคำนวณจากปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้นต่อปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจะมีประโยชน์อย่างมากในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน ยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง

การบริโภคพลังงานโดยประมาณ 80 เปอร์เซ็นเกิดขึ้นที่กระบวนการผลิต ดังนั้นกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันย่อมมีการใช้พลังงานที่ต่างกัน การเทียบเคียงจึงใช้การจัดกลุ่มที่แยกย่อยลงตามกระบวนการผลิตเพื่อให้เกิดเกณฑ์การใช้พลังงานที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ แต่เนื่องจากประสิทธิภาพพลังงานไม่ได้ผันแปรตามกระบวนการผลิตแต่เพียงอย่างเดียว เทคโนโลยีการผลิตที่ต่างกัน ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพพลังงานด้วย ดังนั้น เพื่อให้มีเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสม จึงมีแนวทางการกำหนดเกณฑ์การเทียบเคียงสมรรถนะการบริโภคพลังงานในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ดังนี้

- จำแนกกลุ่มอุตสาหกรรมแต่ละกลุ่มออกตามกระบวนการผลิตย่อย คือ กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการเผาปูนเม็ด และกระบวนการบดปูนเม็ดเป็นปูนซีเมนต์

- แต่ละกระบวนการผลิตย่อยให้กำหนดเกณฑ์อ้างอิง (SEC อ้างอิง) โดยเลือกจากเทคโนโลยีที่ให้ค่า SEC ต่ำที่สุดของกระบวนการผลิตย่อย นั่นคือกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (Raw Meal preparation) เลือก Roller Press Integral กระบวนการผลิตปูนเม็ด (Clinker Production) เลือก Shot dry pre-heater & pre-calciner กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จากปูนเม็ด เลือก Roller Press/ball mill, high efficiency, classifier, VSD
- กำหนดค่าปรับแก้ (Correction Value) สำหรับแต่ละเทคโนโลยีที่ต่างจากเกณฑ์อ้างอิง
- ค่าเกณฑ์อ้างอิงและค่าปรับแก้ตามเทคโนโลยีที่กำหนดขึ้น เพื่อใช้ทำการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของตนเอง ตามกระบวนการผลิตย่อยและเทคโนโลยีของตนเอง ว่ามีค่าการใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์หรือไม่และควรเพิ่มมาตรการตรงจุดไหนเพื่อให้การใช้พลังงานเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

ผลจากการประเมินค่า SEC โดยอ้างอิงจากเทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบัน (Best Available Technology; BAT) ค่า SEC Benchmarking และค่าปรับแก้สำหรับค่า SEC ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การใช้พลังงานกระบวนการผลิตที่เทคโนโลยีต่างๆอาจสรุปได้ดัง ตารางที่ 6.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 ค่า SEC Benchmarking และค่าปรับแก้สำหรับค่า SEC ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การใช้พลังงานกระบวนการผลิตที่เทคโนโลยีต่างๆ

กระบวนการผลิต	เทคโนโลยี	ไฟฟ้า kWh/ton product	เชื้อเพลิง GJ/ton product	ความสัมพันธ์ kWh/ton product	ความสัมพันธ์ GJ/ton product
บดวัตถุดิบ	Gyratory Crusher	0.3 - 0.7		0	
	Roller Crusher	0.4 - 0.5		0.1	
	Jaw Crusher*	0.3 - 1.4		0	
	Impact Crusher	0.4 - 1.0		0.1	
บดละเอียด	Ball mill	22		10	
	Roller Press – pre-grinding	18		6	
	Vertical Mill	16		4	
	Roller Press - integral*	12		0	
การเผาเม็ดปูน	Shaft	25	3.7 - 6.6	-1	0.80
	Long dry	25	4.20	-1	1.30
	Lepol	30	3.60	4	0.70
	Short dry - suspension Preheat	22	3.3-3.4	-4	0.40
	Short dry - preheat & pre-calciner*	26	2.9 - 3.2	0	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 ค่า SEC Benchmarking และค่าปรับแก้สำหรับค่า SEC ของอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ การใช้พลังงานกระบวนการผลิตที่เทคโนโลยีต่างๆ (ต่อ)

กระบวนการผลิต	เทคโนโลยี	ไฟฟ้า kWh/ton product	เชื้อเพลิง GJ/ton product	ความสัมพันธ์ kWh/ton product	ความสัมพันธ์ GJ/ton product
การบดซีเมนต์	Ball mill	55		32.20	
	Ball mill/separator	47		24.20	
	Roller press/ball mill/ separator	41		18.20	
	Roller press/separator/ball mill	39		16.20	
	Roller press/separator	28		5.20	
	Roller press/ball mill/high eff.*	22.80		0	
	Classifier/Variable Speed drive				

หมายเหตุ วัตถุดิบ 1.66 kg เข้ากระบวนการผลิตจะได้ปูนเม็ด 1 kg clinkerและปูนเม็ด 0.95 kg ผสมยิปซัม 0.05 ยิปซัม จะได้ปูนซีเมนต์

* เทคโนโลยีกระบวนการผลิตย่อยที่ใช้เป็นเทคโนโลยีอ้างอิง

อ้างอิง : Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making, an ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers, Ernst Worrell and Christina Galitsky

เพื่อการนำไปสู่มาตรการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานที่จะช่วยให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ประหยัดและอนุรักษ์พลังงาน จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ทั้งภายในประเทศ และในต่างประเทศ ศึกษาข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดของโรงงงานตัวอย่างการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต และ Utilities รวมทั้งมาตรการต่าง ๆ ที่อาจนำไปใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพและอนุรักษ์พลังงาน พบว่า ทัศนคติและปัญหาอุปสรรค ยังคงมีผลต่อการดำเนินการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน อาจสรุปปัญหาอุปสรรคสำหรับอุตสาหกรรมที่จะดำเนินการพัฒนาประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดพลังงาน ดังนี้

- มีข้อจำกัดด้านความรู้เกี่ยวกับเทคนิคในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานและผลทางเศรษฐกิจ
- ไม่ประสงค์ที่จะรับความเสี่ยงในการลงทุน
- ให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพด้านเศรษฐกิจมากกว่าประสิทธิภาพด้านพลังงาน
- ขาดการสนับสนุนที่มีแรงจูงใจมากพอในการลงทุนด้านการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน
- กฎระเบียบด้านประสิทธิภาพพลังงานในขณะนี้ยังไม่มีผลต่อการดำเนินงานของอุตสาหกรรม

- ขาดการสาธิตตัวอย่างเทคโนโลยีและโครงการประหยัดพลังงานที่ได้ผล
- ขาดบุคคลากรที่มีความรู้ความสามารถด้านการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรม ที่จะให้การสนับสนุนการดำเนินการอย่างเพียงพอ

มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานของกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ที่นำเสนอพร้อมทั้งผลการประหยัดและระยะคืนทุนหากนำมาตรการนี้ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 6.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (มาตรฐาน) อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	ผลการประหยัดพลังงาน		ระยะเวลาคืนทุน	เทคโนโลยีที่ใช้
	ไฟฟ้า	ความร้อน	ปี	
มาตรการการประยุกต์อุปกรณ์ VSD ใช้ได้กับมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระ	0.215 kWh/ton	-	0.83	เตาเผา
มาตรการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตพลังงานไฟฟ้า สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 90 -136 MW	600 GWh/year	-	2.58	-
มาตรการเครื่องคัดแยกเศษเหล็กออกจาก CLINKER ที่ REJECT	-	797.60 GJ/ปี	1.4	Ball Mill
มาตรการติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK	-	2,949.73 GJ/ปี	1.26	Jaw Crusher
มาตรการเตาเผาปูนแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Bed Cement Kiln, FCK) อนุรักษ์พลังงานได้รวม 23.3 เปอร์เซ็นต์	-	3,460 GJ/ton clinker	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2 ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

6.2.1 ข้อจำกัดด้านข้อมูล

จากการศึกษาข้อมูลด้านค่าพลังงานและเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ผู้วิจัยพบว่า ข้อจำกัดส่วนใหญ่ของการศึกษาในครั้งนี้อยู่ที่ข้อมูลประกอบการศึกษา ทั้งนี้ในการศึกษาประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เราจำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ อันประกอบด้วย ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์ ข้อมูลด้านพลังงาน ข้อมูลด้านเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต ข้อมูลด้านผลผลิตและกำลังการผลิต ที่เพียงพอและน่าเชื่อถือต่อการศึกษา แต่อย่างไรก็ตามพบว่าข้อมูลรายงานตรวจติดตามผลด้านพลังงานที่โรงงานเองต้องส่งให้แก่กระทรวงพลังงานนั้น ไม่สามารถนำมาเชื่อมโยงกันได้อย่างสมบูรณ์ ในส่วนของข้อมูลที่แต่ละโรงงานได้ส่งรายงานมานั้นมีบางข้อมูลขาดหายไปจึงไม่สามารถรู้ค่าการใช้พลังงานในส่วนนั้นได้ และโดยส่วนใหญ่จะระบุค่าพลังงานที่ใช้โดยรวม แต่ไม่ได้ระบุเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต จึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ จนทำให้เกิดการแก้ปัญหาที่ไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นเราจึงหลีกเลี่ยงปัญหาที่จะเกิดดังกล่าว โดยจำเป็นที่จะต้องขอความร่วมมือกับโรงงานเพื่อเข้าไปตรวจวัดข้อมูลเองจากโรงงานตัวอย่าง ให้ครอบคลุมทั้งด้านพลังงาน เทคโนโลยีที่ใช้จริง และมีการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่ได้มาน่าเชื่อถือ มีความถูกต้องจริง แต่อย่างไรก็ตามมีข้อมูลบางอย่างที่ทางโรงงานถือว่าเป็นความลับของโรงงานเองโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลด้านรายละเอียดของมาตรการในเรื่องพลังงาน เทคโนโลยีบางอย่างที่ใช้ ในส่วนของข้อมูลในด้านพลังงานบางอย่างและเทคโนโลยีที่สามารถให้ข้อมูลได้นั้นเราสามารถศึกษาเพิ่มเติมจากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ต่างประเทศที่ได้มีการศึกษาในเรื่องพลังงานมาแล้ว

6.2.2 ข้อเสนอแนะ

1. อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำมาตรการการจัดการด้านพลังงานอย่างเป็นระบบ เพื่อสามารถนำมาตรการต่างๆที่ได้นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมของตนเองให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

2. ควรมีการอบรมและพัฒนาความรู้เกี่ยวกับเทคนิคทางด้านเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตและการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน และผลทางเศรษฐกิจให้กับพนักงาน

3. จำเป็นต้องกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกในการประหยัดพลังงาน และในส่วนของกฎระเบียบด้านประสิทธิภาพพลังงานในขณะนี้ยังไม่มีผลต่อการดำเนินงานของอุตสาหกรรม

ควรออกระเบียบข้อบังคับ ทั้งผลในทางบวกสำหรับผู้ดำเนินการในการจัดการเรื่องพลังงานและในทางลบสำหรับผู้ที่ไม่ดำเนินการ เพื่อตระหนักถึงการใช้พลังงานและทรัพยากรที่จะหมดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

พงษ์ศักดิ์ พุทธวงศ์. 2546. การศึกษาความต้องการพลังไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม.2549. ศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่าง ๆ (SEC) อุตสาหกรรมกระดาษ. กระทรวงพลังงาน.

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. 2549. โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอโลหะ. กระทรวงพลังงาน.

มาริษา ภู่ภิญโญกุล. 2540. การพัฒนาศักยภาพการบริหารองค์กรด้วยกลวิธี Benchmarking. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม. กระทรวงสาธารณสุข. วารสารการส่งเสริมสุขภาพ และอนามัยสิ่งแวดล้อม ปีที่ 22. ฉบับที่ 3.

โรงงานอุตสาหกรรมยาง, กรม.2535. โครงการสนับสนุนการฟื้นฟูสิ่งแวดล้อมพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา กิจกรรมเสริมสร้างศักยภาพการจัดการมลพิษจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาดำเนินการศึกษาโดยสถาบัน สิ่งแวดล้อมไทย, แหล่งที่มา:www.pcd.go.th/count/waterdl.cfm?FileName=rubber.pdf [15/11/49]

วีระพงษ์ ประสาทศิลป์. 2541. การประหยัดพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า กรณีศึกษาโรงงานพลังงานความร้อนร่วมพระนครใต้ ชุดที่1 วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนเล่ม ๒๔ http://www.kanchanapisek.or.th/kp6/home.htm, http://www.learn.in.th/sample/flyash/012.html [1/12/49]

เอกรัตน์ เอกศาสตร์.2547. อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ไทย ทศวรรษแห่ง การเปลี่ยนแปลง

เอกสิทธิ สุวรรณศรี 2543. การปรับปรุงการจัดการด้านพลังงานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Cembureau the European Cement. 2006. Cement & Lime BREF Revision Cembureau Contribution Specific Energy Consumption, 31 May.

Ernst Worrell, Nathan Martin, Lynn Price Received.1999. Potentials for energy efficiency improvement in the US cement industry.

Ernst Worrell and Christina Galitsky.2004. Energy Efficiency Improvement Opportunities for Cement Making An ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers.

Flsmidth. Dry process kiln systems. Brochure is intended for preliminary project planning only .Manufacture reserves the right to modify eguipment details and/or specifications without notice.www.flismidth.com

G.A. Boyd and Information Sciences Division, Argonne National Laboratory work sponsored. July 2006. Development of a Performance-Based Industrial Energy Efficiency Indicator for Cement Manufacturing Plants by U.S. Environmental Protection Agency Office of Atmospheric Programs.

Gale A. Boyd & Joseph X. Pang 1999. Estimating the linkage between energy efficiency and productivity Energy Policy 28 (2000), page 289– 296.

Her Majesty the Queen in Right of Canada.2001. Energy Consumption Benchmark Guide: Cement Clinker Production.

Howard Geller et al.2004.Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil.

Isao Hashimoto.1998. Development of Fluidized Bed Advanced Cement Kiln Process Technology.

Jaycint Sathaye , Lynn Price Stephane de La Rue Du Can and David Fridley, Ernest Orlando Lawrence Berkeley national Laboratory.2005.Assessment of Energy Use and Energy Savings Potential in Selected Industrial Sectors in India.

Kamala Enest.2007. Energy-use Benchmarks for the Cement Sector. Malaysian Industrial Energy Efficiency Improvement Project. MIEEIP

Mr. Shiban Ji Raina.2002. Energy efficiency improvement in Indian cement industry.

Spendolini MJ. 1992. The Benchmarkinf Book AMACOM, New York. The Portland Mulnomah Profress Board. 1996 Annual Report Community Benchmarks-Benchmarks progress.

UNIDO and United Nations Industrial Development Organization. Ministry of International Trade and Industry. MITI, Japan: 1994. Output of a Seminar on Energy Conservation in Cement Industry.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากรายงานตรวจติดตามด้านพลังงาน (Energy Audit Report)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลผลผลิต พลังงาน โรงงานตัวอย่าง

ข้อมูลผลผลิตจำแนกตามชนิด ประเภทและปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ สัดส่วนการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตย่อยต่างๆ ของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานผลิตปูนซีเมนต์

1. ชื่อโรงงาน ทีพีไอ โพลีน จำกัด(มหาชน) ข้อมูลปี 2547

ตารางที่ ก.1พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	ราคา	ราคาต่อหน่วย
815, 549,760 kWh/ปี	1,642,968,489 บาท/ปี	1.94 บาท/ kWh

ตารางที่ ก.2 เชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ	ราคา	ราคาต่อหน่วย
ถ่านหิน	948, 529 ตัน/ปี	1,146,382,793 บาท/ปี	1,200 บาท/ตัน
น้ำมันเตา	5,099,226 ลิตร/ปี	41,354,723 บาท/ปี	8.11 บาท/ลิตร

ตารางที่ ก.3 ปริมาณผลผลิต

ผลผลิต	ปริมาณ ตันต่อปี
1. ปูนซีเมนต์ type I	3,831,980.37
2. ปูนซีเมนต์ type III	347,885.00
3. ปูนซีเมนต์ type V	405,559.12
4. ปูนซีเมนต์ type mixed	1,789,833.15
5. ปูนซีเมนต์ type mixed M199	1,487,794.50
6. ปูนซีเมนต์ type mixed M99	11,013.64
7. ปูนซีเมนต์ type I(special)	186,773.02
8. ปูนซีเมนต์ type I(3800)	261,633.38
	8,322,472.18

ตารางที่ ก.4 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิต

กระบวนการผลิต	กระบวนการผลิต	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า(%)	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง
การเตรียมวัตถุดิบ	Limestone crusher	1.21	
	Shale crusher	0.34	
	Compound crusher	0.25	
	Raw mill	31.08	
การผลิตเม็ดปูน	Coal crusher	0.08	
	Coal mill	4.58	
	Kiln &cooler	24.61	100% น้ำมันเตา และถ่านหิน
การผลิตปูนซีเมนต์	Cement mill	36.05	
	Packing	1.79	
		100	

ตารางที่ ก.5 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

ระบบ	สัดส่วนการใช้
ระบบการผลิต	93.42
ระบบปรับอากาศ	3.18
ระบบแสงสว่าง	2.20
อื่นๆ	1.20

สัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด

พลังงานไฟฟ้า 10.29% พลังงานความร้อน 89.71%

ตารางที่ ก.6 ดัชนีการใช้พลังงาน จากข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตในรอบปี 2547

ชื่อผลิตภัณฑ์	ระดับการใช้พลังงาน			
	การใช้เชื้อเพลิง	การใช้พลังงานไฟฟ้า		รวม
	MJ/ตัน	kWh/ตัน	MJ/ตัน	MJ/ตัน
ปูนซีเมนต์	3,152.43	101.82	366.57	3,519.00

2. ชื่อโรงงาน บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ลำปาง ข้อมูลปี 2543

ตารางที่ ก.7 พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	ราคา	ราคาต่อหน่วย
66,692,044 kWh/ปี	132,365,978 บาท/ปี	1.98 บาท/ kWh

ตารางที่ ก.8 เชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ	ราคา	ราคาต่อหน่วย
ลิกไนต์	109,615 ตันต่อปี	40,447,935 บาท/ปี	369 บาท/ตัน

ปริมาณผลผลิต

ปูนซีเมนต์ตราเสือและตราช้าง 834,943 ตัน/ปี

ตารางที่ ก.9 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิต

กระบวนการผลิต	กระบวนการผลิต	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า(%)	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง
การเตรียมวัตถุดิบ	Limestone crusher	1.53	
	Shale + Clay crusher	1.50	
	Compound crusher	-	
	Raw mill	28.80	
การผลิตเม็ดปูน	Coal crusher	-	
	Coal mill(lignite)	8.29	
	Kiln &cooler	26.11	100%
การผลิต ปูนซีเมนต์	Cement mill	26.08	
	Gypsum	0.33	
	Packing	1.33	
	Utility	6.03	
		100	

ตารางที่ ก.10 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

ระบบ	สัดส่วนการใช้
ระบบการผลิต	95.35
ระบบปรับอากาศ	1.33
ระบบแสงสว่าง	
อื่นๆ	3.32

สัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด

พลังงานไฟฟ้า 10.74% พลังงานความร้อน 89.26%

ตารางที่ ก.11 ดัชนีการใช้พลังงาน จากข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตในรอบปี 2543

ชื่อผลิตภัณฑ์	ระดับการใช้พลังงาน			
	การใช้เชื้อเพลิง	การใช้พลังงานไฟฟ้า		รวม
	MJ/ตัน	kWh/ตัน	MJ/ตัน	MJ/ตัน
ปูนซีเมนต์	2,390	94.4	340	2,730

3. ชื่อโรงงาน บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ทุ่งสง ข้อมูลปี 2543

ตารางที่ ก.12 พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	ราคา	ราคาต่อหน่วย
330,100,040 kWh/ปี	601,179,000 บาท/ปี	1.82 บาท/ kWh

ตารางที่ ก.13 เชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ	ราคา	ราคาต่อหน่วย
coal	147,121 ตัน/ปี	213,962,000 บาท/ปี	1,454.33 บาท/ตัน
Petcoke	140,211 ตัน/ปี	199,053,000 บาท/ปี	1,419.67 บาท/ตัน
HFO	3,855 ตัน/ปี	30,608,000 บาท/ปี	7,939.82 บาท/ตัน
Lignite	33,307 ตัน/ปี	47,713,000 บาท/ปี	1,432.52 บาท/ตัน

ปริมาณผลผลิต

ปูนซีเมนต์ตราเสือ	1,154,481 ตัน/ปี
ปูนซีเมนต์ตราช้าง	1,057,453 ตัน/ปี
รวม	**2,211,934 ตัน/ปี**

ตารางที่ ก.14 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิต

กระบวนการผลิต	กระบวนการผลิต	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า(%)	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง
การเตรียมวัตถุดิบ	Limestone crusher	2.53	
	Shale + Clay crusher		
	Compound crusher		
	Raw mill	41.01	
การผลิตเม็ดปูน	Coal crusher	5.82	
	Coal mill		
	Kiln &cooler	30.40	100%
การผลิตปูนซีเมนต์	Cement mill	20.24	
	Gypsum		
	Packing		
		100	

ตารางที่ ก.15 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

ระบบ	สัดส่วนการใช้
ระบบการผลิต	96.35
ระบบปรับอากาศ	1.4
ระบบแสงสว่าง	2.25
อื่นๆ	100

สัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด

พลังงานไฟฟ้า 21.16% พลังงานความร้อน 78.84%

ตารางที่ ก.16 ดัชนีการใช้พลังงาน จากข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตในรอบปี 2543

ชื่อผลิตภัณฑ์	ระดับการใช้พลังงาน			
	การใช้เชื้อเพลิง	การใช้พลังงานไฟฟ้า		รวม
	MJ/ตัน	kWh/ตัน	MJ/ตัน	MJ/ตัน
ปูนซีเมนต์	4,448.8	149.24	537.25	4,986

4. ชื่อโรงงาน บริษัทปูนซิเมนต์ไทย ท่าหลวง ข้อมูลปี 2545

ตารางที่ ก.17 พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	ราคา	ราคาต่อหน่วย
261,034,485 kWh/ปี	527,310,000 บาท/ปี	2.02 บาท/ kWh

ตารางที่ ก.18 เชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ	ราคา	ราคาต่อหน่วย
coal	31,708 ตัน/ปี	43,789,000 บาท/ปี	1,381.00 บาท/ตัน
Petcoke	59,462 ตัน/ปี	81,376,000 บาท/ปี	1,368.54 บาท/ตัน
HFO grade D	4,866 ตัน/ปี	40,331,000 บาท/ปี	8,288.33 บาท/ตัน
Lignite	251,340 ตัน/ปี	199,965,000 บาท/ปี	795.60 บาท/ตัน
IDO oil(Boiler)	402,232 ลิตร/ปี	5,357,000 บาท/ปี	13.32 บาท/ลิตร

ปริมาณผลผลิต

ปูนซีเมนต์ 3	259,679 ตัน/ปี
ปูนซีเมนต์ 5	645,109 ตัน/ปี
ปูนซีเมนต์ 2	133,281 ตัน/ปี
Oil well cement	10,431 ตัน/ปี
รวม	**1,048,501 ตัน/ปี**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.19 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิต

กระบวนการผลิต	กระบวนการผลิต	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า(%)	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง
การเตรียมวัตถุดิบ	Limestone crusher	32.65	
	Shale + Clay crusher		
	Compound crusher		
	Raw mill		
การผลิตเม็ดปูน	-	8.71	
	Lignite mill		
	Kiln &cooler	28.88	99.82% (not including IDO)
การผลิตปูนซีเมนต์	Cement mill	29.75	
	Gypsum		
	Packing	0.01	
Boiler			0.18%
		100	

ตารางที่ ก.20 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

ระบบ	สัดส่วนการใช้
ระบบการผลิต	97.13%
ระบบปรับอากาศ	1.15%
ระบบแสงสว่าง	0.90%
อื่นๆ	0.81%
รวม	100%

สัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด

พลังงานไฟฟ้า 19.6% พลังงานความร้อน 80.4%

ตารางที่ ก.21 ดัชนีการใช้พลังงาน จากข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตในรอบปี 2545

ชื่อผลิตภัณฑ์	ระดับการใช้พลังงาน			
	การใช้เชื้อเพลิง	การใช้พลังงานไฟฟ้า		รวม
	MJ/ตัน	kWh/ตัน	MJ/ตัน	MJ/ตัน
ปูนซีเมนต์	8,179.72	248.96	896.25	9,075.97

5. ชื่อโรงงาน บริษัทปูนซิเมนต์ไทย แก่งคอย ข้อมูลปี 2543

ตารางที่ ก.22 พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	ราคา	ราคาต่อหน่วย
450,454,000 kWh/ปี	806,571,000 บาท/ปี	1.79 บาท/ kWh

ตารางที่ ก.23 เชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ	ราคา	ราคาต่อหน่วย
Coal	148,931 ตัน/ปี	199,833,000 บาท/ปี	1,342 บาท/ตัน
Petcoke	60,642 ตัน/ปี	72,803,000 บาท/ปี	1,201 บาท/ตัน
MFO	3,876 ตัน/ปี	32,216,000 บาท/ปี	8,312 บาท/ตัน
Lignite	620,901 ตัน/ปี	526,882,000 บาท/ปี	849 บาท/ตัน
used oil	6,067 ตัน/ปี	8,115,000 บาท/ปี	1,338 บาท/ตัน

ปริมาณผลผลิต

ปูนซีเมนต์ช้าง 1,904,681 ตัน/ปี

ปูนซีเมนต์เสือ 1,307,467 ตัน/ปี

รวม **3,212,148 ตัน/ปี**

ตารางที่ ก.24 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิต

กระบวนการผลิต	กระบวนการผลิต	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า(%)	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง
ขนส่งวัตถุดิบ			
การเตรียมวัตถุดิบ	Limestone crusher	31.1	
	Shale + Clay crusher		
	Compound crusher		
	Raw mill		
การผลิตเม็ดปูน	Coal crusher	30.8	
	Coal mill		
	Kiln &cooler		1000%
การผลิตปูนซีเมนต์	Cement mill	38.1	
	Gypsum		
	Packing		
		100	

ตารางที่ ก.25 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

ระบบ	สัดส่วนการใช้
ระบบการผลิต	97.1
ระบบปรับอากาศ	2.5
ระบบแสงสว่าง	0.4
อื่นๆ	100

สัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด

พลังงานไฟฟ้า 8.3% พลังงานความร้อน 91.7%

ตารางที่ ก.26 ดัชนีการใช้พลังงาน จากข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตในรอบปี 2543

ชื่อผลิตภัณฑ์	ระดับการใช้พลังงาน			
	การใช้เชื้อเพลิง	การใช้พลังงานไฟฟ้า		รวม
	MJ/ตัน	kWh/ตัน	MJ/ตัน	MJ/ตัน
ปูนซีเมนต์	5,561.05	140.26	504.95	6,066.00

6. ชื่อโรงงาน บริษัทปูนเอเชีย จำกัด มหาชน ข้อมูลปี 2543

ตารางที่ ก.27 พลังงานไฟฟ้า

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า	ราคา	ราคาต่อหน่วย
375,588,000 kWh/ปี	798,045,025 บาท/ปี	2.12 บาท/ kWh

ตารางที่ ก.28 เชื้อเพลิง

ชนิดเชื้อเพลิง	ปริมาณ	ราคา	ราคาต่อหน่วย
Coal	253,182 ตัน/ปี	282,804,383 บาท/ปี	1,117 บาท/ตัน
Lignite	373,363 ตัน/ปี	197,509,223 บาท/ปี	529 บาท/ตัน
น้ำมันเตา C	7,505,000 ลิตร/ปี	49,906,250 บาท/ปี	6.25บาท/ลิตร

ปริมาณผลผลิต

Clinker 3,550,480 ตัน/ปี

Portland 1,584,880 ตัน/ปี

Mixed Cement 905,877 ตัน/ปี

ตารางที่ ก.29 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิต

กระบวนการผลิต	กระบวนการผลิต	สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า(%)	สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิง
ขนส่งวัตถุดิบ			
การเตรียมวัตถุดิบ	Limestone crusher	0.61	
	Shale + Clay crusher	0.24	
	Iron ore	0.03	
	Raw mill	26.13	
การผลิตเม็ดปูน	Coal mill	6.39	
	Kiln &cooler	31.41	100%
การผลิตปูนซีเมนต์	Cement mill	34.46	
	Gypsum	0.14	
	Packing	0.59	
		100	

ตารางที่ ก.30 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

ระบบ	สัดส่วนการใช้
ระบบการผลิต	96.95
ระบบปรับอากาศ	2.24
ระบบแสงสว่าง	0.81
อื่นๆ	100

สัดส่วนการใช้พลังงานทั้งหมด

พลังงานไฟฟ้า 7.55% พลังงานความร้อน 92.45%

ตารางที่ ก.31 ดัชนีการใช้พลังงาน จากข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตในรอบปี 2543

ชื่อผลิตภัณฑ์	ระดับการใช้พลังงาน			
	การใช้เชื้อเพลิง	การใช้พลังงานไฟฟ้า		รวม
	MJ/ตัน	kWh/ตัน	MJ/ตัน	MJ/ตัน
ปูนเม็ด	2,843	72.86	262.3	3,105.3
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	-	44.17	159.0	159.0
ปูนซีเมนต์	-	33.09	119.1	119.1
	2,834	150.12	540.4	3,383.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

กรณีศึกษา การประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการศึกษา พบว่า มีความเป็นไปได้ในการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมอโลหะ ทั้งในส่วนของอุปกรณ์พลังงาน อุปกรณ์การผลิต และการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ในต่างประเทศ ก็ได้มีการประหยัดพลังงานด้วยมาตรการต่าง ๆ ดังตัวอย่างกรณีศึกษาของโรงงานต่อไปนี้

COROMANDEL CEMENTS LIMITED

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

บริษัท Coromandel Cements Limited (CCL) เป็นโรงงานผลิตซีเมนต์ขนาดเล็ก ตั้งอยู่ในเขต Krishna ทางตอนใต้ของรัฐ Andhra Pradesh ประเทศอินเดีย ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1987

บริษัท Coromandel Cements Limited (CCL) ได้มีวางแผนที่จะเพิ่มกำลังการผลิตและประสิทธิภาพขึ้นเป็น 2 เท่า (900 ตันต่อวัน) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระยะ โดยการดำเนินการในระยะที่แรกมีเป้าหมายเพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าลง ส่วนในระยะที่สองมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้ได้เป็น 2 เท่า และเนื่องจากต้นทุนพลังงานคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 60% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ฝ่ายบริหารจึงให้ความสำคัญและการสนับสนุนในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานเป็นอย่างมาก

1.1 กำลังการผลิต

สามารถผลิตปูนเม็ดได้ประมาณปีละ 151, 800 ตัน (คำนวณจากกำลังการผลิต 460 ตันต่อวัน โดยเปิดดำเนินกิจการปีละ 330 วัน)

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

ไม่มีข้อมูล

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement: OPC)

1.4 จำนวนพนักงาน

มีจำนวนพนักงานรวม 400 คน

1.5 ยอดขาย

บริษัทฯ มียอดขายปีละประมาณ 6 ล้านเหรียญสหรัฐ (223.6 ล้านบาท)

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 (OPC) โดยพื้นฐานแล้วประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 (Mining): เริ่มต้นจากการระเบิดเหมืองเพื่อนำเอาหินปูน (Limestone) ป้อนส่งเข้าไปยังโรงงาน

ขั้นตอนที่ 2 (Limestone Crushing & Raw Meal Preparation): หินปูนที่ได้มาจากเหมืองจะถูกนำมาป้อนเข้าเครื่องบด (Crusher) เพื่อทำการบดย่อยขนาด โดยหินปูนที่บดแล้วและส่วนผสมอื่นๆ เช่น Bauxite และ Ferrite จะถูกนำไปเก็บไว้ที่ Feed Hopper เพื่อรอการนำไปบดผสมในสัดส่วนที่เหมาะสมจนได้ออกมาเป็นวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) แล้วจึงนำไปเก็บสะสมไว้ในไซโล

ขั้นตอนที่ 3 (Coal Milling): ถ่านหินจะถูกนำไปบดครั้งแรกด้วยเครื่อง Hammer Crusher แล้วจึงป้อนเข้าไปบดละเอียดให้เป็นผงด้วยเครื่อง Coal Mill โดยภายในจะมีการอบแห้งด้วยอากาศร้อน (Hot Air) ซึ่งสร้างขึ้นจากเตาเผาถ่านหิน (Coal-fired Furnace) จากนั้นผงถ่านหินจะถูกส่งไปยังเตาเผา และ Pre-calciner โดยเศษผงถานหินจะถูกเก็บไว้ในถุงกรองผ่านทาง Grit Separator

ขั้นตอนที่ 4 (Pyro processing): วัตถุดิบสำเร็จจะถูกป้อนผ่านเครื่อง Pre-heater แบบ 4 Stage และผ่าน Cyclone ขึ้นไปยังส่วนบนสุดของเตาเผาแบบ Rotary และผงถ่านหินจะถูกยิงขึ้นมาจากก้นเตาเผาเพื่อให้วัตถุดิบสำเร็จมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะผ่านลงมาบริเวณล่างของเตาเผา โดยวัตถุดิบสำเร็จจะเปลี่ยนสภาพเป็นปูนเม็ด เมื่อมาถึงยังก้นเตาเผา

ขั้นตอนที่ 5 (Clinker Cooler): ปูนเม็ดที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกทำให้เย็นลงด้วย Planetary Cooler ซึ่งประกอบไปด้วยท่อวงกลม 10 ท่อ อากาศโดยรอบจะถูกส่งผ่านไปตามท่อนี้และจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเข้าสัมผัสกับปูนเม็ดที่ร้อนๆ อากาศที่ถูกทำให้ร้อนนี้จะนำกลับไปใช้ในการสันดาปในเตาเผาอีกครั้ง (เพื่อประหยัดพลังงานที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศ) ส่วนปูนเม็ดที่ถูกทำให้เย็นแล้วจะถูกนำไปเก็บไว้

ขั้นตอนที่ 6 (Cement Grinding): ปูนเม็ดที่เก็บไว้จะถูกป้อนเข้าเครื่องบด (Cement Ball Mill) เพื่อบดผสมกับยิปซั่มจนกลายเป็นซีเมนต์ จากนั้นซีเมนต์ที่ได้จะถูกเก็บรวมไว้ใน Bag Filter แล้วนำไปไว้ใน Cement Silo เพื่อรอการนำไปบรรจุขาย

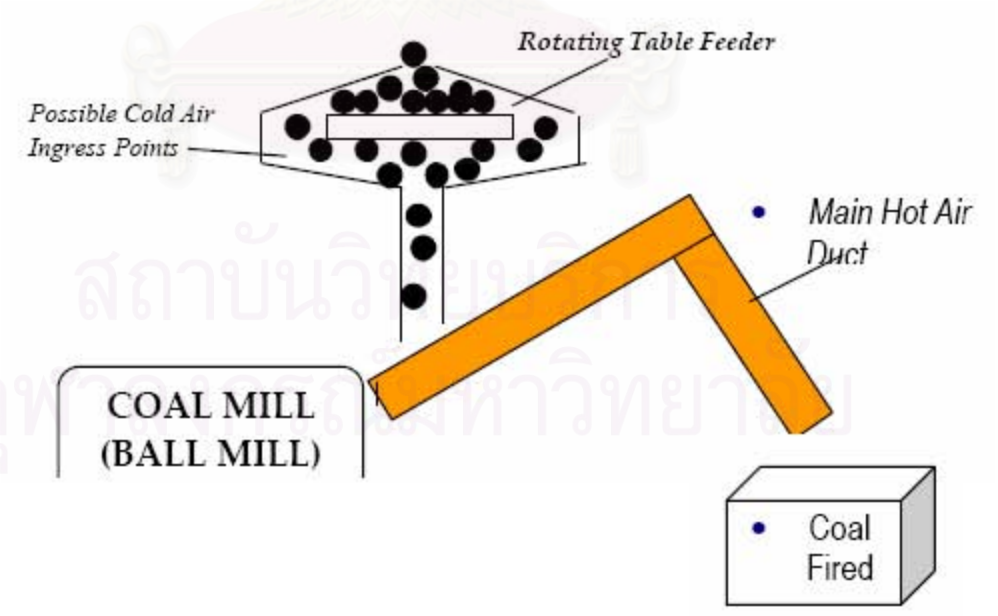
3. มาตรการที่ใช้และผลจากการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน

บริษัทฯ ได้มีการจัดทำมาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานขึ้นมาทั้งหมด 8 มาตรการดังต่อไปนี้

3.1 มาตรการปรับปรุงการอบแห้งด้วยการหุ้มฉนวนและด้วยการเพิ่ม Hot Air Duct จากเตาเผาถ่านหิน (Coal Mill Furnace)

บริษัทฯ เตรียมจัดหาท่ออากาศร้อน (Hot Air Duct) เพิ่มเติมจากเตาเผาถ่านหินไปยังก้นของ Coal Mill Table Feeder และเพิ่มฉนวนหุ้มท่ออากาศร้อนที่เปลือยอยู่ การที่อากาศสันดาปร้อน (Hot Combustion Air) จากเตาเผาถ่านหินถูกส่งไปยัง Coal Mill เพื่ออบถ่านหินให้แห้งก่อนที่จะทำการบดนั้น หากเกิดความชื้นขึ้น จะทำให้การไหลของถ่านหินมีปัญหาอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝน สมรรถนะของ Coal Mill จะได้รับผลกระทบจากอากาศเย็นที่ไหลเข้าไปจากช่องเปิดบริเวณใกล้กับ Table Feeder สู่ภายใน Coal Feed Chute ดังแสดงในรูปที่ ข.1 จากการสังเกตการณ์พบว่า

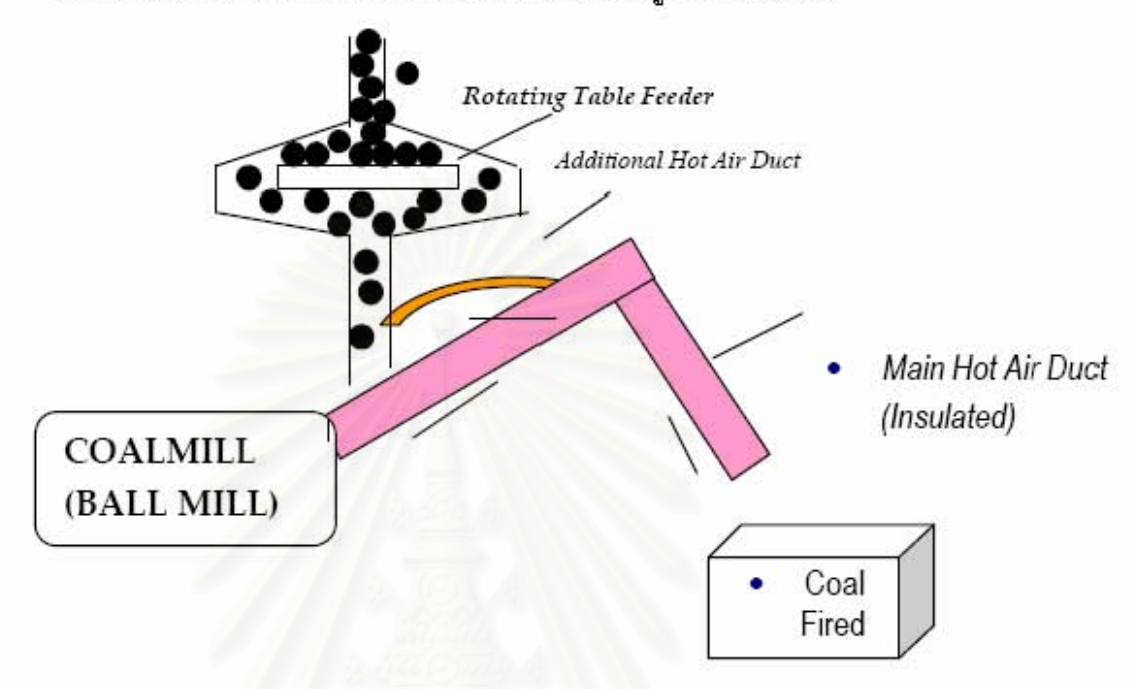
- มีการสูญเสียความร้อนอย่างมากจากท่อเปลือยที่บรรจุถ่านร้อนอยู่ภายใน
- มีการสำลัก (Choke) ของ Coal Mill Inlet อยู่บ่อยครั้งที่ Table Feeder ซึ่งมีสาเหตุมาจากความชื้น
- มีอากาศเย็นไหลเข้าไปภายใน Coal Mill โดยผ่านทางช่องโหว่ขนาดใหญ่



รูปที่ ข.1 การไหลของถ่านหิน

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

- **เพิ่มเติมท่ออากาศร้อน (Hot Air Duct)** จากเตาเผาถ่านหินไปเพื่ออบแห้งในขณะถ่านหินกำลังตกลงมาบน Table Feeder ดังจะแสดงในรูปที่ ข.2 ต่อไปนี้



รูปที่ ข.2 การเพิ่มเติมท่ออากาศร้อน

- **หุ้มฉนวนท่ออากาศร้อน (hot air duct)** ทำให้การทำงานของเตาเผาถ่านหินดีขึ้นและลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้ ดังจะแสดงในตารางที่ ข.1 ต่อไปนี้

ตารางที่ ข.1 การลดการใช้เชื้อเพลิง

PARAMETER	BEFORE CPEE	AFTER CPEE
Clinker Production rate	440 tons/day	450 tons/day
Exposed surface area of hot duct(from furnace top to coal mill inlet)	21.03 m^2	23.81 m^2
Average exposed bare surface temperature	219^{0}C	123^{0}C
Ambient Temperature	30^{0}C	30^{0}C
Radiation loss	1.37 kCal/kg Clinker	0.50 kCal/kg Clinker
Convection loss	0.63 kCal/kg Clinker	0.31 kCal/kg Clinker
Total loss (Radiation + Convection)	2 kCal/kg Clinker	0.81 kCal/kg Clinker

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 2,218 เหรียญสหรัฐ (82,658บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินลงได้ปีละ 47.684 ตัน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 73 ตัน CO_2 ต่อปี

3.2 มาตรการเพิ่มความสูงและมุมของแผ่นยก (lifter) ภายในห้องอบแห้งถ่านหิน (Coal Mill Drying Chamber)

ภายในห้องอบแห้งนั้น ได้รับการออกแบบให้ติดตั้งแผ่นยก (lifter) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นราบที่ถูกเชื่อมติดทำมุมคงที่กับผนังภายในของห้องอบและวางเรียงกันอยู่เป็นระยะคงที่ เพื่อช่วยในการยกถ่านหินขึ้นไปจากบริเวณก้นแล้วปล่อยให้ตกลงมาเมื่อขึ้นถึงจุดสูงสุดในระหว่างการหมุน

แผ่นยกมีการปรับยกให้สูงขึ้น ปรับเพิ่มองศาของมุม และเพิ่มจำนวนให้มากขึ้น เพื่อให้รองรับปริมาณถ่านหินได้มากขึ้น โดยการปรับเพิ่มองศาของมุมแผ่นยกนั้นจะทำให้มั่นใจว่าถ่านหินจะตกลงมาจากจุดที่สูงที่สุดจริงๆ ซึ่งจะทำให้กระบวนการอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีสมรรถนะที่ดีขึ้น

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 1,726 เหรียญสหรัฐ (64, 323 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 20,003 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 17.8 ตัน CO_2 ต่อปี

3.3 มาตรการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ inlet duct ของพัดลมดูดอากาศ เพื่อลดอัตราการไหลและการสูญเสียความดัน

ถ่านหินถูกบดให้เป็นผงละเอียดแล้วลำเลียงไปยัง Storage Hopper โดยอาศัยลมดูดจากการพัดลมดูดอากาศ (Circulating Air fan: CA fan) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของถ่านหินที่ต้องขนย้าย อัตราการไหล และการสูญเสียความดัน (Pressure Drop) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ หากว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่มาจากปลายด้านออกของเครื่องดักฝุ่น (Dust Collector Outlet) ที่ต่อไปยังปลายขาเข้าของพัดลมดูดอากาศ (CA fan inlet) เพิ่มขึ้นจาก 500 มิลลิเมตรเป็น 600 มิลลิเมตร จะทำให้สามารถลดการสูญเสียความดันและทำให้ลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 64 เหรียญสหรัฐ (2,385 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 744 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 0.7 ตัน CO_2 ต่อปี

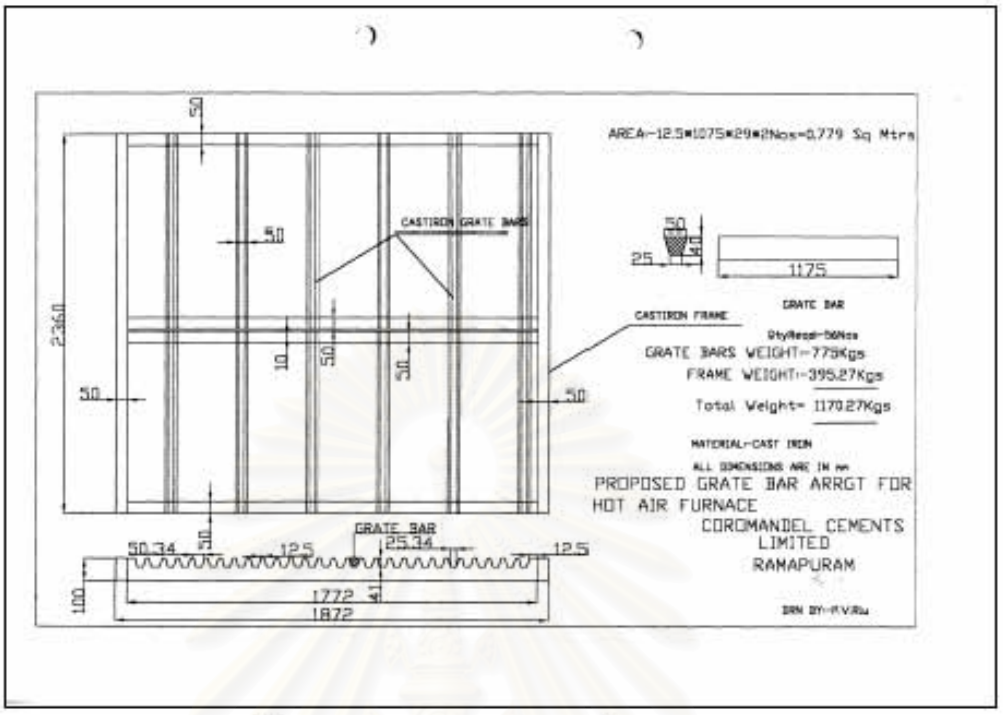
3.4 มาตรการปรับเปลี่ยนตะแกรงของเตาเผา (Furnace Grate Bars) และขนาดของอนุภาคถ่านหิน

จากการสังเกตการณ์พบว่าถ่านหินก้อนใหญ่ถูกเผาอยู่บนตะแกรงของเตาเผา (Furnace Grate Bars) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างซี่ 50 มิลลิเมตร ทำให้อนุภาคถ่านหินตกลงไปสู่ก้นเตา (Ash Pit) โดยผ่านตะแกรงก่อนที่จะมีเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้กระบวนการอบแห้งถ่านหินมีประสิทธิภาพต่ำลง ซึ่งเมื่อทำการวัดอุณหภูมิแล้ว พบว่าอากาศร้อน (Hot Air) ที่ส่งไปยัง Coal Mill มีอุณหภูมิเพียง 200 องศาเซลเซียสเท่านั้น ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำ

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

- **ลดขนาดของอนภาคถ่านหินที่ป้อนเข้าไปในเตาเผา**
- **ลดระยะห่างระหว่างซี่ของ Grate Bar ลงเหลือ 25 มิลลิเมตร** ดังรูปที่ ข.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.3 การลดระยะห่างระหว่างซี่ของ Grate Bar

- **ฝึกอบรมวิธีการป้อนถ่านหินและการเผาที่เหมาะสมให้แต่พนักงาน**

ผลลัพธ์

หลังจากดำเนินการปรับปรุงแล้ว พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิเฉลี่ยขาออกจากเตาเผาจาก 200 ขึ้นมาเป็น 240 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การอบแห้งถ่านหินใน Coal Mill มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 2,326 เหรียญสหรัฐ (86,627 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้ถ่านหินลงได้ปีละ 50 ตัน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 77 ตัน CO_2 ต่อปี

3.5 มาตรการป้องกันไม่ให้ False Air เข้าไปใน Coal Mill Circuit

พัดลมดูดอากาศของ Coal Mill (Coal Mill Circulating Air fan: CM-CA) ทำหน้าที่ดูดก๊าซร้อน (hot gas) จากเตาเผา (Coal Fired Furnace) ผ่านเครื่องบดด้วยระบบการดักฝุ่นของ Bag Filter แล้วจากนั้นจึงปล่อยอากาศที่ปราศจากฝุ่นออกสู่ชั้นบรรยากาศ เนื่องจากทั้งระบบทำงานโดยอาศัยหลักการดูด ดังนั้นหากมีอากาศเย็นหลุดรั่วเข้าไปในระบบแล้ว จะส่งผลเสียต่อสมรรถนะการของ Coal Mill ดังต่อไปนี้

1) อุณหภูมิลดต่ำลงเนื่องจากมีอากาศเย็นเข้ามาผสมอยู่

2) ขีดความสามารถในการดูดก๊าซร้อนของพัดลมจะลดลงตามปริมาณอากาศเย็นที่หลุดรั่วเข้ามา ส่งผลให้ผลผลิตของ Coal Mill ลดลง

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

การสำรวจหาจุดที่มีอากาศหลุดรั่วเข้าไปในบริเวณระหว่างปลายด้านออกของ Coal Mill และปลายด้านเข้าของพัดลมดูดอากาศและทำการซ่อมแซม โดยอาศัยการวัดผลต่างของปริมาณออกซิเจนมาช่วยในการวิเคราะห์

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 688 เหรียญสหรัฐ (24,881 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 7740 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 6.91 ตัน CO_2 ต่อปี
- ลดการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมลงได้ 1.5 kW

3.6 มาตรการลดอัตราไหลในท่อขาออกของ Coal Mill

ถ่านหินถูกบดให้เป็นผงละเอียดแล้วลำเลียงไปยัง Storage Hopper โดยอาศัยลมดูดจากการพัดลมดูดอากาศ (Circulating Air fan: CA fan) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของถ่านหินที่ต้องขนย้าย อัตราการไหล และการสูญเสียความดัน (Pressure Drop) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยเป็นที่ทราบกันว่าการที่จะเร่งให้ได้อัตราการไหลสูงๆ (18-20 เมตรต่อวินาที) และการใช้ท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กๆ นั้น พัดลมจะต้องสร้างความดันให้ได้สูงๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นตามไปด้วย

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

การปรับลดอัตราการไหลในท่อลำเลียงอากาศ โดยลดจาก 24 ลงมาอยู่ที่ 20 เมตรต่อวินาที ซึ่งทำได้ด้วยการปรับตั้งรอกคล้องเพลาขับพัดลม

ผลลัพธ์

ภายหลังการลดอัตราการไหลแล้ว พบว่าพัดลมใช้กำลังไฟฟ้าลดลงจาก 28 kW เหลือ 20 kW

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 2,761 เหรียญสหรัฐ (102,843 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 32,000 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 29 ตัน CO_2 ต่อปี
- ลดการใช้กำลังไฟฟ้าของพัดลมลงได้ 8 kW

3.7 มาตรการลดขนาดมอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องบดหินปูนปฐมภูมิ (Limestone Primary Crusher)

หินปูนถูกขนย้ายมาจากเหมืองในลักษณะเป็นก้อนใหญ่ประมาณ 300 มิลลิเมตร ซึ่งจะต้องถูกนำไปบดในขั้นปฐมภูมิด้วยเครื่องบด (Hammer) ที่มีความสามารถในการบด 50-60 ตันต่อชั่วโมง โดยทางเลือกของมาตรการนี้คือ

การเปลี่ยนมอเตอร์หลักขนาด 220 kW ของเครื่องบดนี้ให้มีขนาดลดลงเป็น 165 kW เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้า

ผลลัพธ์

หลังจากการลดขนาดมอเตอร์ลง ทำให้สามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงไปได้ 118 kW

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุน 2,326 เหรียญสหรัฐ (86,640 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 2,354 เหรียญสหรัฐ (87,683 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุนน้อยกว่า 1 ปี

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 27,280 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 24 ตัน CO_2 ต่อปี

3.8 มาตรการลดความเร็วของพัดลมดูดอากาศใน Coal Mill ด้วยเปลี่ยนจากมอเตอร์กระแสสลับมาใช้มอเตอร์กระแสตรง

จากการสังเกตการณ์พบว่า พัดลมดูดอากาศใน Coal Mill ระบายก๊าซจากท่อขาออกของ Bag Filter แล้วปล่อยออกสู่บรรยากาศ ก่อนการปรับปรุงนั้น พัดลมดูดอากาศทำงานด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับและอัตราการไหลของอากาศที่สูงเกินความจำเป็น ต้องถูกปรับตั้งให้เหมาะสมกับกระบวนการ โดยใช้การควบคุมด้วย Damper ซึ่งไม่มีประสิทธิภาพ และยังพบว่าในการใช้งานจริงนั้น ความเร็วของมอเตอร์ค่อนข้างที่จะคงที่

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

เปลี่ยนมาใช้มอเตอร์กระแสตรงซึ่งทำให้ปรับลดอัตราการไหลของอากาศได้ง่ายขึ้นเพื่อให้ได้อัตราการไหลที่เหมาะสมกับกระบวนการจริงๆ โดยไม่ต้องอาศัยการควบคุมจาก Damper ทั้งนี้สาเหตุที่ไม่เลือกใช้ VSD มาควบคุมอัตราการไหลก็เนื่องมาจากความไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือ มอเตอร์กระแสสลับที่ใช้อยู่นั้นมีขนาดค่อยข้างเล็ก (28 kW) และ VSD มีราคาสูงกว่ามอเตอร์กระแสตรง

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุน 1,622 เหรียญสหรัฐ (60,417 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 1,605 เหรียญสหรัฐ (59,784 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 13 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 18,600 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 17 ตัน CO_2 ต่อปี

EREL CEMENT LTD

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

Erel Cement เป็นหนึ่งในผู้ผลิตซีเมนต์ของประเทศมองโกเลีย ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1967 (ถูกแปรรูปมาเป็นบริษัทเอกชนในปี ค.ศ. 1998) โดยโรงงานจะเปิดทำงานตั้งแต่ 10.00 ถึง 18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ค่าไฟฟ้าถูก แต่เตาเผาจะทำงานตลอด 24 ชั่วโมง โรงงานจะหยุดทำการผลิตในฤดูหนาว (ช่วงเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์)

1.1 กำลังการผลิต

สามารถผลิตปูนซีเมนต์ได้ประมาณปีละ 200,000 ตัน

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

ผลิตปูนซีเมนต์ได้จริงปีละ 80,000 ตัน

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ปูนซีเมนต์ (ไม่ระบุประเภท)

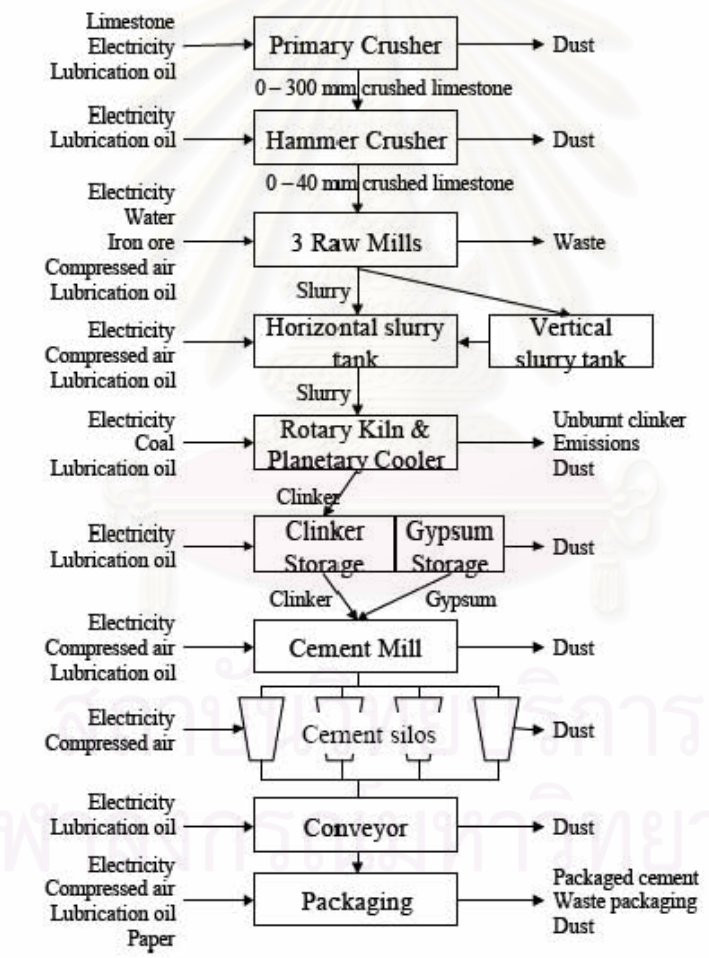
1.4 จำนวนพนักงาน

มีจำนวนพนักงานรวม 365 คน

1.5 ยอดขาย

ไม่มีข้อมูล

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต



รูปที่ ข.4 กระบวนการผลิตของโรงงาน

โดยปัจจัยที่ใช้การผลิต (Input) ที่สำคัญที่สุดได้แก่ หินปูน ไฟฟ้า ถ่านหิน น้ำ แร่เหล็ก และยิปซั่ม ส่วนปัจจัยที่ได้จากการผลิต (Output) ที่สำคัญที่สุดได้แก่ ซีเมนต์ ฝุ่น ของเสียอื่นๆ

3. มาตรการที่ใช้และผลจากการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน

บริษัทฯ ได้มีการจัดทำมาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานขึ้นมาทั้งหมด 3 มาตรการดังต่อไปนี้

3.1 มาตรการปรับปรุงการปิดผนึก (Sealing) ของระบบควบคุมฝุ่น (Dust Control System)

จากการสำรวจพบว่าระบบควบคุมฝุ่นอยู่ในสภาพที่ย่ำแย่ การปล่อยฝุ่น (Dust Emission) ยังคงถูกติดตามด้วยสายตา (Visually Monitored) เท่านั้น ซึ่งหากมีการปล่อยฝุ่นออกมามาก ก็เท่ากับเป็นการสูญเสียวัตถุดิบมากด้วยเช่นเดียวกัน

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าให้กับ Strew Conveyer จำนวน 12 เครื่อง และปรับปรุงการปิดผนึกของระบบควบคุมฝุ่น

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุน 2,210 เหรียญสหรัฐ (82,307 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 14,400 เหรียญสหรัฐ (536,299 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุนน้อยกว่า 2 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินลงได้ปีละ 4,500 ตัน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 11,007 ตัน CO_2 ต่อปี

ผลประโยชน์ด้านอื่นๆ

- สภาพแวดล้อมในการทำงานในบริเวณ dust conveyer และ bunker ดีขึ้น
- การปล่อยฝุ่นลดน้อยลง
- การใช้วัตถุดิบลงน้อยลง เนื่องจากการปล่อยฝุ่นออกไปลดน้อยลงนั่นเอง

3.2 มาตรการลดจำนวนครั้งการหยุดเดินเครื่องของเตาเผาและการเพิ่มประสิทธิภาพ

จากการตรวจประเมินพบว่าเตาเผามีการสูญเสียพลังงานไปกับการควบคุมการเผาไหม้ การเริ่มเดินเครื่องของเตาเผา และการที่ผิวของผนังเตามีอุณหภูมิสูง ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

สภาพการทำงานทั่วไป

- ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพจะถูกกำกับติดตามโดยโรงงาน
- ปริมาณของน้ำใน Slurry (ส่วนผสมของเหลวกับของแข็ง) ถูกควบคุมให้อยู่ระหว่าง 34 ถึง 36 เปอร์เซ็นต์

- ในแต่ละปี เตาเผาจะเปิดทำงานในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน และเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน

- ในช่วงปี ค.ศ. 2002 เตาเผา #1 และ #2 ทำงาน 3,900 และ 2,412 ชั่วโมง ตามลำดับ

- อุณหภูมิของก๊าซไอเสียวัดได้ 234 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การควบคุมการเผาไหม้

- การควบคุมการเผาไหม้ในเตาเผาทำโดยใช้การเฝ้าดูด้วยสายตา

- ปริมาณของออกซิเจนที่วัดก่อนและหลังเข้าเครื่อง cyclone มีค่า 8 และ 11 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่าในอุดมคติ คือ 4 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น พลังงานจึงสูญเสียไปเพราะอากาศส่วนเกิน (excess air) ในก๊าซไอเสีย

การเริ่มเดินเครื่อง

- ในปี ค.ศ. 2002 จำนวนครั้งในการเริ่มเดินเครื่องเตาเผา #1 และ #2 เท่ากับ 9 และ 8 ครั้ง ตามลำดับ

- จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่เตาเผาทำงานต่อเนื่องเท่ากับ 433 ชั่วโมง (เตาเผาจะหยุดทำงานทุกๆ 20 วัน)

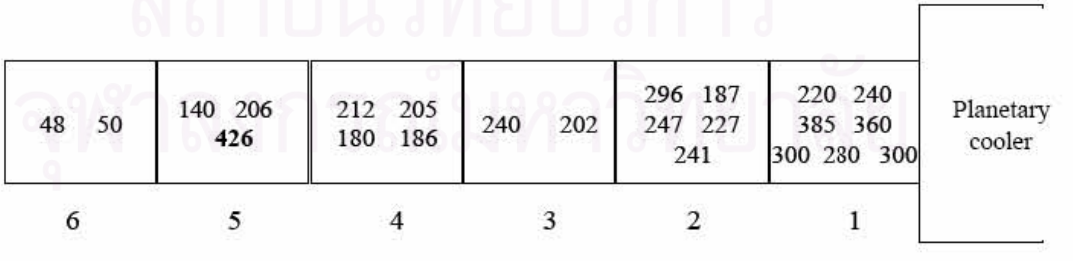
- ปริมาณถ่านหินที่ต้องใช้ในการเริ่มเดินเครื่องในแต่ละครั้งเท่ากับ 10 ถึง 12 ตัน

- อายุการใช้งานของเตาเผาจะลดลงหากมีการเริ่มและหยุดเดินเครื่องบ่อยๆ

อุณหภูมิผิว

- ในขณะนั้นยังไม่ได้มีการวัดอุณหภูมิผิวของเตาเผา

- ในระหว่างการตรวจประเมิน จึงได้มีการวัดอุณหภูมิผิวเตาเผา ซึ่งวัดได้ดังแสดงในรูปที่ ข.5

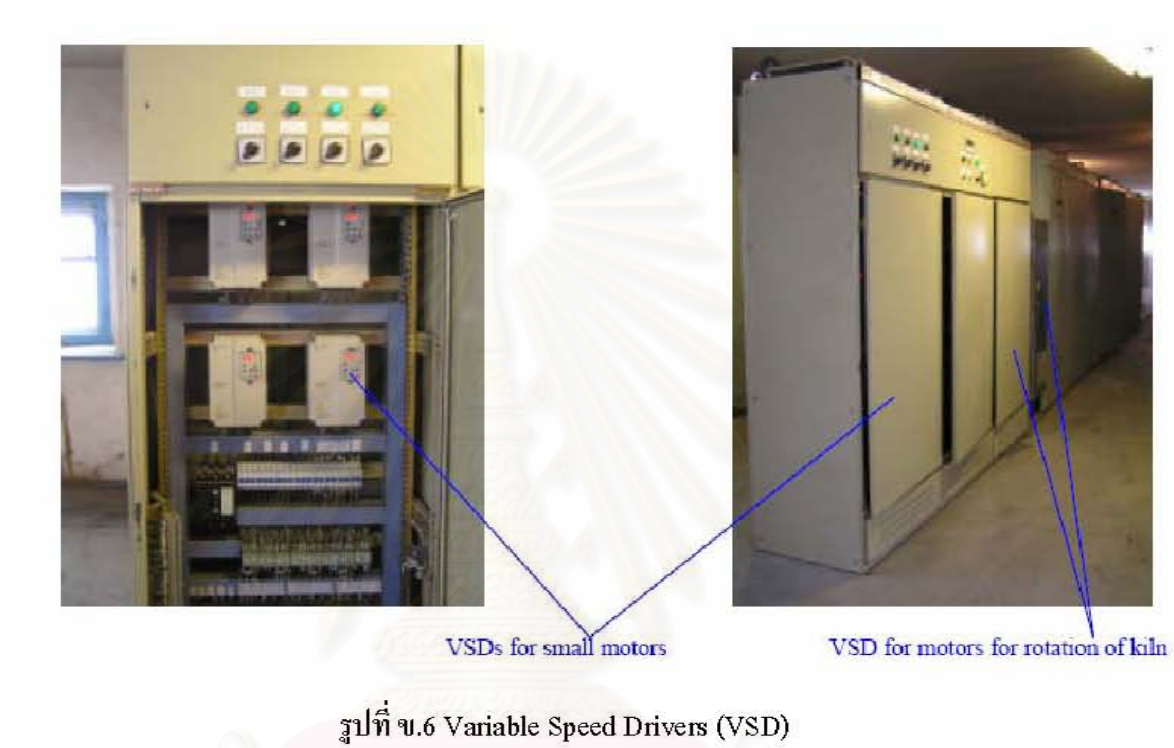


รูปที่ ข.5การวัดอุณหภูมิผิวเตาเผา

ซึ่งค่าที่วัดได้นั้นสูงเกินไป จึงเท่ากับเป็นการสูญเสียพลังงาน

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ติดตั้ง VSD ให้กับมอเตอร์ตัวหลักของแกนหมุนเตาเผาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน โดยทำการติดตั้งที่ Coal Conveyer และที่ Feeder รวม 2 ตัว นอกจากนี้ยังได้มีการปรับปรุงการซีลอากาศ (Air Sealing) ของเตาเผาเพื่อลดการสูญเสียความร้อนและมีการปรับตั้ง Damper ของพัดลมจ่ายอากาศร้อน ตลอดจนการลดปริมาณออกซิเจนที่จ่ายเข้าไปในเตาเผา



รูปที่ ข.6 Variable Speed Drivers (VSD)

จากการสังเกตการณ์จะพบว่า น้ำหล่อเย็นจากมอเตอร์ส่วนกลาง (ใช้สำหรับหมุนเตาเผา) และคอมเพรสเซอร์จะถูกถ่ายทิ้งไป

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ดึงน้ำหล่อเย็นกลับมาใช้สำหรับการเตรียม Slurry ซึ่งจำเป็นต้องติดตั้งถังเก็บน้ำ ท่อน้ำ และอาคารสำหรับติดตั้งถังเก็บน้ำ

รูปที่ ข.7 Cooling water collection tank and its building

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุน 12,500 เหรียญสหรัฐ (465,538 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 29,083 เหรียญสหรัฐ (1,083,138 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 5 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้น้ำลง 72,000 ลูกบาศก์เมตร
- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงปีละ 150 MWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 146 ตัน CO_2 ต่อปี

ผลประโยชน์ด้านอื่นๆ

- ลดจำนวนครั้งในการเริ่มเดินเครื่องเตาเผา
- เพิ่มอายุการใช้งานของเตาเผา
- ปรับปรุงสภาพการทำความเย็น

HOLCIM BULACAN PLANT

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

โรงงาน Holcim Bulacan อยู่ในเครือบริษัท Holcim Philippines ก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1964 ที่ Bulacan ประเทศฟิลิปปินส์ เปิดทำงานตลอด 24 ชั่วโมง (3 กะทำงาน)

1.1 กำลังการผลิต

สามารถผลิตปูนซีเมนต์ได้ประมาณปีละ 1,900,000 ตัน

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

ไม่มีข้อมูล

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 และซีเมนต์ชนิด P

1.4 จำนวนพนักงาน

มีจำนวนพนักงานรวม 307 คน

1.5 ยอดขาย

ไม่มีข้อมูล

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต

ขั้นตอนกระบวนการผลิตที่สำคัญในการผลิตซีเมนต์ มีดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ขุดแร่จากเหมือง: วัตถุดิบที่จำเป็นในการผลิตซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ วัตถุดิบที่มีแคลเซียมสูง (Calcareous Materials) เช่น หินปูน ชอล์ก เป็นต้น และวัตถุดิบที่มีซิลิกาสูง (Argillaceous Materials) เช่น ดินเหนียว ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะถูกขนย้ายมาจากเหมืองแล้วป้อนเข้าสู่เครื่องบด (Crusher)

2. บด: วัตถุดิบต่างๆ จะถูกนำไปบดเป็นครั้งแรกเพื่อลดขนาดลง

3. เตรียมผสม: วัตถุดิบที่ผ่านการบดแล้ว จะผ่านต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์ (On-line Analyzer) เพื่อกำหนดส่วนผสมของวัตถุดิบ

4.บดผสม: วัตถุดิบที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่แล้วจะถูกลำเลียงตามสายพานไปยังถังเก็บ ที่ซึ่ง weighing feeder จะทำการกำหนดสัดส่วนวัตถุดิบให้ได้ตามประเภทของปูนเม็ดที่จะผลิต และวัตถุดิบนี้จะถูกบดให้ได้ความละเอียดตามที่ต้องการ

5. เผาและทำให้เย็นตัวลงกลายเป็นปูนเม็ด: วัตถุดิบที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะถูกป้อนเข้าไปยัง Pre-heater ซึ่งมีลักษณะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ประกอบไปด้วยอนุกรมของ Cyclone ซึ่งเป็นที่ๆ วัตถุดิบเหล่านี้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซร้อนที่มาจากเตาเผา ปฏิกิริยา Calcinations เกิดขึ้นบางส่วนภายใน Pre-heater และดำเนินต่อไปในเตาเผาที่ซึ่งวัตถุดิบสำเร็จรูป (Raw Meal) เปลี่ยนไปอยู่ในสถานะกึ่งหลอมเหลวที่มีคุณสมบัติของซีเมนต์ โดยที่อุณหภูมิภายในเตาเผา 1,350 ถึง 1,400 องศาเซลเซียส วัตถุดิบจะแปรสภาพเป็นก้อนกลมแข็ง (Solid Nodule) ที่เรียกกันว่า ปูนเม็ด (Clinker) และจะถูกทำให้เย็นตัวลงด้วยอากาศจนมีอุณหภูมิลดลงเหลือ 100 องศาเซลเซียส

6. บดขั้นสุดท้าย: ปูนเม็ดจะถูกขนย้ายจาก Clinker Silo ไปยัง Clinker Bin โดยจะผ่าน Weighing Feeder ซึ่งจะควบคุมการไหลให้เป็นสัดส่วนกับยิปซั่มหรือ Pozzolan ที่เติมลงไป จากนั้นจะถูกส่งเข้าเครื่องบดเพื่อทำการบดให้กลายเป็นผงให้ได้ความละเอียดตามต้องการแล้วส่งไปเก็บไว้ที่ Cement Silo

3. มาตรการที่ใช้และผลจากการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน

บริษัทฯ ได้มีการจัดทำมาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานขึ้นมาทั้งหมด 8 มาตรการดังต่อไปนี้

3.1 มาตรการปลด Damper ที่เปิดเติมที่ออกจากพัดลมและติดตั้งระบบ Slip Power Recovery ให้กับพัดลมที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์แบบ Slip Ring

พัดลมของ Raw Mill ขนาด 3,200 kW ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบ Slip Ring ที่มีการควบคุมค่าความต้านทานในโรเตอร์ตามความเร็วในการหมุน โดยพบว่ามอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว

750 รอบต่อนาทีซึ่งต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้คือ 890 รอบต่อนาที ซึ่งบ่งชี้ว่ามีการสูญเสียพลังงานอย่างมากอันเนื่องมาจากความต้านทานในโรเตอร์ ดังนั้นเพื่อลดพลังงานสูญเสีย จึงได้มีการเสนอแนะให้ติดตั้งระบบ Slip Power Recovery ให้กับมอเตอร์ โดยระบบนี้ยังสามารถนำไปติดตั้งให้กับมอเตอร์แบบ Slip Ring ของพัดลมตัวอื่นๆ ซึ่งทำงานด้วย Damper ที่เปิดเต็มที่ เช่น พัดลมขนาด 420 kW ของ Coal Mill และพัดลมขนาด 1154 kW ของ Baghouse เป็นต้น

ในขณะที่จัดทำกรณีศึกษานี้ การวัดและทดลองต่างๆ ยังคงอยู่ในขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบ Slip Power Recovery

3.2 มาตรการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องบด (Crusher) โดยใช้การลดแรงดันระดับกลาง (Medium Voltage) และการควบคุมแบบอิงโหลดของการทำงานของตัวเก็บประจุ (Load-based Regulation of Capacitor Operation)

จากการตรวจประเมินทั้ง 16 สายป้อนที่สถานีย่อยและการวัดแรงดัน (V) กำลังไฟฟ้า (kW) ความถี่ (Hz) และตัวประกอบกำลัง (PF) ปรากฏว่า

- ความถี่ของทั้ง 16 สายป้อนในสถานีย่อยมีค่าสูงกว่า 60 Hz ส่งผลให้มีการดึงกระแสไฟฟ้ามากขึ้น
- ค่าตัวประกอบกำลังของ 8 สายป้อนต่ำกว่า 0.85 ส่งผลให้ต้องเสียค่าปรับให้แก่ผู้ผลิตกระแสไฟฟ้า
- สายป้อนหลัก #17 ของหม้อแปลง #1 มีค่าตัวประกอบกำลังแบบล้ำหน้า (leading power factor) ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าสภาวะนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องบด (crusher) ไม่ทำงาน

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของเครื่องบดด้วยการลดแรงดันขนาดกลาง (4160 V) ของสายป้อน โดยค่าแรงดันชาร์ต (Charging Voltage) จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันออกแบบ (Design Voltage) ซึ่งระบุอยู่บน Nameplate ของตัวเก็บประจุ และแรงดันชาร์ตนี้จะถูกลดระดับลงให้เข้าใกล้แรงดันออกแบบ ส่งผลให้เกิดการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของ 9 สายป้อน ซึ่งรายละเอียดในการปรับปรุงมีดังนี้

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังของ 9 สายป้อน

	Before				After			
Feeder	**Volt**	**kW**	**Hz**	**PF**	**Volt**	**kW**	**Hz**	**PF**
Feeder 01 Packhouse 2	4137	58	60.06	-0.732	4093	50	60.03	-0.727
Feeder 02 Finish Mill 3 Main Drive	4141	0	60.06	1	4097	0	60.04	1
Feeder 03 Finish Mill 3 Aux	4144	511	60.07	-0.851	4100	499	60.04	-0.843
Feeder 04 Finish Mill 4 Main Drive	4132	4464	60.06	-0.924	4086	4438	60.06	-0.926
	Before				**After**			
Feeder	**Volt**	**kW**	**Hz**	**PF**	**Volt**	**kW**	**Hz**	**PF**
Feeder 05 Finish Mill 4 Aux	4140	1285	60.07	-0.743	4094	1243	60.06	-0.746
Feeder 06 Raw Mill 4 Fan/BE	4141	66	60.07	-0.741	4095	62	60.05	-0.720
Feeder 07 Power Capacitor	4135	0	60.06	1	4087	0	60.06	1
Feeder 08 Kiln Cooler	4123	2315	60.07	-0.789	4066	2296	60.05	-0.790
Feeder 09 PH/Kiln/Baghouse fan	4127	3834	60.06	-0.842	4070	3819	60.07	-0.845
Feeder 10 Raw Mill 3 Fan/BE	4123	2732	60.06	-0.881	4066	2716	60.07	-0.872
Feeder 11 Raw Mill 3 Main Drive/Aux	4130	3306	60.05	-0.870	4073	3531	60.07	-0.874
Feeder 13 Raw Mill 4 Main Drive/Aux	4128	356	60.05	-0.970	4071	451	60.05	-0.947
Feeder 14 Coal Plant 3 and 4	4126	900	60.08	-0.794	4072	913	60.06	-0.808
Transformer 1 Main Feeder 17	116053	230	60.07	0.723	116267	270	60.06	0.852
Transformer 2 Main Feeder 19	116403	6320	60.06	-0.888	116480	6260	60.04	-0.889
Transformer 3 Main Feeder 18	114193	13360	60.07	-0.836	114237	13610	60.04	-0.836

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ผลประหยัดที่ได้ คิดมาจากค่าปรับ (penalty charge) ที่ลดลง
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ไม่มี เพราะการลดค่าตัวประกอบกำลังไม่ได้ทำให้ดึงกระแสไฟฟ้าลดลง

3.3 มาตรการติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนแบบ On-line ที่ท่อไอเสียของ Pre-heater เพื่อปรับปรุงการจัดการรอยรั่ว (Leaks Management)

สมดุลของวัตถุดิบและพลังงานของ Pre-heater แสดงให้เห็นว่ามีการสูญเสียความร้อนผ่านทางการรั่วของอากาศ รอยรั่วหลายแห่งได้รับการซ่อมแซมไปในการทำ Plant Shutdown เมื่อเดือนธันวาคม ค.ศ. 2004 และการรั่วของอากาศที่ลดลงนั้นส่งผลให้การใช้ถ่านหินลดลงด้วย ดังนั้นเพื่อปรับปรุงการจัดการกับรอยรั่วในอนาคต จึงมีข้อเสนอแนะให้ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนแบบ On-line ให้กับท่อไอเสียของ Separate Line Calciner (SLC) และ In-Line Calciner (ILC) โดยในระหว่างจัดทำกรณีศึกษา มาตรการนี้ยังคงอยู่ในช่วงรอการอนุมัติ

3.4 มาตรการติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD) ให้กับมอเตอร์ของ Reducer High Pressure Pump และ Reducer Low Pressure Pump ที่ Raw Mill

จากการตรวจประเมินพบว่าค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของมอเตอร์ 14 ตัวที่บริเวณ Raw Mill #3 แสดงให้เห็นดังนี้

- มีมอเตอร์เพียง 2 ตัวเท่านั้นที่มีโหลดเกินกว่า 75% ส่วนมอเตอร์ที่เหลือล้วนมีโหลดต่ำกว่าทั้งนั้นซึ่งหมายถึงมอเตอร์นั้นทำงานอย่างไม่มีประสิทธิภาพ
- โหลดของมอเตอร์ปั๊มน้ำทั้ง 2 ตัวอยู่ที่ 26.99% และ 24.64%
- โหลดของ Reducer High-pressure Pump และ Reducer Low-pressure Pump อยู่ที่ 27.96% และ 51.41% ตามลำดับ
- อัตราการไหลของ Reducer Pump มีการเปลี่ยนแปลง

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD) ให้กับมอเตอร์ของ Reducer High Pressure Pump และ Reducer Low Pressure Pump โดยติดตั้ง Inverter ขนาด 25 แรงม้า ให้กับ Reducer High-pressure Pump และขนาด 15 แรงม้าให้กับ Reducer Low-pressure Pump

ผลประโยชน์ด้านการเงิน (สำหรับ Reducer High-pressure Pump)

- ใช้เงินลงทุน 6,059 เหรียญสหรัฐ (225,655 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 2,000 เหรียญสหรัฐ (74,486 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 3 ปี

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม (สำหรับ Reducer High-pressure Pump)

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงปีละ 41,848 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 8 ตัน CO_2 ต่อปี

ผลประโยชน์ด้านการเงิน (สำหรับ Reducer High-pressure Pump)

- ใช้เงินลงทุน 3,818 เหรียญสหรัฐ (142,194 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 1,500 เหรียญสหรัฐ (55,865 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 2 ปี

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม (สำหรับ Reducer High-pressure Pump)

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงปีละ 41,065 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 8 ตัน CO_2 ต่อปี

ผลประโยชน์ด้านอื่นๆ

- VSD Inverter จะช่วยให้ปรับตั้งอัตราการไหลของน้ำของ Reducer Pump ได้ตาม ต้องการ ซึ่งเป็นการช่วยลดปริมาณน้ำในระบบหล่อเย็นของ Raw Mill

3.5 มาตรการปรับเปลี่ยนมุมของ Nozzle และปรับตั้ง Armour Ring เพื่อเพิ่มการไหลของวัตถุดิบที่ Raw Mill

จากการสำรวจพบว่า การใช้กำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าดัชนี Grindability ของวัตถุดิบซึ่งมีค่าแตกต่างกันออกไปแล้วแต่เหมือง ซึ่งสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

- ปรับเปลี่ยนมุมของ Nozzle ขึ้นไปถึง 90 องศา ซึ่งให้มีความเร็วในแนวดิ่งสูงขึ้น การไหลวนลดลง และลดเวลาในการขนย้ายวัตถุดิบจาก Nozzle ไปยัง Classifier
- ปรับตั้ง Armour Ring การไหลของอากาศเข้าสู่ Mill Inlet ทำมุม 10 องศากับแนวดิ่ง (เดิมทำมุม 15-18 องศา) ซึ่งเป็นการลดการไหลวนของวัตถุดิบ (Recirculation Of Raw material)

มาตรการนี้ยังคงไม่ได้นำไปดำเนินการจริง แต่คาดว่าจะสามารถลดค่าการบริโภคกำลังไฟฟ้าจำเพาะของ Raw Mill ลงจากเดิม (37 kWh/ตัน) ได้ประมาณ 0.5 – 0.8 kWh/ตัน

3.6 มาตรการซ่อมแซมรอยรั่ว (Vacuum Leaks) ที่บริเวณ Hood Door ของเตาเผาเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียความร้อน

เตาเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ใช้ในการผลิตปูนเม็ด มีอัตราการผลิต 4,740 ตันต่อวัน โดยเตาเผามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 เมตร ยาว 80 เมตร และเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าไปทางด้านหน้าของเตาเผาซึ่งเรียกว่า Kiln Hood จากการสังเกตการณ์พบว่า

- มีรอยรั่ว 3 จุดที่บริเวณประตูหน้าของ Kiln Hood (61 ตารางเซนติเมตร 1 จุด และ 84 ตารางเซนติเมตร 2 จุด)
- นอกจากการสูญเสียความร้อนแล้ว ยังมี False Air รั่วเข้าไปในเตาเผาเนื่องจากความดันภายในเตาเผาน้อยกว่าภายนอก ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลงมากขึ้น
- ถ่านหินบางส่วนหลุดรั่วออกไปตามรอยรั่วดังกล่าว (ยังไม่ระบุปริมาณ)

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ซ่อมแซมรอยรั่วโดยใช้ซีเมนต์ทนไฟ (Refractory Cement) ซึ่งวัตถุดิบนี้มีอยู่แล้วจึงไม่ต้องลงทุนเพิ่ม

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- แทบจะไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 12,283 เหรียญสหรัฐ (457,456 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินลงปีละ 24.5 ตัน

- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 45 ตัน CO_2 ต่อปี

ผลประโยชน์ด้านอื่นๆ

- ขจัดการรั่วของถ่านหินออกทาง hood door ของเตาเผา
- ขจัดการรั่วเข้าไปของ false air

3.7 มาตรการคัดแยกขนาดของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปและการจัดการโหลดเพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องบดแบบ Jaw และ Hammer ที่ Raw Mill

จากการตรวจสอบ การไหล อุณหภูมิและสมรรถนะของ Raw Mill และพบว่า โหลดของ Raw Mill ค่อนข้างสูงเกิน ซึ่งเกิดจากวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปใน Raw Mill มีขนาดใหญ่เกินไป

จากการวิเคราะห์พบว่าขนาดที่เหมาะสมที่สุดคือ 25 มิลลิเมตร ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ จึงควรมีการคัดแยกก่อนเพื่อให้มั่นใจว่าวัตถุดิบที่มีขนาดเกิน 25 มิลลิเมตรจะต้องนำไปบดด้วยเครื่อง Jaw และ Hammer ซึ่งเครื่องบดนี้อาจปรับปรุงสมรรถนะให้สามารถคัดแยกวัตถุดิบเฉพาะที่มีขนาดใหญ่ส่งไปยังเครื่องบดและแยกวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กกว่าส่งตรงไปยัง Raw Mill เลย

ในขณะที่จัดทำกรณีศึกษา มาตรการนี้ยังคงอยู่ในระหว่างการวิเคราะห์ความเป็นไปได้

3.8 มาตรการใช้พัดลมและมอเตอร์ของพัดลมระบายความร้อนให้ปูนเม็ด ที่มีประสิทธิภาพสูง

มีการประเมินการไหล กำลัง และประสิทธิภาพของพัดลมระบายความร้อนให้ปูนเม็ด (Clinker Cooler Fan) จำนวน 14 เครื่อง ปรากฏว่ามีพัดลมจำนวน 11 เครื่องที่มีประสิทธิภาพรวม (Combined Efficiency) ต่ำกว่า 50% โดยการคำนวณประสิทธิภาพรวมนั้นจะคิดจากประสิทธิภาพของพัดลมและประสิทธิภาพของมอเตอร์ ซึ่งสามารถปรับปรุงได้ด้วยแนวทางต่อไปนี้

- ปรับปรุงประสิทธิภาพของพัดลมด้วยการติดตั้ง Centrifugal Fan แบบ Backward curve/airfoil
- ปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ด้วยการเปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพ 90% ขึ้นไป
- ในกรณีนี้ไม่สามารถติดตั้งเครื่องแปรผันความถี่ได้ เนื่องจากตำแหน่งของ Damper ไม่ค่อยมีการปรับตั้ง กล่าวคือพัดลมและมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่

ในขณะที่จัดทำกรณีศึกษา มาตรการนี้ยังคงอยู่ในระหว่างการวิเคราะห์ความเป็นไปได้

HUTUL CEMENT PLANT

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

บริษัท Hutal Cement ตั้งอยู่ที่ Selenge, Aimag ประเทศมองโกเลีย ก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1983 โดยต้องปิดทำการเป็นเวลา 5 เดือน (พฤศจิกายน-มีนาคม) เนื่องจากสภาพอากาศที่หนาวเย็นจนทุกอย่างกลายเป็นน้ำแข็ง

1.1 กำลังการผลิต

สามารถผลิตซีเมนต์ได้ประมาณปีละ 70,000 ตัน และปูนขาว (lime) ประมาณปีละ 40,000 ตัน

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

ไม่มีข้อมูล

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ซีเมนต์ (ไม่ได้ระบุประเภท)

ผลิตภัณฑ์รอง คือ ปูนขาว

1.4 จำนวนพนักงาน

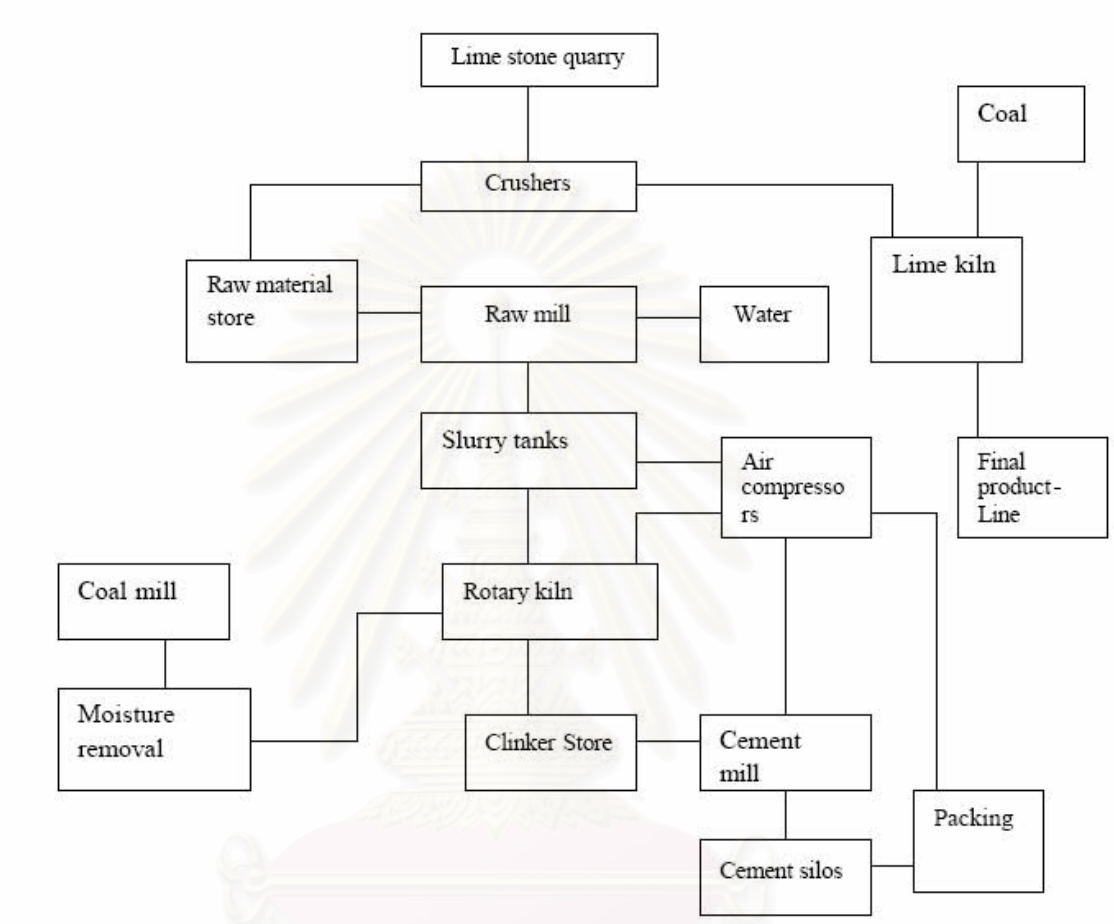
มีจำนวนพนักงานรวม 848 คน

1.5 ยอดขาย

ไม่มีข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต



รูปที่ ข.8 กระบวนการผลิตของโรงงาน

โดยปัจจัยที่ใช้การผลิต (Input) ที่สำคัญที่สุดได้แก่ หินปูน ไฟฟ้า ถ่านหิน น้ำ และแร่เหล็ก ส่วนปัจจัยที่ได้จากการผลิต (Output) ที่สำคัญที่สุดได้แก่ ซีเมนต์ ฝุ่น ของเสียต่างๆ เป็นต้น

3. มาตรการที่ใช้และผลจากการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน

บริษัทได้จัดทำมาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานขึ้นมาดังนี้

มาตรการปรับปรุงซ่อมแซม Boiler เดิมที่มีอยู่ และ/หรือ จัดซื้อใหม่เพื่อทดแทน

จากการสำรวจพบว่า Boiler ใช้ถ่านหินในการทำความร้อนรวมกันคิดเป็นปริมาณถึง 35% ของการใช้ถ่านหินทั้งโรงงานและยังพบว่าการทำงานเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

- **ลงทุนซื้อ Boiler ที่มีระบบ Fluidized Bed Combustion (FBC) มาทดแทนตัวเก่า**

- **ซ่อมแซม Boiler โดยเปลี่ยน ฉนวนหุ้ม (Lining), Bent-tube และ Cyclone**

ผลลัพธ์

1. จากการจัดซื้อ Boiler ตัวใหม่ที่มี FBC มาทดแทนตัวเก่า

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุน 40,000 เหรียญสหรัฐ (1,489,720 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 13,000 เหรียญสหรัฐ (484,159 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 3.1 ปี

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินลงได้ปีละ 650 ตัน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 1630 ตัน CO_2 ต่อปี

2. จากการซ่อมแซมปรับปรุง boiler ตัวเก่าให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 70%

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุน 70,000 เหรียญสหรัฐ (2,607,010 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 28,000 เหรียญสหรัฐ (1,042,804 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 2.5 ปี

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินลงได้ปีละ 1400 ตัน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 3514 ตัน CO_2 ต่อปี

P.T. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKASRA, TBK

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

บริษัท Indocement เป็นหนึ่งในผู้ผลิตซีเมนต์รายใหญ่ที่สุดในประเทศอินโดนีเซีย ก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1985 ประกอบไปด้วยโรงงานทั้งหมด 12 โรง โดย 9 โรงตั้งอยู่ที่ Citeureup Bogor, West Java ส่วนอีก 2 โรงตั้งอยู่ที่ Palimanan, Cirebon, West Java และอีก 1 โรงตั้งอยู่ที่ Tarjun, Kotabaru, Kalimantan

เมื่อปี ค.ศ. 2001 บริษัทสัญชาติเยอรมันซึ่งมีกิจการอยู่ใน 50 ประเทศ ชื่อ Heidelberg Cement Group ซึ่งเป็นหนึ่งในผู้ผลิตซีเมนต์ชั้นนำของโลก ได้เริ่มเข้ามาเป็นผู้ถือหุ้นส่วนใหญ่ของบริษัท Indocement และได้ให้ความสนับสนุนแก่บริษัทฯ ในด้านเทคนิค การเงิน การตลาด และ

เครือข่ายระดับโลก จนทำให้บริษัทฯ สามารถรอดพ้นจากวิกฤติกาลทางการเงินในเอเชียไปได้ในที่สุด

1.1 กำลังการผลิต

สามารถผลิตปูนเม็ดได้ปีละ 15.4 ล้านตัน

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

ไม่มีข้อมูล

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement :OPC)

ผลิตภัณฑ์รอง ได้แก่ ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 2 และ 5 (Portland Cement Type II and Type V)

1.4 จำนวนพนักงาน

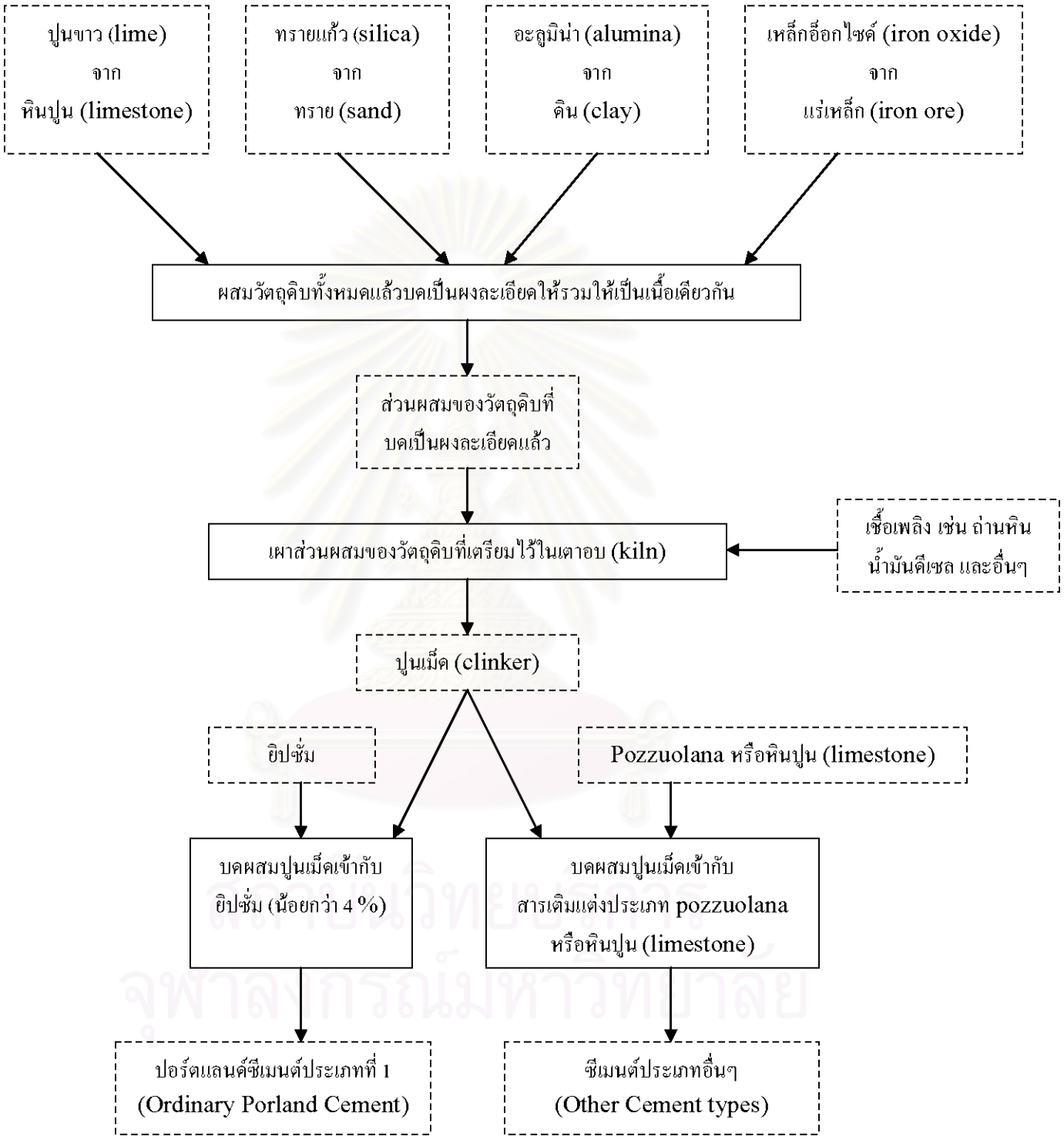
มีพนักงานจำนวนกว่า 7,100 คน (อ้างอิงจากเมื่อปลายปี ค.ศ. 2003)

1.5 ยอดขาย

มียอดขายรวมทั้งหมดกว่า 4 ล้านล้านรูเปีย หรือ 1.63 หมื่นล้านบาท (อ้างอิงจากเมื่อปี ค.ศ. 2003)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต



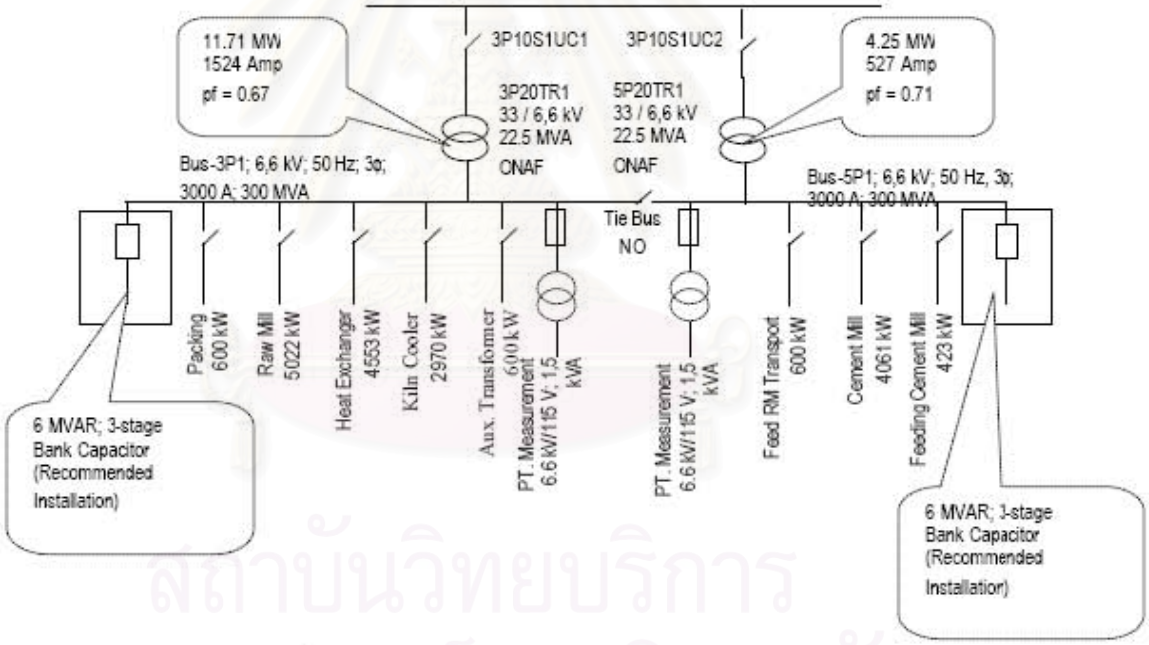
รูปที่ ข.9 กระบวนการผลิตของโรงงาน

บริษัทฯ ได้มีการคิดมาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานขึ้นมาทั้งหมด 6 มาตรการ ดังต่อไปนี้

3.1 มาตรการเปลี่ยนรูปแบบการทำงานของ Tie Bus ให้เป็น Normally Closed (NC) เพื่อแบ่งโหลดของหม้อแปลงและติดตั้ง Capacitor Bank เพื่อปรับปรุงค่า Power Factor

สายการผลิตซีเมนต์ของโรงงาน #6 ได้รับการจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อน 3P10S1UC1 และ 3P10S1UC2 ผ่านหม้อแปลงขนาด 22.5 MVA ซึ่งแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 33 kV ลงมาเป็น 6.6 kV โดยสายการผลิตนี้มีโหลดติดตั้ง (Installed Load) ประมาณ 35.38 MW แต่ใช้งานจริง (Actual Load) ประมาณ 15.96 MW และขณะใช้งานปกติมีค่า Power Factor อยู่ที่ 0.68 โดย Single-line Diagram ของสายการผลิตนี้จะแสดงไว้ในรูปที่ ข.10 ดังต่อไปนี้

Figure 1. Incoming Feeder 33 kV; 3ϕ; 50 Hz, from Indocement Power Plant



รูปที่ ข.10 Single-line Diagram ของสายการผลิต

จากการสังเกตการณ์พบว่า

- การที่ Tie Bus ทำงานในโหมด Normally Open (NO) ทำให้หม้อแปลงขนาด 22.5 MVA ของแต่ละสายป้อนทำงานอย่างเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความไม่มีประสิทธิภาพขึ้นกับหม้อแปลง เนื่องจากความไม่สมดุลของโหลด
- ค่า Power Factor ณ โรงไฟฟ้าอยู่ที่ 0.95 แต่เมื่อมาถึงสายป้อนขาเข้าของสายการผลิตของโรงงาน #6 มีค่าเพียง 0.68 ที่โหลดรวมเท่ากับ 15.96 MW ซึ่ง

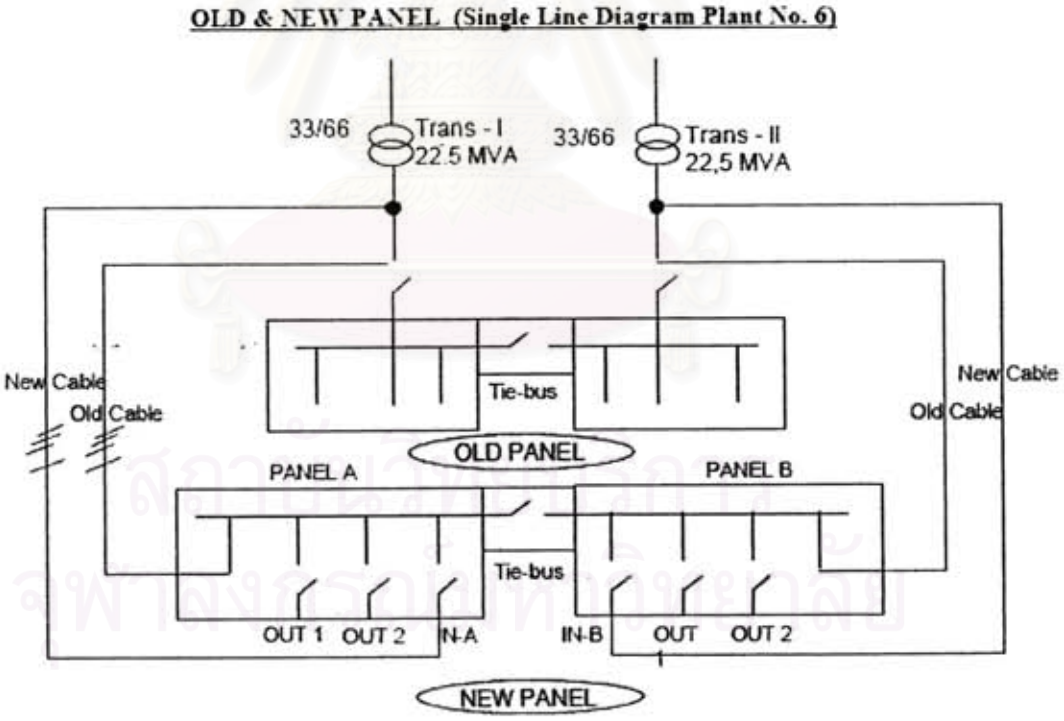
เกิดขึ้นเพราะไม่ได้มีการติดตั้ง Capacitor Bank เพื่อช่วยปรับปรุงค่า Power Factor

- ในภาวะโหลดต่ำ (มอเตอร์ทำงานเพียงไม่กี่เครื่อง) ค่า Power Factor ของแต่ละสายป้อนจะมีค่าสูงเกิน 0.80 เช่น สายป้อนที่จ่ายไปยัง Raw Mill จะมีค่า Power Factor อยู่ที่ 0.81 ณ โหลด 428 kW และ สายป้อนที่จ่ายไปยัง Aux. Transformer จะมีค่า Power Factor อยู่ที่ 0.82 ณ โหลด 194 kW

สำหรับมาตรการนี้ มีแนวทางให้เลือกอยู่ 2 ทางคือ

- **ติดตั้ง Tie Bus เพื่อให้มีการแบ่งโหลดกันระหว่างหม้อแปลงของทั้งสองสายป้อน และเพื่อปรับปรุงค่า Power Factor**

ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงไปได้ถึงประมาณ 198,000 kWh ต่อปี โดยโหลดของหม้อแปลงแต่ละตัวคาดว่าจะอยู่ที่ประมาณ 11.70 MVA (ประมาณ 52% ของโหลดทั้งหมด) ซึ่งเป็นการทำงานที่มีประสิทธิภาพที่สุด ดังรูป



รูปที่ ข.11 OLD & NEW PANEL FOR TIE BUS

- **ติดตัง Capacitor Bank เพื่อปรับปรุงค่า Power Factor**

การปรับปรุงค่า Power Factor จาก 0.68 มาเป็น 0.95 จำเป็นต้องใส่ Reactive Power เข้าไปประมาณ 12 MVAR ที่สายป้อนขาเข้าแต่ละสาย สายละ 6 MVAR ทำให้

สามารถลดพลังงานสูญเสียในสายส่งได้ประมาณ 672,000 kWh ต่อปี โดยประมาณว่าในขณะนั้นมีการสูญเสียในสายส่ง 1% ของการบริโภคพลังงานทั้งหมด และเนื่องจากโหลดในภาวะปกติอยู่ที่ 15.96 MW จำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าถึง 23.47 MVA ที่ค่า Power Factor 0.68 แต่หลังปรับปรุงแล้วที่ค่า Power Factor 0.95 จะใช้กำลังไฟฟ้าเพียง 16.80 MVA ซึ่งหมายความว่าจะมีกำลังไฟฟ้าเหลืออีก 6.67 MVA สำหรับใช้ทำอย่างอื่นได้อีก

ผลลัพธ์

แม้จะไม่มีการปรับปรุงค่า Power Factor ในโรงงาน #6 แต่กรณีศึกษานี้ก็ได้สรุปออกมาแล้วดังนี้ว่า

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 170,000 เหรียญสหรัฐ (6,357,830 ล้านบาท) ซึ่งในจำนวนนี้เป็นค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อแผงไฟฟ้าประมาณ 21,739 เหรียญสหรัฐ (813,017 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 1,124,130 เหรียญสหรัฐ (42 ล้านบาท)
- ระยะเวลาคืนทุน 43 วัน หรือ 1.5 เดือน (โรงงานเปิดทำการปีละ 300 วัน)

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงได้ปีละ 2700 kW
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 24,349 ตัน CO_2 ต่อปี

3.2 มาตรการปรับปรุง Cooling Tower โดยการปรับเปลี่ยนการทำงานของพัดลม วาระการทำความสะอาดปกติ และการซ่อมแซมวาล์วลูกลอย (Float Valve)

ในระหว่างการตรวจประเมินโรงงานได้มีการตรวจสอบ Cooling Tower และพบว่ามี 2 จาก 4 เซลล์ที่เดินเปล่า (Idle) กล่าวคือ ไม่มีน้ำไหลผ่านเลยในขณะที่พัดลมของแต่ละเซลล์นั้นทำงานอย่างต่อเนื่อง และมีรายงานว่าสภาพเช่นนี้เป็นการทำงานตามปกติทั่วไปโดยไม่ขึ้นกับว่าเครื่อง Boiler หรือ Turbine ทำงานอยู่กี่เครื่องก็ตาม ซึ่งในขณะนั้น Turbine ทั้ง 2 เครื่องและ Boiler 5 เครื่องจาก 9 เครื่องกำลังทำงานอยู่

ถังน้ำเย็นมีการล้นอย่างต่อเนื่อง แสดงว่าวาล์วลูกลอยเสีย สารชีวฆาต (Biocide) และสารยับยั้งการกัดกร่อนถูกฉีดเข้าไปอย่างต่อเนื่องในอัตราที่กำหนดไว้ โดยไม่มีการควบคุมป้อนกลับอัตราการไหล จุดที่สารเคมีเหล่านี้ถูกฉีดเข้าไปในถังน้ำเย็นอยู่ติดกับจุดที่ล้นของน้ำภายในรูระบายน้ำของถัง มีข้อสงสัยว่าการเติบโตของตะไคร่น้ำมากเกินไปทั่วทั้ง Tower อาจเป็นเพราะการทิ้งสารชีวฆาตในสัดส่วนที่สูงลงไปในน้ำที่ล้น พบว่ามีฝุ่นผงซีเมนต์เป็นชั้นหนาเคลือบปิดบริเวณ PVC fill และเกร็ดช่องลมด้านข้าง (Side Louver)

สำหรับมาตรการนี้ มีแนวทางให้เลือกอยู่ 4 ทางคือ

- **ปิดพัดลมของ 2 เซลล์ที่เดินเปล่าอยู่เพื่อเป็นการประหยัดกำลังไฟฟ้า**

  ทางเลือกนี้ง่ายและไม่ต้องลงทุน

- **ทำความสะอาด Tower ทุกๆ 3 เดือน โดยใช้ Hypochlorite เพื่อกำจัดตะไคร่น้ำและฝุ่นผงซีเมนต์**

ทำให้สามารถขจัดอันตรายจากเชื้อโรคให้กับบุคคลากรในโรงงาน และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำความเย็นของ Tower และยังป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่ต้องใช้น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิที่พื้นผิวการถ่ายเทความร้อนสูงเกินไป

- **ซ่อมวาล์วลูกลอย**

  เพื่อลดปริมาณน้ำที่สูญเสียจากการล้นให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

- **ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ In-Ground-Source Heat Pumps (IGSHP) แทนที่จะใช้ Cooling Tower**

เป็นทางเลือกสำหรับอนาคตเมื่อ Cooling Tower หมดสภาพและเมื่อถึงกำหนดการจัดซื้อเพื่อทดแทนหรือซ่อมแซม

ผลลัพธ์

ตารางที่ ข.3 การบำรุงรักษา Cooling Tower และ การทดสอบ Boiler มีดังนี้

NO	SCOPE OF WORK	DAYS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Cooling Tower service										
2	Retubing Condensor										
3	Welding deaerator										
4	Cleaning oil cooling-steam turbin										
5	Repair and painting cooling pipe steam turbine										
6	Repair leak of valve steam										
	- valve to system superheater if not the steam turbine is stop										
	- valve in the deaerator										
	- main valve superheater and flange steam boiler 3, 6,7,9										
7	Repairing and replace the pipe in the pipa cooling tower										
8	Service the water flow valve in cooling tower										
9	Blowdown steam modification in cooling tower										
10	blowdown system modification in flash tank										
11	Condensate modification pipe in engine 9										

- เนื่องจาก Cooling Tower ยังซ่อมไม่เสร็จ จึงยังไม่มีการทำความสะอาดด้วยการใช้ hypochlorite และการซ่อมหรือเปลี่ยนวาล์วลูกลอยเพื่อลดการสูญเสียน้ำ แต่อย่างใด
- ขณะนั้น Cooling Tower ไม่อยู่ในสภาพที่ดีนัก กล่าวคือ เซลล์ใช้การไม่ได้ถึง 2 เซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่ามีชิ้นส่วนภายในขาดหายไป จึงทำให้ต้องทบทวนการปรับปรุงประสิทธิภาพของ Cooling Tower ใหม่แม้ว่าจะสามารถควบคุมประสิทธิภาพได้ด้วยการปิดพัดลม 1 ตัว

ในขณะที่ Boiler 3 ถึง 4 ตัวกำลังทำงานอยู่ โดยการซ่อมแซม Cooling Tower จะทำได้ในตอนที่โรงงานปิดเท่านั้นซึ่งต้องใช้เวลา 10 วัน ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมนั้นกำลังมีการประเมินอยู่ในช่วงที่จัดทำกรณีศึกษานี้ขึ้น

- ในขณะที่ Boiler 3 ถึง 4 เครื่อง (จาก 8 เครื่อง) กำลังทำงานอยู่ สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงกำลังได้ด้วยการปิดพัดลมของ Cooling Tower 1 ตัวซึ่งมีขนาด 46.4 แรงม้า (34.8 กิโลวัตต์)

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 27,174 เหรียญสหรัฐ (1,014,609 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 14,489 เหรียญสหรัฐ (540,983 บาท)
- ระยะเวลาคืนทุน 1.8 ปี

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 250.56 MWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 181.41 ตัน CO_2 ต่อปี

3.3 มาตรการลดการใช้อากาศอัดเพื่อการทำความสะอาดเครื่องแต่งกาย

จากการสังเกตการณ์พบว่า มีการใช้อากาศอัดอย่างต่อเนื่อง โดยบุคลากรฝ่ายบรรจุหีบห่อเพื่อเป่าฝุ่นผงจากตัวและเสื้อผ้าของตน ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้อากาศอัดอย่างสิ้นเปลืองแล้ว ยังก่อให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายต่อสุขภาพ กล่าวคือ การเป่าผิวหนังด้วยอากาศอัดตรงๆ ทำให้สารเจือปนถูกเป่าลงสู่ใต้ผิวหนังและทำให้เกิดฟองอากาศในกระแสเลือดซึ่งอาจถึงแก่ชีวิตได้ จึงได้มีการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

- ออกกฎห้ามพนักงานใช้อากาศอัดมาเป่าร่างกาย
- ใช้การควบคุมทางสังคมและมีการประชุมผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเป็นกิจวัตรทุกสัปดาห์เพื่ออภิปรายปัญหาต่างๆ ในโรงงาน #6 ซึ่งรวมถึงปัญหาอากาศอัดด้วย นอกจากการควบคุมทางสังคมแล้ว ฝ่ายบริหารยังได้สั่งให้เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวาล์วเพื่อให้อากาศไหลออกช้าลง

3.4 มาตรการตรวจหาการรั่วของอากาศ (false air leak) แล้วทำการซ่อมแซม

"False Air" คืออากาศความดัน 1 บรรยากาศที่แทรกซึมเข้าไปภายในของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตซึ่งทำงานภายใต้สภาพสุญญากาศผ่านทางรูเปิด มือจับและรอยแตกร้าว เครื่องจักรส่วนมากได้แก่ ห้องเย็น เตาเผา เครื่อง Pre-heater Cyclone เครื่อง Electrostatic Precipitator และเครื่องโม่ (Raw mill) โดย False Air ในระดับที่ยอมรับได้อยู่ที่ประมาณ 10% ทั้งนี้เนื่องจากการที่มี False Air มากเกินไปจะเป็นการเพิ่มโหลดให้กับ Induced Draft Fans ส่งผลให้เปลืองพลังงานมากขึ้น และยังทำให้การบริโภคเชื้อเพลิงเพื่อสร้างความร้อนของเตาเผาและเครื่อง Pre-heater สูงเกินควร ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงกับประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

จากการสำรวจพบว่ามีจุดที่เกิดการรั่วของอากาศอยู่หลายจุดในโรงงาน #6 โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณเครื่องโม่และรอบๆ เครื่อง Pyroclone Pre-heater ซึ่งมีดังนี้

- บริเวณ Raw mill พบจุดที่มี False Air รั่วเข้าไปอยู่ 2 จุดได้แก่

  1) ที่ Inlet Mill (จุดสิ้นสุดของสายพานลำเลียงขาเข้า โดยอากาศที่รั่วเข้าไปมีความเร็วประมาณ 17 เมตรต่อวินาที

  2) ที่ Top Classifier โดยอากาศที่รั่วเข้าไปมีความเร็วประมาณ 5 เมตรต่อวินาที

- บริเวณเครื่อง Pyroclone Preheater พบจุดที่มี False Air รั่วเข้าไป 1 จุด คือ ที่ชั้น 6 ของ Line 1 โดยอากาศที่รั่วเข้าไปมีความเร็วประมาณ 3.5 เมตรต่อวินาที

นอกจากนี้ ยังมีการพบร่องรอยการซ่อมแซมจุดที่มีการรั่วอยู่ทั่วทั้งโรงงาน

สำหรับแนวทางในการแก้ปัญหาที่ได้รับการเสนอแนะก็คือ

การสำรวจจุดที่เกิดการรั่วแล้วทำการซ่อมแซมโดยทันที โดยฝ่ายบริหารได้จัดตารางการทำงานประจำวันไว้ว่า เมื่อได้ที่มีปริมาณออกซิเจนสูงเกิน 3 % จะต้องมีการซ่อมแซมการรั่ว โดยคาดว่าหากใช้มาตรการนี้ จะสามารถลด False Air ให้เหลืออยู่เพียงไม่เกิน 3%

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 3,804 เหรียญสหรัฐ (141,764 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 121,265 เหรียญสหรัฐ (4,519,195 บาท)
- ระยะเวลาคืนทุน 0.5 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานลงได้ปีละ 2,425 ตันถ่านหิน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 828 ตัน CO_2 ต่อปี

3.5 มาตรการติดตั้ง Auto Drain สำหรับอากาศอัด (Compressed Air)

จากการสำรวจพบว่า Drain valve ของเครื่อง Dom pressor (ด้านหลังเครื่อง Cooler) ถูกเปิดทิ้งไว้ทำให้เกิดการสูญเสียของอากาศอัดตลอด Drain line แต่ปริมาณการสูญเสียที่แน่ชัดนั้นยังไม่สามารถระบุได้

แนวทางการแก้ปัญหาก็คือ

การติดตั้ง Auto Drain ให้กับเครื่อง Compressor โดยเลือกใช้แบบ Capacitance (วัดระดับ)

ผลลัพธ์

ไม่มีข้อมูล เนื่องจากในระหว่างจัดทำบทความนี้ ข้อมูลการวัดอัตราการคายตัวของ Condensate ในแต่ละ Drain ยังไม่เสร็จสมบูรณ์

3.6 มาตรการติดตั้งเครื่องปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drives: VSD) ให้กับพัดลมทั้ง 12 ตัวเพื่อลดการใช้กระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

โรงงาน #6 มีพัดลมทั้งหมดกว่า 90 ตัว มีขนาดตั้งแต่ 5 ถึง 400 kW การปรับปรุงสมรรถนะของพัดลมจะช่วยให้สามารถลดค่าดัชนีการบริโภคพลังงานของโรงงานลงได้ มีพัดลมจำนวนมากที่หมุนด้วยความเร็วคงที่และมี Damper หรือ IGV (Inlet Guide Vain) คอยควบคุมอัตราการไหล และมีอีกจำนวนมากที่ควบคุมการทำงานจากห้องควบคุมกลาง (Central Control Room: CCR) ซึ่งพบว่าพัดลมที่ติดตั้งกับ IGV หรือ Damper ทำงานอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพ และเนื่องจากโหลดของพัดลมแปรเปลี่ยนไปตามงาน ดังนั้นจึงต้องใช้ IGV หรือ Damper ที่ปรับค่าได้ โดยในแต่ละงาน การควบคุม IGV หรือ Damper นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการซึ่งจะเป็นตัวกำหนดให้การปรับเปลี่ยนโหลดของพัดลมเป็นไปตามข้อกำหนดต่างๆ ของกระบวนการ

สำหรับมาตรการนี้มีทางเลือกดังนี้

- **ควบคุมอัตราการไหลด้วยการควบคุมความเร็วรอบของพัดลม** ซึ่งเป็นการควบคุมที่มีประสิทธิภาพที่สุด เนื่องจากอัตราการไหลแปรผันตรงกับความเร็วรอบของมอเตอร์
- **ลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงด้วยการความเร็วรอบของมอเตอร์** เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้จะแปรผันตรงกับกำลังสามของความเร็วรอบของมอเตอร์
- **เปลี่ยนการควบคุมจาก IGV และ Damper มาเป็นการควบคุมความเร็วรอบแทน** จะช่วยให้ลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ถึง 59% และ 69% ตามลำดับ
- **ใช้การเปลี่ยนอัตราทดสายพานรอก หรือใช้มอเตอร์ที่ปรับความเร็วรอบได้ (multi-speed motor) ในกรณีที่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าของ IGV** แทนการใช้ VSD เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ เหตุผลก็คือการใช้ VSD นั้นจะทำให้ IGV หรือ Damper เปิดได้ 100% และทำให้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมกับโหลด ซึ่งเป็นการลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงได้อย่างมาก เฉพาะในกรณีที่โหลดเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเท่านั้น กล่าวคือ IGV หรือ Damper มีการเปลี่ยนแปลงการตั้งค่าอยู่โดยตลอด
- **ติดตั้ง VSD ให้กับมอเตอร์ที่ต่อเข้าโดยตรงกับพัดลม** เพราะหากติดตั้งให้กับมอเตอร์ที่มีการส่งกำลังผ่านสายพาน จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง 2-3% เนื่องจากการสลิปในสายพาน

ผลลัพธ์

ไม่พบว่ามีปัญหาทางเทคนิคเกิดขึ้นในการติดตั้งและทดสอบ VSD ให้กับมอเตอร์พัดลม โดยผลการทดสอบมีแสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ข.4 Data of Inverter Test

Trade mark of "Hitachi"
The comparison before and after using inverter in cooling fan
(Cooling Fan 1R 75 KW)

No.	Before					After				Difference	
	Dampe r (%)	Flow (m^3/m)	Current (A)	Cos j	Daya (KW)	Curren t (A)	Cos j	Freque ncy (Hz)	Daya (KW)	Daya (KW)	%
1	0	40	62	0,53	22,74	3	0,18	8,00	0,37	**22,37**	**98,4**
2	20	164	78	0,71	38,32	13	0,20	25,61	1,80	**36,52**	**95,3**
3	40	265	100	0,81	56,05	63	0,63	43,80	27,47	**28,59**	**51,0**
4	60	295	111	0,83	63,75	81	0,76	47,84	42,60	**21,15**	**33,2**
5	80	300	116	0,84	67,43	86	0,80	48,94	47,61	**19,82**	**29,4**
6	100	300	119	0,84	69,17	97	0,80	50,00	53,70	**15,47**	**22,4**

ตารางที่ ข.5 Energy Save Vs Opening Damper Interpolation (Data Result)

Table 3 a: Interpolation energy saving
From data fan 1R 75 kW

Open Damper (%)	Energy saving (%)
0	98,400
5	97,625
10	96,850
15	96,075
20	95,300
25	84,225
30	73,150
35	62,075
40	51,000
45	46,550
50	42,100
55	37,650
60	33,200
65	32,250
70	31,300
75	30,350
80	29,400
85	27,650
90	25,900
95	24,150
100	22,400

Table 3 b: Energy saving if make VSD's and use real % open damper

Equipment Number	Opening Damper Real (%)	Energy saving (%)	Energy use after make VSD's
471FN8MO1	68	31.680	0,683
471FN9MO1	25	84.225	0,158
471FNFMO1	26	82.010	0,180
471FNIMO1	20	95.300	0,047
471FN4MO1	65	32.250	0,678
471FN5MO1	65	32.250	0,678
471FN6MO1	65	32.250	0,678
471FN7MO1	75	30.350	0,697
471FNEMO1	33	66.505	0,335
471FNHMO1	41	50.110	0,499
471FNKMO1	43	48.330	0,517
471FNGMO1	37	57.645	0,424
471FNJMO1	38	55.430	0,446

ตารางที่ ข.6 Saving Energy Calculation for Cooling Fan at Grate Cooler Plant-6

Assumption:

1. (%) saving energy : based on table 3b
2. Power Factor: 0.8 (PF varied with load, range 0.3~0.95)
3. Voltage: 400 V
4. Running hour: 300 days in 1 year
5. Energy rate: IDR 532 / KWH

NO	EQP.NO	RATING		OPERATING			% DAMPER OPENING	WITH INVERTER		POWER SAVING (KW)	ENERGY SAVING			SAVING MONEY Yearly (IDR)
		POWER (kW)	Current (Amp.)	Current (Amp.)	% Oper.	POWER (kW)		POWER (kW)	Current (Amp.)		Daily	Monthly	Yearly	
											(KWH)			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	471FN8MO1	55	98	54	55,102	29,8944	68	36,89	20,42	9,47	227,29	6.818,79	81.826	43.531.174,91
2	471FN9MO1	55	98	48	48,980	26,5728	25	7,73	4,28	22,30	535,09	16.052,68	192.632	102.480.326,42
3	471FNFMO1	75	140	132	94,286	73,0752	26	16,96	9,39	63,69	1528,44	45.853,23	550.239	292.726.997,95
4	471FNIMO1	75	140	90	64,286	49,824	20	3,02	1,67	48,15	1155,63	34.668,96	416.028	221.326.658,15
5	471FN4MO1	110	195	123	63,077	68,0928	65	42,73	23,66	44,43	1066,44	31.993,14	383.918	204.244.206,94
6	471FN5MO1	110	195	123	63,077	68,0928	65	42,73	23,66	44,43	1066,44	31.993,14	383.918	204.244.206,94
7	471FN6MO1	110	195	100	51,282	55,36	65	34,74	19,23	36,13	867,02	26.010,68	312.128	166.052.200,76
8	471FN7MO1	110	195	85	43,590	47,056	75	30,36	16,81	30,25	725,97	21.778,96	261.348	139.036.910,50
9	471FNEMO1	110	195	140	71,795	77,504	33	24,05	13,31	64,19	1540,59	46.217,66	554.612	295.053.555,66
10	471FNHMO1	132	242	132	54,545	73,0752	41	27,21	15,06	58,01	1392,25	41.767,37	501.208	266.642.881,21
11	471FNKMO1	132	242	138	57,025	76,3968	43	29,46	16,31	60,09	1442,04	43.261,30	519.136	276.180.126,53
12	471FNGMO1	160	294	155	52,721	85,808	37	22,33	12,36	73,45	1762,71	52.881,19	634.574	337.593.541,61
13	471FNJMO1	160	294	182	61,905	100,7552	38	27,59	15,27	85,48	2051,54	61.546,21	738.555	392.911.011,72
		1.394							191	640	15.361	460.843	5.530.120	2.942.023.799

METHOD of CALCULATION

Column F: % operating = (Amp. Operating / Amp. rating) X 100% = (Column E / Column D) X 100%
Column G: Power operating (kW) = (v3 x V x I x PF)/1000 = 1.73 x 400 x Column E x 0.8)/1000
Column I: Current with Inverter = (100-% energy saving) x Operating Current = (100-% energy saving) x Column E
Column H: Data Open Damper
Column J: Power with Inverter (kW) = (v3 x V x I x PF)/1000 = (1.73 x 400 x Column I x 0.8)/1000
Column K: Power Saving (kW) = Power Operating – Power with Inverter = Column G – Column J
Column N: Yearly Energy Saving (kWH) = 24 x 25 x 12 x Power Saving = 24 x 25 x 12 x Column K
Column O: Saving Money (IDR) – Yearly = Yearly Energy Saving x IDR 532 = 532 x Column N

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 136,000 เหรียญสหรัฐ (5,068,326 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 360,000 เหรียญสหรัฐ (13,416,156 บาท)
- ระยะเวลาคืนทุน 5 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 5,530 MWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 4004 ตัน CO_2 ต่อปี

PT Semen Cibinong TBK

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

บริษัท PT Semen Cibinong TBK เป็นหนึ่งในผู้ผลิตซีเมนต์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศอินโดนีเซีย ก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ. 1975 ปัจจุบันมีแหล่งผลิตซีมเนต์ทั้งสิ้น 2 แหล่ง คือ ที่ Desa Narogong, Bogor และที่ Cilacap, Central Java

1.1 กำลังการผลิต

7 ล้านตันต่อปี

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

5.7 ล้านตันต่อปี

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ซีเมนต์ 5 ชนิด ได้แก่

1. ซีเมนต์ Type 1 – Ordinary Portman Cement (OPC)
2. ซีเมนต์ Type 2 – Moderate Heat of Hydration Cement
3. ซีเมนต์ Type 3 – High Early Strength Cement
4. ซีเมนต์ Type 5 – Sulphate Resistant Cement
5. ซีเมนต์ Type G – Oil Well Cement

1.4 จำนวนพนักงาน

3,216 คน

1.5 ยอดขาย

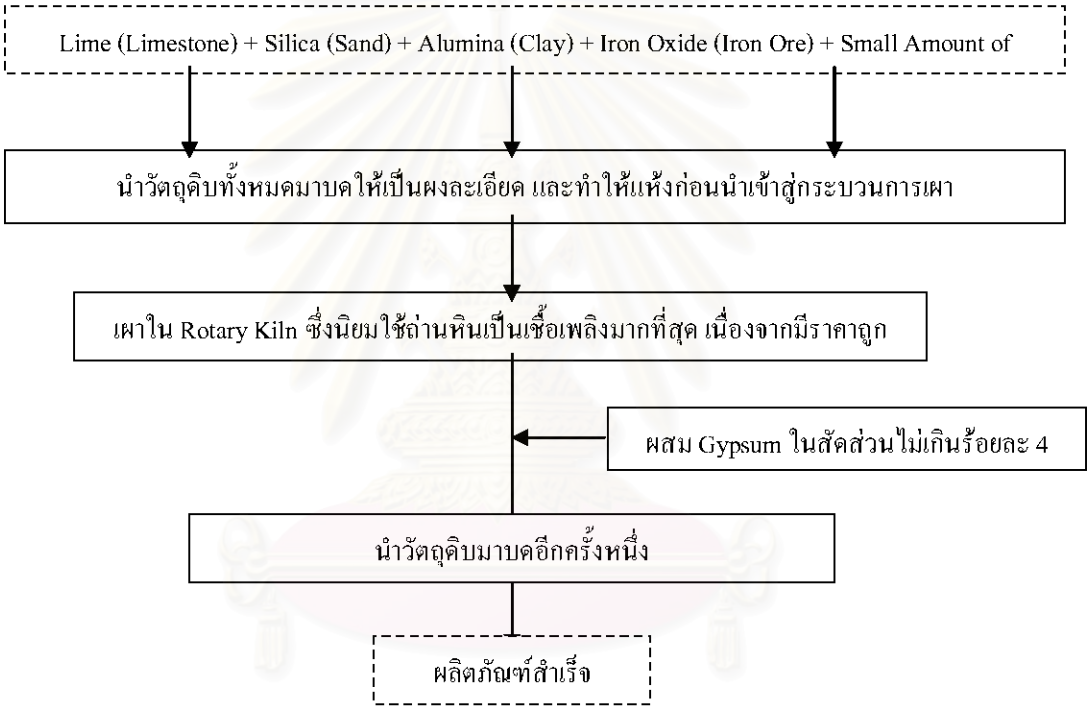
$18 ล้านเหรียญสหรัฐ (ข้อมูลปี ค.ศ. 2002)

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการผลิตซีเมนต์จะประกอบไปด้วยกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอน คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบ
2. Pyro – Processing
3. การบดในขั้นสุดท้าย

เนื่องจากผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท PT Semen Cibinong TBK คือ Portland Cement ดังนั้นจะขอกล่าวถึงกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ชนิดนี้อย่างละเอียดเพียงชนิดเดียว



รูปที่ ข .12 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์

สำหรับกระบวนการผลิตซีเมนต์ประเภทอื่นๆ นั้น จะแตกต่างกันเพียงการเพิ่มเติมวัตถุดิบอื่นๆ เข้าไปเท่านั้น

3. มาตรการที่ใช้ และผลจากการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน

บริษัทฯ ได้มีการประยุกต์ใช้มาตรการเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานทั้งสิ้น 3 มาตรการ คือ

1. การซ่อมแซมการรั่วไหลของอากาศอัด

2. การป้องกัน False Air Leak ในเตา Reactor

3. การเปลี่ยนคุณภาพของ Firebrick เพื่อลดปริมาณการหยุดเดินเตา Reactor

3.1 การซ่อมแซมการรั่วไหลของอากาศอัด

การดำเนินการนี้ถูกจัดทำขึ้นในสายการผลิต Narogong #4 ซึ่งจากการสำรวจพบว่า

- อากาศอัดที่ใช้ในสายการผลิตนี้ถูกผลิตขึ้นจากเครื่องอัดอากาศที่ติดตั้งไว้แยกจากกัน ตามความต้องการใช้ของแต่ละส่วนงานในสายการผลิต
- ระบบอากาศอัดทั้งหมดถูกควบคุมด้วยระดับความดัน ซึ่งจะมีการตรวจวัดเพียงครั้งเดียวที่ห้องควบคุมกลาง (Central Control Room) กล่าวคือ จะไม่มีการติดตั้งมิเตอร์เพื่อวัดค่าความดัน ณ จุดอื่นๆ ของสายการผลิตเลย
- ประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศที่ประเมินได้มีค่าอยู่ที่ 73% หรือน้อยกว่า ซึ่งระบุให้เห็นอย่างเด่นชัดว่ามีการสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหลของอากาศอัดในระดับที่น่าเป็นห่วง (อ้างอิงจากแนวทางการปฏิบัติที่เป็นเลิศในอุตสาหกรรม ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดค่าการรั่วไหลไม่เกิน 10% หรือคิดเป็นค่าประสิทธิภาพที่ 90%)

จากผลการสำรวจข้างต้น ผู้บริหารมีความเห็นที่จะปรับปรุงระบบอากาศอัดในโรงงานใหม่ โดยพิจารณาซ่อมแซมจุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด ณ จุดต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ขั้นตอนเตรียมการ ซึ่งประกอบไปด้วย
   - การจัดเตรียมสารเหลว ซึ่งทำจากส่วนผสมของน้ำ และสบู่ เพื่อใช้ในการตรวจจับจุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด
   - ป้ายพลาสติกที่ใช้ติดเพื่อบ่งบอกจุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด
   - แบบการตรวจประเมิน และสรุปผล ซึ่งประกอบไปด้วยการระบุตำแหน่งสถานที่ ปริมาณการรั่วไหล และข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็น
2. ขั้นตอนการสำรวจ ซึ่งประกอบไปด้วย
   - การพ่นสารเหลวลงบนอุปกรณ์ และท่อส่งอากาศอัดเพื่อตรวจว่ามีการรั่วไหลของอากาศอัดหรือไม่
   - วัดปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดด้วย Anemometer (สำหรับบริเวณที่เครื่องมือเข้าไม่ถึง จะใช้การเทียบปริมาณแทนการตรวจวัด)
   - ระบุตำแหน่งที่มีการรั่วไหลด้วยป้ายพลาสติก พร้อมทั้งระบุรายละเอียด

รูปที่ ข.13 การใช้สารเหลวในการตรวจจับการรั่วไหลของอากาศอัด

รูปที่ ข.14 การตรวจจับการรั่วไหลของอากาศอัดด้วยเสียง

รูปที่ ข.15 เครื่องตรวจวัดปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัด (Anemometer)

3. สรุปผลการสำรวจ และคำนวณหาค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งได้ผลออกมาดังต่อไปนี้

- พบการรั่วไหลทั้งสิ้น 160 จุด ตามบริเวณข้อต่อ และรอยต่าต่างๆ ของท่อส่ง
- ประมาณค่าการสูญเสียทั้งสิ้นได้ประมาณ 448.5 ลิตรต่อวินาที หรือคิดเป็นความสูญเสีย 125 กิโลวัตต์ชั่วโมง ต่อชั่วโมง

รูปที่ ข.16 การวัดการรั่วไหลของอากาศอัด

รูปที่ ข.17 การติดแผ่นป้ายพลาสติกบอกตำแหน่งการรั่วไหล

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนเบื้องต้นประมาณ $16,667
- ไม่มีต้นทุนการดำเนินการประจำปี
- ประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้ $50,092 ต่อปี
- คืนทุนได้ในระยะเวลาประมาณ 4 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- สามารถลดปริมาณพลังงานไฟฟ้าลงไปได้ปีละ 901,660 กิโลวัตต์ชั่วโมง
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 805.18 tCO_2 ต่อปี

3.2 การป้องกัน False Air Leak ในเตา Reactor

False Air หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Vacuum Leak เป็นสิ่งที่เกิดเนื่องจาก การไหลเข้าของอากาศจากภายนอกระบบ ซึ่ง False Air นี้จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานในเตา Reactor เนื่องจาก

- False Air จะทำให้ต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากขึ้นในการทำความร้อนในเตา
- False Air จะทำให้ระบบต่างๆ เช่น ระบบขับเคลื่อนพัดลม ทำงานมากขึ้นกว่าภาวะปกติ ส่งผลทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

เพื่อลดปริมาณความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นลง ผู้บริหารได้แต่งตั้งให้มีการสำรวจ False Air ขึ้นในสายการผลิต RN#4 โดยจะมุ่งเน้นทำการสำรวจบริเวณต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ท่อหลัก และท่อขนส่งของ Ball Mill
- บริเวณ Nose Ring และส่วนต่างๆ ของเตา และส่วน Pre – Heat
- Inspection Port

หลังจากการสำรวจตามบริเวณต่างๆ ข้างต้น ทีมสำรวจได้แนะนำให้มีการดำเนินการ 2 ประการสำคัย คือ

- การติดตั้ง Mechanical Seal เพื่อปิดกั้นการไหลเข้าของ False Air ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 ซึ่งการดำเนินการนี้จะดีกว่าการซ่อมแซม Nose Ring มาก เนื่องจากการซ่อมแซม Nose Ring จะช่วยป้องกันการไหลเข้าของ False Air ได้ไม่นานเมื่อเทียบกับ Mechanical Seal
- การสำรวจ และซ่อมแซมจุดที่มีการไหลเข้าของ False Air ซึ่งได้มีการนำเอาอุปกรณ์รวจจับ False Air แบบอิเล็กโทรนิกส์เข้ามาใช้ ทำให้สามารถซ่อมแซม และลดการสูญเสียลงไปได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ต้องใช้เงินลงทุนในการจัดหา และติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง (ยังไม่มีข้อมูล เนื่องจากยังไม่มีการจัดซื้ออุปกรณ์เหล่านี้ ระหว่างการจัดทำเอกสารฉบับนี้)
- ไม่มีต้นทุนการดำเนินการประจำปี
- ประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้ $339,167 ต่อปี

รูปที่ ข.18 Mechanical Seal

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- สามารถลดปริมาณการใช้ถ่านหินลงไปได้ 12,210 ตันต่อปี
- สามารถลดปริมาณเพลังงานไฟฟ้าได้ (หากแต่ยังไม่มีข้อมูล)
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 30,674 tCO_2 ต่อปี

3.3 การเปลี่ยนคุณภาพของ Firebrick เพื่อลดปริมาณการหยุดเตา Reactor

กระบวนการผลิตซีเมนต์ส่วนใหญ่มักดำเนินการภายใน Reactor ซึ่งมักติดตั้ง Refractory หรือ Firebrick ไว้ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมี การสึกกร่อนจากกระบวนการทางกลต่างๆ ความร้อนส่วนเกิน และยังใช้เสมือนหนึ่งเป็นฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นด้วย

จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าเตา Reactor ของสายการผลิต NR#4 มีการซ่อมบำรุง และเปลี่ยน Refractory อยู่บ่อยครั้ง โดยสาเหตุที่ต้องทำการซ่อมแซม หรือเปลี่ยน Refractory นั้นเป็นเพราะ Refractory ที่ใช้อยู่เสื่อมสภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนนั่นเอง

ทั้งนี้ ในแต่ละครั้งที่ต้องทำการซ่อมแซม หรือเปลี่ยน Refractory นั้น โรงงานจะได้รับความสูญเสียจาก

- การใช้เชื้อเพลิงจำนวนมากในการ Start Up เตา หลังจากที่ต้องปิดเพื่อทำการซ่อมแซม หรือเปลี่ยน Refractory
- การสูญเสียโอกาสในการผลิตระหว่างการซ่อมแซม หรือเปลี่ยน Refractory
- การสูญเสียแรงงานในการซ่อมแซม หรือเปลี่ยน Refractory

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของ Refractory ทางผู้บริหารได้ตัดสินใจให้ทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของ Refractory ใหม่ โดย

- แทนที่วัตถุดิบเดิมด้วยวัตถุดิบใหม่ที่มีคุณภาพสูง
- ทำการพัฒนา และปรับปรุงวิธีการติดตั้ง Refractory ใหม่ตามวิธีการที่ผู้เชี่ยวชาญ แนะนำ ซึ่งผู้แนะนำได้แนะนำให้ทำการติดตั้ง Refractory ตามโซน และหน้าที่การทำงานของเตา Reactor ตัวอย่างเช่น
- ในโซนที่ได้รับความร้อนสูงให้หันมาใช้ Magnesium – Spinel Brick ซึ่งมีคุณสมบัติด้านความร้อนที่ดีกว่าวัตถุดิบเดิม

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ต้องใช้เงินลงทุนในการฝึกอบรมพนักงานให้เข้าใจวิธีการทำงานใหม่ ซึ่งยังไม่ได้ระบุเป็นตัวเงิน
- ต้นทุนการดำเนินการประจำปีค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับผลที่ประหยัดได้
- ประหยัดค่าใช้จ่ายลงไปได้ $52,421 ต่อปี เนื่องจากปริมาณการใช้ IDO (Industrial Fuel Oil) ลดลง
- แทบจะคืนทุนได้ในทันที เนื่องจากต้นทุนต่างๆ มีค่าต่ำ

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- สามารถลดปริมาณการใช้ IDO (Industrial Fuel Oil) ลงไปได้ 253,830 ลิตรต่อปี
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 680 tCO_2 ต่อปี

ผลประโยชน์ด้านอื่นๆ

- ผลผลิตเพิ่มขึ้น 126,725 ตัน
- เวลาในการซ่อมบำรุงลดลง
- สุขอนามัยในโรงงานดีขึ้นเนื่องจากการแทยที่ Chrome Bricks ด้วย Chrome – Free Bricks

P.T. SEMEN PADANG

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

บริษัท PT Semen Padang เป็นบริษัทผลิตซีเมนต์ที่เก่าแก่ที่สุดในอินโดนีเซีย ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1910 มีสถานที่ตั้งอยู่ที่ Indarung, Padang, West Sumatra ประกอบไปด้วย 5 โรงงาน

1.1 กำลังการผลิต

สามารถผลิตปูนเม็ดได้ปีละ 5,240,000 ตัน

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

ไม่มีข้อมูล

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ปูนซีเมนต์ (ไม่ได้ระบุประเภทไว้)

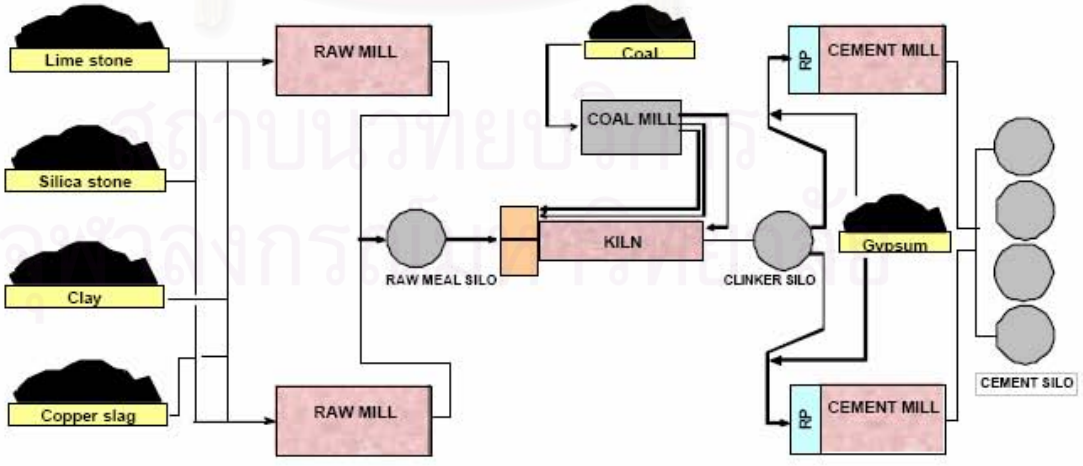
1.4 จำนวนพนักงาน

มีพนักงานจำนวนกว่า 2,376 คน (อ้างอิงจากเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2003)

1.5 ยอดขาย

ไม่มีข้อมูล

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต



รูปที่ ข.19 Process flow diagram for PT.Sement Padang

กระบวนการผลิตหลักแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: การผลิตวัตถุดิบสำเร็จ (Raw meal production)

หินปูน หินทราย ดินเหนียว และกากทองแดง จะถูกผ้อนเข้าไปในเครื่อง Tube Mills เพื่อทำการบดผสมและอบแห้ง จนได้ออกมาเป็นวัตถุดิบสำเร็จ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการบด และพลังงานจากก๊าซร้อน (ก๊าซไอเสียจากเตาเผา) ในการอบแห้ง และในขั้นตอนนี้จะเกิดฝุ่นผงของวัตถุดิบสำเร็จออกมาด้วยซึ่งมีเครื่อง Electrostatic Precipitator คอยดักจับไว้

ขั้นตอนที่ 2: การผลิตปูนเม็ด (Clinker Production)

ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นในเตาเผา เป็นหลัก เริ่มจากการเผาวัตถุดิบสำเร็จที่อุณหภูมิ (Calcinations) แล้วเกิดปฏิกิริยา Clinkering ที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส จากนั้นก็ทำให้เย็นตัวลง โดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการเผา และในขั้นตอนนี้จะเกิดฝุ่นผงของปูนเม็ดออกมาด้วยซึ่งมีเครื่อง Electrostatic Precipitator คอยดักจับไว้ และยังมีอากาศร้อนปล่อยออกมาด้วย

ขั้นตอนที่ 3: การผลิตซีเมนต์ (Cement Production)

ขั้นตอนนี้จะใช้เครื่อง Tube Mills เป็นหลักเพื่อบดปูนเม็ดและยิปซั่ม โดยพลังงานที่ใช้คือ ไฟฟ้า และในขั้นตอนนี้จะเกิดฝุ่นผงของซีเมนต์ออกมาด้วยซึ่งมีเครื่อง Electrostatic Precipitator คอยดักจับไว้

3. มาตรการที่ใช้และผลจากการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน

บริษัทฯ ได้มีการคิดมาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานขึ้นมาทั้งหมด 5 มาตรการดังต่อไปนี้

3.1 มาตรการตรวจหาและซ่อมแซมจุดที่มีการรั่วของอากาศอัดและการรณรงค์พนักงาน

โรงงาน Indarung #4 มีห้อง Compressor อยู่ 2 ห้องสำหรับติดตั้งเครื่อง Compressor จำนวน 4 เครื่อง ใช้งานจริง 2 เครื่อง (J3K32 และ J3K34) และเป็นเครื่องสำรอง 2 เครื่อง (J3K33 [ชำรุด] และ J3K35) และยังมีห้อง Compressor (สำหรับเครื่องบดซีเมนต์) ซึ่งติดตั้งเครื่อง Compressor (GA90) โดยทุกเครื่องไม่มีการติดตั้งมิเตอร์วัดการไหล และพบว่ามีอากาศอัดรั่วที่บริเวณข้อต่อของท่อ, Water trap, วาล์ว, House Connection, House, ข้อต่อแบบหักข้อศอก, โซลีนอยด์ วาล์ว, Air Shaking, ถังบรรจุอากาศ, วาล์วปรับความดัน รวมทั้งหมด 23 จุด

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

สำรวจหารอยรั่วทั้ง 23 จุดโดยใช้ฟองสบู่ และซ่อมแซมด้วยการขันสกรูของท่อให้แน่นและอุดรูรั่ว โดยได้มีการวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในสภาวะมีโหลดและไร้โหลดภายหลังการซ่อมแซม

ผลลัพธ์

ภายหลังการวัดค่ากำลังไฟฟ้าในสภาวะมีโหลดและไร้โหลดสามารถคำนวณผลประหยัดเปรียบเทียบกันระหว่างก่อนซ่อมและหลังซ่อม ดังนี้

ตารางที่ ข.7 Calculation result power consumption

Compressor	J3K32	J3K34	GA90	Total
Total Power, kWh/yr Before leaks repairing	960,652.88	981,119.21	398,726.88	2,340,498.97
Total Power, kWh/yr After leaks repairing	925,917.32	944,949.40	376,354.98	2,247,221.7
Power difference, kWh/yr	34,735.57	36,169.81	22,371.90	93,277.27

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

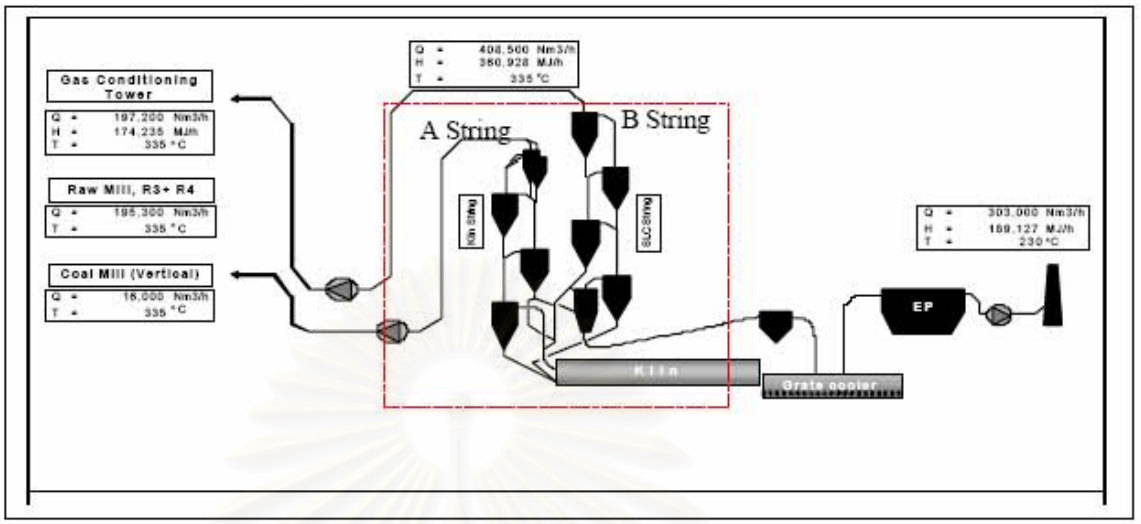
- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 5,306 เหรียญสหรัฐ (197,739 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 93,277.27 kWh
- ลดปริมาณการบริโภคพลังงานทั้งหมด 3.98%
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 67.53 ตัน CO_2 ต่อปี

3.2 มาตรการสำรวจการรั่วของ False Air และการซ่อมแซมรอยรั่วในเตาเผา

การที่มี False Air รั่วเข้าไปภายในเตาเผาซึ่งเป็นระบบสุญญากาศนั้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบริโภคพลังงานต่ำลงและเป็นการเพิ่มโหลดให้มอเตอร์ของพัดลมอีกด้วย จากการสำรวจนั้นพบจุดต่างๆ ที่มีการรั่วดังจะแสดงต่อไปนี้



รูปที่ ข.20 Observation area

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

การสำรวจหารอยรั่วพร้อมระบุสาเหตุทั้งหมดแล้วทำการซ่อมแซม ซึ่งจะช่วยป้องกันไม่ให้การใช้พลังงานและเชื้อเพลิงของกระบวนการสันดาปภายในเตาเผาเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพัดลมมอเตอร์จะกินกระแสไฟฟ้ามากขึ้นและถ่านหินต้องถูกนำไปใช้อุ่น False Air จากอุณหภูมิโดยรอบให้สูงขึ้นไปถึงอุณหภูมิปฏิบัติการ

ผลลัพธ์

หลังการซ่อมแซม ได้มีการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานก่อนและหลังซ่อมแซม ได้ผลดังนี้

ตารางที่ ข.8 Comparing energy consumption before and after repair

Items Remark	**Before repairing**	**After repairing**
Total Exhaust Gas	408,500 Nm^3/h	364,500 Nm3/h
Total Electricity Consumption	3080 kWh	2957 kWh
Production	225 tons/h	225 tons/h
Kiln Gas specific	1.82 Nm^3 / kg clinker	1.62 Nm^3 / kg clinker
Spec. Power Consumption	13.68 kWh/ton	13.14 kWh /ton

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 18,294 เหรียญสหรัฐ (681,764 บาท)

- ให้ผลประหยัดปีละ 400,637 เหรียญสหรัฐ (14,930,579 บาท)
- ระยะเวลาคืนทุน 2 สัปดาห์

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 885,600 kWh
- ลดการใช้ถ่านหินลงได้ปีละ 11,895 ตัน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 30,489.8 ตัน CO_2 ต่อปี

3.3 มาตรการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรอกพัดลม (fan pulley) เพื่อลดความเร็วรอบของพัดลมแทนการใช้ damper

ทั่วทั้งโรงงาน Indarung #4 มีพัดลม ขนาดตั้งแต่ ต่ำกว่า 5 kW ขึ้นไปถึงมากกว่า 1500 kW ซึ่งมีจำนวนมากที่ถูกสั่งการจากห้องควบคุมกลาง (CCR) ในขณะที่พัดลมอีกจำนวนมากที่ทำงานร่วมกับ IGV หรือ damper control ซึ่งไม่ได้ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพที่สุด เนื่องจาก damper ที่เปิดอยู่ ทำงานเพียงแค่ 13-65% เท่านั้น ซึ่งบ่งชี้ว่าขนาดของพัดลมใหญ่เกินไป

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

เพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอกพัดลมเพื่อลดความเร็วรอบของพัดลม ซึ่ง เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า โดยมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

ตารางที่ ข.9 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า

	Motor			Fan	
	F Pulley (mm)	RPM	Ampere	F Pulley (mm)	RPM
Before modification	300	1465	42	200	2197
After modification	300	1465	29	234	1868

ผลลัพธ์

ความเร็วรอบของพัดลมที่ลดลงทำให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ลดลงจาก 42 A เหลือ 29 A หรือคิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลงได้ 6.65 kW

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 27.8 เหรียญสหรัฐ (1,036 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 2,270.54 เหรียญสหรัฐ (84,616 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

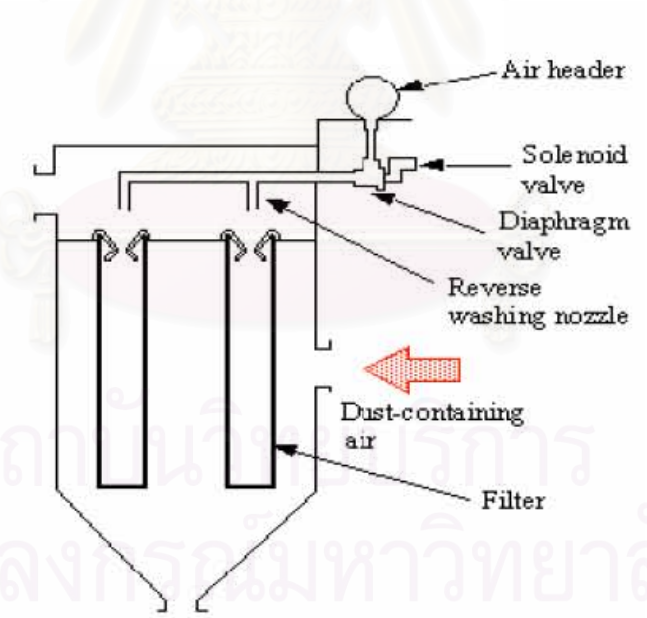
- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 39,912 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 29 ตัน CO_2 ต่อปี

3.4 มาตรการเพิ่มช่วงเวลา และ/หรือ ทดแทนการควบคุมระบบอากาศอัดแบบฐานเวลาด้วยการควบคุมแบบ Pressure Differential Jet Pulse

บริษัท Semen Padang ได้ติดตั้งเครื่อง Bag-House Air Jet Pulse System หรือ Jet Pulse filter (JPF) จำนวนมากไว้เพื่อลดประมาณการปล่อยฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการผลิต ทำให้ต้องใช้อากาศอัดที่ความดัน 5 ถึง 7 บาร์เพื่อทำความสะอาดและเขย่าถุงด้วยการปล่อย air jet ออกมาเป็นพัลส์ด้วยรอบเวลาค่าหนึ่ง ซึ่งการควบคุมพัลส์นี้ทำได้ 2 วิธีดังนี้

1. แบบ Time based กล่าวคือ อากาศอัดจะถูกฉีดเข้าไปในถุงกรอง ในช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง

2. แบบ Differential Pressure กล่าวคือ พัลส์ของ Air Jet จะถูกส่งออกมาเฉพาะเมื่อความดันใน filter ลดลงมาถึงค่าฯ หนึ่ง



รูปที่ ข.21 Air Jet pulse System

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

เปลี่ยนแปลงการปรับตั้งของตัวควบคุมรอบเวลาการทำงานของ Jet Pulse Filter จำนวน 10 เครื่อง โดยในขณะที่จัดทำบทความนี้อยู่ ได้มีการปรับตั้งเสร็จเรียบแล้วไปแล้ว 5 เครื่อง

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ไม่ต้องใช้เงินลงทุน
- ให้ผลประหยัดปีละ 593.49 เหรียญสหรัฐ (22,112 บาท)
- คืนทุนในทันที

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 10,432 kWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 7.55 ตัน CO_2 ต่อปี

3.5 มาตรการติดตั้งการเชื่อมต่อระหว่างเครื่อง Compressor ของเตาเผา (Kiln) และเครื่องบดซีเมนต์ (Cement Mill) เพื่อทำให้โหลดและประสิทธิภาพของเครื่อง Compressor มากที่สุด

โรงงาน Indarung #4 มีระบบ Compressor ที่ทำงานอย่างเป็นอิสระแยกจากกัน 2 ระบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

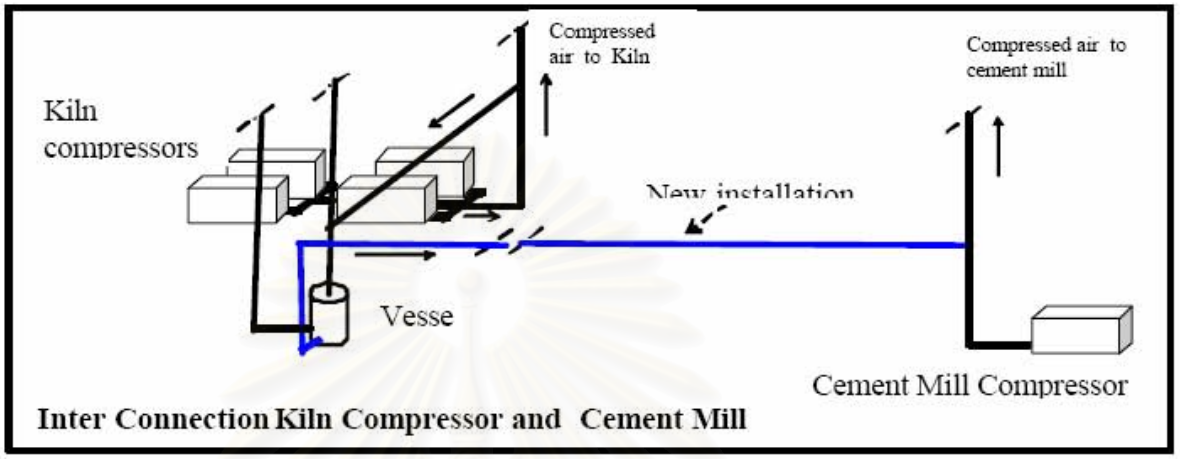
ตารางที่ ข.10 Compressor data

Area	Kiln				Cement Mill
Nomenclature	J3K32	J3K33	J3K34	J3K35	
Merk	Atlas Copco	Atlas Copco	Kaeser	Atlas Copco	Atlas Copco
Type	GA 250	GA 250	FS 440	GA 250	GA 90
Power	250 kW	334 hp	250 kW	257 kW	90 kW
Working Pressure (bar)	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
Max. Pressure (bar)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Capacity (m3/min)	43.7	43.7	43.7	43.7	16.6

จากการสำรวจพบว่าเครื่อง Compressor ทุกเครื่องในโรงงานนี้ทำงานอยู่ที่โหลดต่ำกว่า 75% ซึ่งค่านี้ควรจะเพิ่มให้ได้มากที่สุด

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ติดตั้งการเชื่อมต่อระหว่างเครื่อง Compressor ของแผนกเตาเผาและแผนกบดซีเมนต์ โดยจะต้องมีการลงทุนติดตั้งท่อ ข้อต่อ วาล์ว ฟิตติ้ง และค่าบริการอื่นๆ เพื่อเชื่อมต่อระบบ Compressor ของทั้งสองแผนกนี้



รูปที่ ข.22 Inter Connection Kiln Compressor and Cement Mill

ผลลัพธ์

หลังจากทำการเชื่อมต่อแล้ว พบว่าเครื่อง Compressor ของทั้งสองแผนกทำงานที่โหลด 95%

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 1,099 เหรียญสหรัฐ (40,957 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 14,480 เหรียญสหรัฐ (539,628 บาท)
- ระยะเวลาคืนทุน 1 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 254,523 kWh
- ลดปริมาณการบริโภคพลังงานทั้งหมด 11.3%
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 184.28 ตัน CO_2 ต่อปี

SAI SON CEMENT

1. ลักษณะของการประกอบกิจการ

บริษัท Sai Son Cement ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1958 ในจังหวัดฮาเต ทางตะวันตกของกรุงฮานอย ประเทศเวียดนาม ซึ่งบริษัทได้รับการรับรองคุณภาพโดยมาตรฐาน ISO 9001 เวอร์ชั่น 2000 และ ISO 14000

1.1 กำลังการผลิต

สามารถผลิตปูนซีเมนต์ได้ประมาณปีละ 165,000 ตัน

1.2 ปริมาณการผลิตจริง

ผลิตปูนเม็ดได้ 133,431 ตันและปูนซีเมนต์ 142,748.7 ตัน (อ้างอิงจากปี ค.ศ. 2004)

1.3 ประเภทผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์หลัก คือ ปูนซีเมนต์ (ไม่ระบุประเภท)

ผลิตภัณฑ์รอง คือ ปูนเม็ด

1.4 จำนวนพนักงาน

มีจำนวนพนักงานรวม 515 คน

1.5 ยอดขาย

บริษัทฯ มียอดขายปีละประมาณ 5.4 ล้านเหรียญสหรัฐ (201 ล้านบาท)

2. ลักษณะของกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตของบริษัทฯ มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นที่ 1: ในการผลิตปูนเม็ด (Clinker) นั้น หินปูน (Limestone) ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักจะถูกนำไปบดในเครื่องบด (Crusher) โดยเริ่มจาก Jaw Crusher แล้วส่งไปยัง Roller Mill แล้วจึงไปที่ Gyratory Crusher ส่วนวัตถุดิบอื่นๆ เช่น ดิน ดินเหนียว และทราย จะถูกนำไปอบแห้งที่ Rotary Drier ซึ่งวัตถุดิบเหล่านี้จะถูกนำมาผสมอย่างเป็นสัดส่วนเพื่อให้ได้ส่วนผสมที่มีความละเอียดและมีคุณสมบัติทางเคมีตามที่ต้องการ

ขั้นที่ 2: วัตถุดิบที่มีส่วนผสมตามต้องการแล้วจะถูกนำไปบดให้เป็นผงละเอียดด้วยเครื่อง Ball Mill ซึ่งภายในจะมีลูกเหล็ก (Steel Ball) คอยทำหน้าที่ลดขนาดของวัตถุดิบในท่อหมุน (Rotating Tube) และจากนั้นจะมีการเติมน้ำลงไปเพื่อให้ผงละเอียดจับตัวกันเป็นเม็ด (Pellet)

ขั้นที่ 3: วัตถุดิบที่อยู่ในรูปเม็ด (Pellet) จะถูกนำไปเผาในเตาเผา (Kiln) แล้วทำให้เย็นตัวลง จากนั้นปูนเม็ดจะถูกนำไปเก็บไว้ในไซโล

ขั้นที่ 4: ปูนเม็ดที่เก็บไว้จะถูกนำไปบดผสมเข้ากับยิปซั่มใน Ball Mill ได้ออกมาเป็นปูนซีเมนต์ซึ่งจะนำไปเก็บไว้ในไซโลเพื่อรอการทดสอบและการบรรจุขายต่อไป

3. มาตรการที่ใช้และผลจากการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน

บริษัทฯ ได้มีการคิดมาตรการเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานขึ้นมาทั้งหมด 3 มาตรการดังต่อไปนี้

3.1 มาตรการติดตั้งเครื่องปรับความเร็วรอบ (Variable Speed Drives: VSD) ให้กับพัดลมแบบ Forced Draft ที่มีใช้งานอยู่

เตาเผา (Vertical Semi-dry Kiln) หมายเลข 1 ใช้สำหรับเผาส่วนผสมอันได้แก่ ถ่านหินบด ดินเหนียว ทรายและ หินปูน ให้กลายเป็นเม็ด (Pellet) ซึ่งจะถูกส่งขึ้นไปยังส่วนบนสุดของเตาเผา โดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้นั้นจะถูกป้อนเข้ามาในเตาเผาด้วยพัดลมแบบ Forced Draft ที่หมุนด้วยความเร็ว 740 รอบต่อนาที ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าการควบคุมการทำงานของพัดลมเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

ติดตั้ง VSD เพื่อควบคุมความเร็วในการหมุนของพัดลม เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณอากาศที่ต้องการใช้ในกระบวนการ

ผลลัพธ์

ภายหลังการติดตั้ง VSD ได้มีการวัดสมรรถนะของพัดลมออกมาดังนี้

ตารางที่ ข.11Parameter Description of FD fan

Parameter	Before installation of VSD	After installation of VSD
Quantity of FD air	284 m^3/min	227 m^3/min
Power input	172 kw	157 kw
Speed of FD fan	740 rpm	592 rpm
Discharge pressure	29.4 Kpa	18.8 Kpa

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 20,000 เหรียญสหรัฐ (744,860 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 7,611 เหรียญสหรัฐ (283,456 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 32 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ปีละ 124,200 MWh
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 84 ตัน CO_2 ต่อปี

3.2 มาตรการหุ้มฉนวนบริเวณที่มีการเผาไหม้ (Burning Zone) ในเตาเผา

บริเวณที่มีการเผาไหม้ (Burning Zone) คือส่วนที่อยู่บนสุดของเตาเผา ในระหว่างการเผาไหม้นั้น pellet จะเปลี่ยนไปเป็นปูนเม็ด (Clinker) และเถ้าถ่าน (Ash) จากการสังเกตการณ์พบว่า อุณหภูมิที่ผิวของเตาเผาบริเวณที่มีการเผาไหม้ (Burning Zone) อยู่ในระดับ 70 ถึง 120 องศาเซลเซียส (เฉลี่ยอยู่ที่ 85 องศาเซลเซียส) ซึ่งหากทำการหุ้มฉนวนผิวตรงบริเวณนี้จะสามารถลดการสูญเสียความร้อน (Heat Loss) ทำให้ลดการใช้ถ่านหินลงได้

ทางเลือกของมาตรการนี้คือ

หุ้มฉนวนที่ผิวของ (Burning Zone) ด้วยแผ่นเซรามิคหนา 100 มิลลิเมตร เพื่อลดการสูญเสียความร้อนบริเวณผิว

ผลลัพธ์

ภายหลังการหุ้มฉนวน ปรากฏว่าอุณหภูมิที่ผิวบริเวณดังกล่าวลดลงเหลือเพียง 45 องศาเซลเซียส

ผลประโยชน์ด้านการเงิน

- ใช้เงินลงทุนจำนวน 740 เหรียญสหรัฐ (27,560 บาท)
- มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานปีละ 368 เหรียญสหรัฐ (13,705 บาท)
- ให้ผลประหยัดปีละ 338 เหรียญสหรัฐ (12,588 บาท)
- ระยะเวลาในการคืนทุน 27 เดือน

ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม

- ลดการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินได้ปีละ 13 ตัน
- ลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG) ลงได้ 33 ตัน CO_2 ต่อปี

3.3 มาตรการดึงความร้อนจากการเผาปูนเม็ดกลับมาใช้ใหม่เพื่ออุ่นอากาศที่จะใช้เผาไหม้ซึ่งมาจากพัดลมแบบ Forced Draft

จากการสังเกตการณ์พบว่าปูนเม็ดที่มีอุณหภูมิ 350 ถึง 380 องศาเซลเซียสจะออกมาจากช่องที่อยู่ตรงก้นของเตาเผา และจะถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำจนมีอุณหภูมิ 100 ถึง 150 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงมีข้อเสนอแนะให้นำความร้อนที่เหลืออยู่นี้ไปใช้อุ่นอากาศที่จะใช้เผาไหม้ได้ (Combustion Air) ซึ่งจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนเพื่อสร้างห้องหล่อเย็น (Chain Grate Cooling

Chamber) เป็นจำนวน 9,500 เหรียญสหรัฐ (353,809 บาท) โดยหากทำได้สำเร็จ คาดว่าจะสามารถลดการใช้ถ่านหินลงได้ปีละ 445 ตัน หรือคิดเป็นผลประหยัดปีละ 11,570 เหรียญสหรัฐ (430,902 บาท)

อย่างไรก็ตาม มาตรการนี้ยังคงอยู่ในระหว่างรอการอนุมัติจากผู้บริหาร เนื่องจากยังต้องการการประเมินในเรื่องของจุดที่จะทำการเปลี่ยนมาใช้ท่ออากาศใหม่โดยไม่ให้กระทบกระเทือนต่อการทำงานของเตาเผา รวมถึงต้องทำการศึกษาโดยละเอียดเกี่ยวกับจุดที่จะติดตั้ง Grate Cooler

Lehigh Southwest Cement

การปรับปรุงระบบอากาศอัดในโรงงาน Cement

ในปี ค.ศ. 2001 บริษัท Lehigh Southwest ได้นำเอาแผนการปรับปรุงระบบอากาศอัดไปใช้ในโรงงานผลิตซีเมนต์ที่ Tehachapi, California โดยแผนการดังกล่าวครอบคลุมการปรับเปลี่ยนเครื่องอัดอากาศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่มีขนาดเล็กลง ตลอดจนมีความน่าเชื่อถือมากกว่าเครื่องอัดอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เงินลงทุนในการปรับปรุงมีมูลค่ารวมทั้งสิ้น $417,000 แต่โครงการดังกล่าวได้รับการช่วยเหลือจาก Southern California Edison เป็นจำนวน $90,000 ดังนั้นทางโรงงานจึงใช้เงินลงทุนเพียง $327,000 สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากปรับปรุงมีมูลค่ารวมกันทั้งสิ้น $199,000 ต่อปี โดยแยกออกเป็นผลประหยัดที่ได้จากการดำเนินการ $90,000 ผลประหยัดที่ได้จากการซ่อมบำรุง $59,000 และผลประหยัดที่ได้จากการลงค่าใช้จ่ายในการเช่าเครื่องอัดอากาศสำรองอีก $50,000 ทำให้สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 20 เดือน

ประวัติโรงงาน

Lehigh Cement Company เป็นบริษัทแม่ของ Lehigh Southwest Cements ก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ. 1897 มีจำนวนพนักงานกว่า 6,000 คน ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ ซึ่งมียอดขายสูงกว่า 2 พันล้านเหรียญสหรัฐในแต่ละปี

ระบบอัดอากาศ

ระบบอัดอากาศในโรงงานผลิตซีเมนต์ที่ Tehachapi นั้นจะถูกใช้ไปในระบบนิวเมติกส์และระบบที่จำเป็นอื่นๆ เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเดิมโรงงานมีเครื่องอัดอากาศแบบ Rotary Screw จำนวนทั้งสิ้น 4 ตัว แบ่งออกเป็นเครื่องอัดอากาศขนาด 550 แรงม้า 2 เครื่อง เครื่องอัดอากาศขนาด 220 แรงม้า และ 125 แรงม้าอีกอย่างละ 1 เครื่อง รวมขนาดได้เท่ากับ 1,445 แรงม้า

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา เครื่องอัดอากาศขนาด 125 แรงม้านั้นเสียค่อนข้างบ่อย ส่งผลทำให้ต้องเช่าเครื่องอัดอากาศขนาด 300 แรงม้าเข้ามา ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก

ภาพรวมของการปรับปรุง

Lehigh Southwest Cement ได้ทำงานร่วมกับหน่วยงานของรัฐ 2 แห่งในการปรับปรุงระบบอัดอากาศ โดยผลลัพธ์จากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า มีเหตุปัจจัยหลายประการที่ส่งผลทำให้เครื่องอัดอากาศที่มีอยู่ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เช่น

- ความดันใช้งานที่ไม่คงที่เนื่องจากความต้องการไม่คงที่
- ความสกปรกของอากาศที่นำเข้าไปใช้ในเครื่องอัดอากาศ
- การทำงานของเครื่องดักจับไอน้ำที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งส่งผลทำให้ความดันลดลง (เนื่องจาก Dryer ต้องทำงานมากขึ้น)
- การรั่วไหลของท่อขนส่งอากาศอัด ตลอดจนการจัดการขนส่งที่ซับซ้อน และไม่เหมาะสม ส่งผลทำให้ความดันลดลงอย่างมาก

การปรับปรุง

ในการปรับปรุงทางโรงงานได้ทำการติดตั้งเครื่องควบคุมความดัน และอัตราการไหล (Pressure/Flow Controller, P/FC) บนถังกักเก็บขนาด 5,000 แกลลอน เพื่อปรับตั้งความดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน นอกจากนี้ทางโรงงานยังได้เปลี่ยนเครื่องอัดอากาศจากเดิมซึ่งใช้เครื่องอัดอากาศขนาด 220 แรงม้า มาเป็นเครื่องอัดอากาศขนาด 350 แรงม้า จำนวน 2 ตัว

เครื่องอัดอากาศใหม่ทั้ง 2 ตัวนี้มีระบบการควบคุมที่เชื่อมต่อถึงกัน และถูกกำหนดให้เดินเครื่องสลับกันทุกๆ 24 ชั่วโมง โดยขณะที่ตัวหนึ่งถูกใช้งาน อีกตัวหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องอัดอากาศเสริมเพื่อปรับแต่งความดันให้ตรงกับความต้องการใช้

สำหรับการปรับปรุงความสะอาดของอากาศส่วน Intake นั้น ทางโรงงานได้จัดตั้งกำแพงกั้น และจัดหาระบบระบายอากาศเข้ามา เพื่อป้องกันฝุ่นที่เข้ามาพร้อมกับอากาศในห้องควบคุม นอกจากนี้ทางโรงงานยังได้กำหนดให้มีการปรับปรุงระบบเส้นทางการขนส่งอากาศอัดใหม่ทั้งหมด เพื่อลดเส้นทางที่ซับซ้อน และไม่จำเป็นลง

นอกจากการดำเนินการต่างๆ ข้างต้น แล้วทางโรงงานยังได้จัดหาตัวดักจับไอน้ำที่มีประสิทธิภาพสูงเข้ามาใช้งานอีกด้วย

ผลลัพธ์จากการดำเนินการ

จากการดำเนินการ โรงงาน Tehachapi สามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากระบบอัดอากาศแบบเดิมได้อย่างมีนัยสำคัญ โดย

- สามารถลดการใช้งานเครื่องอัดอากาศลงเหลือเพียง 850 แรงม้า (จากเครื่องอัดอากาศ 550 แรงม้า และ เครื่องอัดอากาศขนาด 350 แรงม้าอย่างละ1 เครื่อง ส่วนเครื่องอัดอากาศ 350 แรงม้าอีกเครื่องหนึ่งทำหน้าที่ปรับแต่งตามความต้องการใช้)

- สามารถควบคุมความดันของอากาศอัดให้คงที่อยู่ที่ 85 +/- 2 psi ได้ด้วยตัวควบคุมความดัน และอัตราการไหลที่ติดตั้งไว้กับถังกักเก็บขนาด 5,000 แกลอน

- สามารถลดการรั่วไหล และอากาศอัดที่สูญเสียไปโดยไม่จำเป็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลลัพธ์ที่ได้ข้างต้นสามารถประเมินเป็นตัวเงินรวม $199,000 โดยแบ่งออกเป็น ผลจากการประหยัดพลังงาน $90,000 ผลประหยัดจากการเลิกเช่าเครื่องอัดอากาศขนาด 300 แรงม้า (สำรอง) $50,000 และผลจากการประหยัดค่าบำรุงรักษา และอื่นๆ อีก $59,000

ส่วนเงินลงทุนในโครงการนี้มีมูลค่ารวมทั้งสิ้น $417,000 แต่ได้รับการช่วยเหลือจาก Southern California Edison จำนวน $90,000 ดังนั้นทางโรงงานจึงใช้เงินลงทุนเพียง $327,000 และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 20 เดือน

บทเรียนที่ได้รับ

การควบคุมระบบอากาศอัดให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อันประกอบด้วย การควบคุมระดับความดันให้คงที่ การจัดการคุณภาพของอากาศส่วน Intake และการจัดระบบการขนส่งอากาศอัดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งโรงงานผลิตซีเมนต์ที่ Tehachapi สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้สามารถประหยัดต้นทุนลงไปได้ อีกทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแต่อย่างใด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานที่โรงงานตัวอย่างดำเนินการ

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการอนุรักษ์		ระยะเวลาคืนทุนปี
	MWh/ปี	GJ/ปี	
ปี พ.ศ. 2549			
1. เปลี่ยนหลอด FL. 36 W เป็น FL. 32 W จำนวน 5,000 หลอด	87.60	-	1.46
2. เปลี่ยนจอภาพ POLCID จาก CTR 21 นิ้ว เป็น LCD ขนาด 19 นิ้ว จำนวน 22 เครื่อง	17.34	-	2.21
3. ลดขั้นตอนการเดินหินฝุ่นจาก SILO PLANT DRY MORTAR 2 มาลง SILO PLANT DRY MORTAR 1	21.60	-	0.18
4. ติดตั้งเครื่องคัดแยกเศษเหล็กออกจาก CLINKER ที่ REJECT บริเวณ PLANT CEMENT MILL 1	-	797.60	1.75
5. ติดตั้งตะแกรงคัดแยกหินคลุกที่ PLANT CFBK	-	2,949.73	1.51
6. ลดเวลาเดินชุด SPOT FILTER ที่ PLANT SHALE CIRCULAR MIX 2	29.03	-	0.33
7. ลดเวลาเดินชุด SPOT FILTER ที่ PLANT LIMESTONE CIRCULAR MIX 2	19.04	-	0.51
8. ลดเวลาเดินชุด SPOT FILTER ที่ PLANT LIMESTONE CIRCULAR MIX 3	14.22	-	0.68
9. ยกเลิกการเดินมอเตอร์ระบายความร้อน ห้อง COMPRESSOR (Z18-1)	213.84	-	
10. ย้ายถังใช้งาน Liquid CO_2 แทนการใช้รถบรรทุกในการขนถ่าย Liquid CO_2	32.715	-	3.48
11. ลดความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลม Fresh Air Fan 3E3M237	67.23	-	0.02
12. ติดตั้งกล้องทีวีวงจรปิด บริเวณ Mill Inlet จำนวน 7 ชุด	-	152.96	1.69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานที่โรงงานตัวอย่างดำเนินการ (ต่อ)

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการอนุรักษ์		ระยะเวลาคืนทุนปี
	MWh/ปี	GJ/ปี	
ปี พ.ศ. 2548			
1. ติดตั้งระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์ Plant Dry Motor 2 แทนการเปิด / ปิด Flap ของพัดลม Suction Fand 2	91.38	-	1.69
2. เปลี่ยนชุด CDU ของเครื่องปรับอากาศ ระบบ CHILLER อาคารควบคุมระบบ (CCB) จากชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ เป็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled)	227.85	-	1.62
3. เปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์ จาก 36 W เป็น 32 W จำนวน 2,000 หลอด	35.04	-	0.74
4. ลดการเดินปั๊มน้ำของเครื่องปรับอากาศ ระบบ Chiller ที่อาคารบริหาร (Administrator Building) จากที่เดิน 4 ตัว เหลือ 2 ตัว ทั้ง Cooler Pump และ Condensor Pump	34.08	-	-
5. ลดเวลาการเดิน Cleaning Fan ในการ Operate Roto Packer ที่ Plant Packing 1,3 โดยการแก้ไข Interlocking Program	760.94	-	-
6. ยกเลิกการเดินพัดลมระบายอากาศห้อง Compressor (Z18-2) จำนวน 17 ตัว	403.92	-	-
7. ลดการเดินมอเตอร์ระบายความร้อนชุด Cooling Tower ของ Plant Water Treatment จากที่เดิน 4 ตัว เหลือ 2 ตัว	248.69	-	-

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (มาตรฐาน) อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

กระบวนการผลิตย่อย	มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเนต์	ผลการประหยัดพลังงาน		ระยะเวลาคืนทุน
		ไฟฟ้า kWh/ton	ความร้อน GJ/ton	
เตรียมวัตถุดิบ				
ใช้พลังงานไฟฟ้า 34 kWh/ton คิดเป็น 33 % ของทั้งหมด	ระบบขนถ่ายโดยใช้สายพานหรือกระพ้อแทนระบบขนส่งด้วยลม	3.2	-	มากกว่า10 ปี
	ระบบผสมวัตถุดิบ(Raw Mill Blending)	1.5 - 3.9	-	N/A
	ระบบควบคุมการบดแนวตั้ง(Process Control Vertical Mill)	0.8 - 1.0	-	1
	การใช้ Roller Mill ประสิทธิภาพสูง(High Efficiency Roller Mill)	10.2 - 11.9	-	มากกว่า10 ปี
	การใช้อุปกรณ์คัดแยกวัตถุดิบหลังการบดประสิทธิภาพสูง	4.3 - 5.8	-	มากกว่า10 ปี
	การใช้อุปกรณ์บดเชื้อเพลิง(ถ่านหิน)ประสิทธิภาพสูง	0.7 - 1.1	-	n/a
การผลิตปูนเม็ด				
ใช้พลังงานไฟฟ้า 30 kWh/ton คิดเป็น 29.3 % ของทั้งหมด ใช้พลังงานความร้อน 4.3 GJ/ton คิดเป็น 100 %	การเปลี่ยน Seal ที่หัวของ Kiln		0.02	มากกว่า1 ปี
	การลดการสูญเสียความร้อนที่ Kiln		0.09 - 0.31	มากกว่า1 ปี
	การ Optimize Grate Cooler(ลดการใช้พัดลม)	0 - 1.8	0.06 - 0.12	1 - 2 ปี
	การใช้พลังงานเสริมอื่นเช่น ยางรถยนต์ เศษพลาสติก น้ำมันเครื่องใช้แล้ว		มากกว่า 0.5	น้อยกว่า 1 ปี
	การนำความร้อนทิ้งมาใช้(จาก pre-heater exit + clinker cooler)	18	-	มากกว่า 3 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน (มาตรฐาน) อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ (ต่อ)

กระบวนการผลิตย่อย	มาตรการฯ	ผลการประหยัดพลังงาน		ระยะเวลาคืนทุน
		ไฟฟ้า kWh/ton	ความร้อน GJ/ton	
การบดปูนเม็ด	การจัดการใช้พลังงานอย่างเหมาะสมเช่นการเลื่อนเวลาบดปูนเม็ดไปช่วง	มากกว่า 2	-	น้อยกว่า 1 ปี
ใช้พลังงานไฟฟ้า 38.5 kWh/ton คิดเป็น 37.8 % ของทั้งหมด	การนำอุปกรณ์ Roller Press มาใช้กับ Ball Mill	7.0-25.0	-	มากกว่า10 ปี
	การนำ High Efficiency Classifier มาใช้ทดแทนของเดิม	1.7-6.0	-	มากกว่า10 ปี
	หุ้มฉนวน Rotary Kiln		0.535	N/A
มาตรการอื่นๆ				
	การใช้ขนาดมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระงาน	0 - 5	-	น้อยกว่า1 ปี
	การใช้ VSD กับมอเตอร์	5.5 - 7.0	-	2 - 3 ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรการเชิงลึกของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์นำเสนอ 3 มาตรการ คือ

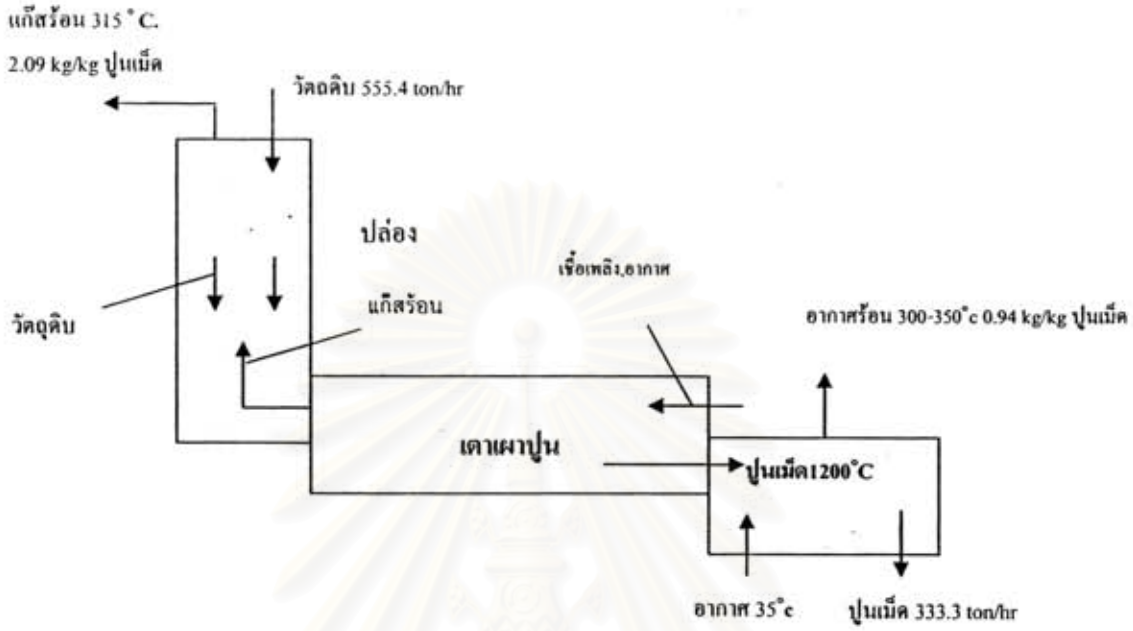
1. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตพลังงานไฟฟ้า
2. มาตรการหุ้ม Rotary Kiln และ
3. มาตรการใช้ระบบ Fluidize Bed แทน Rotary Kiln

1. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตพลังงานไฟฟ้า

มาตรการนี้ได้มีการดำเนินการในต่างประเทศแต่ยังไม่มีการดำเนินการในประเทศที่ปรึกษาได้นำแนวความคิดของมาตรการเสนอต่อโรงงานปูนซีเมนต์ตัวอย่างซึ่งได้รับคำตอบว่าโรงงานเองกำลังดำเนินการ แต่โดยที่ใช้การลงทุนสูง ทางโรงงานดำเนินการโดยขอสิทธิประโยชน์ทางภาษีเพื่อนำเข้าเครื่องจักรคือกังหันไอน้ำความดันต่ำและระบบควบคุม สำหรับอุปกรณ์ประกอบอื่นคือหม้อไอน้ำที่ใช้ลมร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตไอน้ำทางโรงงานจะนำเข้าก่อน และถ้ามีการดำเนินมาตรการนี้ต่อไปทางโรงงานจะพิจารณาเรื่องราคา ถ้าการผู้สร้างในประเทศให้ราคาที่ต่ำกว่าก็จะดำเนินการในประเทศ

- ลักษณะโดยทั่วไปของระบบนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตมาผลิตพลังงานไฟฟ้า โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ จะมีอุปกรณ์ใช้ที่พลังงานความร้อน คือ Rotary Kiln ดังแสดงในรูปที่ ค.1 โดยวัตถุดิบ (Raw Meal) ที่ประกอบด้วยหินปูน ดินเหนียว และขี้เหล็ก ที่ถูกบดให้ละเอียดป้อนเข้าระบบที่ด้านบนของอุปกรณ์ Pre-heater แสดงในรูปที่ ค.1 การวิเคราะห์มาตรการ และผลที่ได้จะให้แบบจำลองของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ขนาด 600 ton/day สำหรับโรงงานตัวอย่างที่เข้าเก็บข้อมูลมี Kiln ขนาด 8,000 ton/day จำนวน 3 ตัว กำลังการผลิตรวม 24,000 ton/day ดังนั้นปริมาณพลังงานที่ใช้ และผลผลิตจะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับโรงงานขนาดจำลอง นอกจากนั้นสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ผลิตปูนเม็ดจะมีสัดส่วนเดียวกันทำให้อัตราลมร้อนทิ้งต่อตันของปูนเม็ดที่ผลิตได้มีสัดส่วนเดียวกัน ที่ทางเข้า Kiln เชื้อเพลิง คือ ถ่านหินชนิดค่าความร้อน 30,600 kJ/kg ป้อนเข้าทางด้านหน้าด้วยอัตรา 2.875 ton coal/hr (0.115 kg coal/kg clinker)ปริมาณพลังงานจากถ่านหิน จะเท่ากับพลังงานที่ต้องการเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นปูนเม็ด(ค่าความร้อนทางทฤษฎีเพื่อเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นปูนเม็ดเท่ากับ 1,795 kJ/kg clinker) อากาศไหลเข้าผสมกับเชื้อเพลิงสันดาปให้ความร้อนไหลสวนทางกับวัตถุดิบ ผ่านตัว Pre-heater ถ่ายเทความร้อนให้วัตถุดิบแล้วไหลออกจาก ระบบที่อุณหภูมิประมาณ 315^{o}C ที่อัตรา 2.094 kg/kg clinker โดยการออกแบบด้วยอัตราการไหลของวัตถุดิบและพลังงานที่กำหนด วัตถุดิบเมื่อไหลถึงทางเข้า Kiln จะเป็นปูนเม็ดอุณหภูมิประมาณ 1,300^{o}C. อากาศจากภายนอกอุณหภูมิ 15^{o}C.(อุณหภูมิอากาศต่างประเทศ) อัตรา 2.3 kg air/kg clinker ไหลเข้าอุปกรณ์ ลดอุณหภูมิปูนเม็ดลงเหลือประมาณ 100^{o}C ส่วนอากาศมีอุณหภูมิเพิ่มเป็น

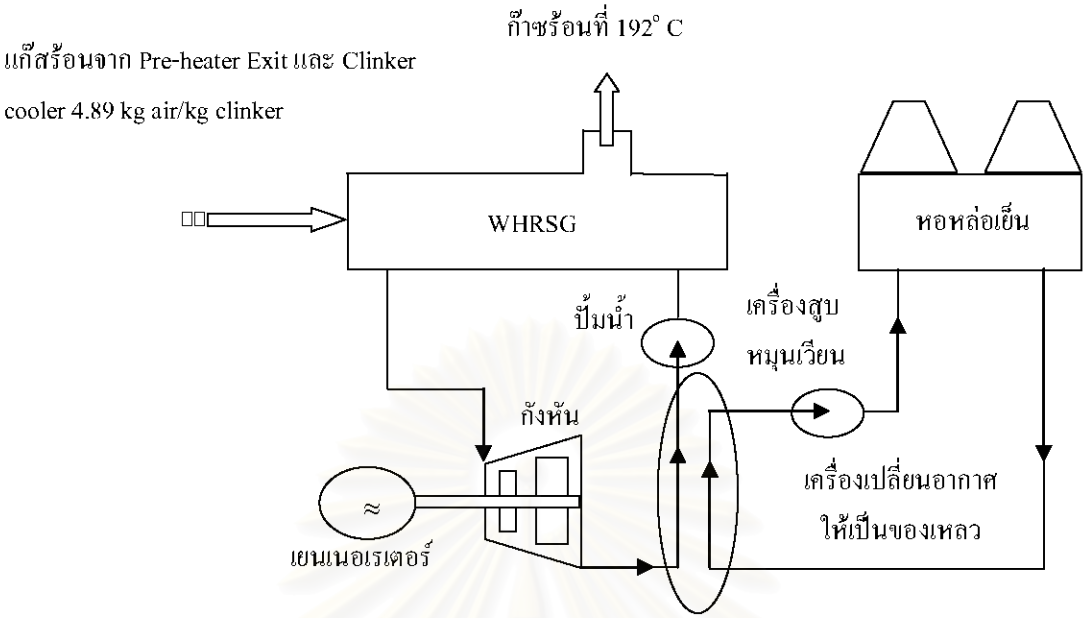
215^{o}C. บางส่วนของอากาศร้อน ถูกใช้เป็น Second Air ไหลเข้าสันดาปกับถ่านหิน อากาศร้อนที่เหลือ 0.94 kg air/kg clinker ที่อุณหภูมิ 215^{o}C. จะปล่อยทิ้ง



รูปที่ ค.1 แบบจำลองโรงงานตัวอย่างผลิตปูนซีเมนต์ ขนาดหม้อเผาปูน 8000 ton/day แสดงการปล่อยออกความร้อนทิ้งที่ปล่องและที่ Clinker Cooler (ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่าง)

ความร้อนทิ้งจากระบบมีสองส่วน ส่วนแรก เป็นลมร้อนจากทางออกของ Pre-heater อัตรา 2.094 kg/kg clinker อุณหภูมิประมาณ 315^{o}C. ส่วนที่สอง เป็นอากาศร้อน (มีก๊าซออกซิเยน) จาก Clinker Cooler ที่อัตรา 0.94 kg/kg clinker ความร้อนทิ้งจาก Pre-heater Exit และ Clinker Cooler นำไปผลิตพลังงานไฟฟ้ารูปที่ ค.2 แสดงระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง ลมร้อน (Process Air) ไหลเข้าอุปกรณ์ผลิตไอน้ำ จากความร้อนทิ้ง (WHRSG) ผลิตไอน้ำป้อนเข้า Turbine ผลิตงานเพื่อขับ Generator การออกแบบมีสองแนวทาง คือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.2 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการใช้ความร้อนทิ้งจากโรงงานปูนซีเมนต์

แนวทางที่ 1 มาตรการนำความร้อนทิ้งมาใช้เท่านั้น (ไม่มีมาตรการเสริม)ระบบนำความร้อนทิ้งมาผลิตกระแสไฟฟ้าแสดงในรูปที่ ค.1 แก๊สร้อนถูกนำเข้าอุปกรณ์ผลิตไอน้ำหรือ Waste heat recovery steam generator หรือ *WHRSG* เพื่อถ่ายเทพลังงานจากแก๊สร้อนให้น้ำ เพื่อผลิตไอน้ำ เพื่อนำไปขับกังหันไอน้ำ เพื่อขับเยนเนอเรเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้า ความดันน้ำเลือกใช้ที่ความดัน 8 Bar (800 kPa) ที่มีอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำเท่ากับ 170.4^{O}C. ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิแก๊สร้อนทิ้ง 144.6 ^{O}C. และต่ำกว่าอากาศจาก Clinker Cooler เท่ากับ 44.6^{O}C จึงมีความเป็นไปได้ทางปฏิบัติ ที่รับความร้อนถ่ายเทจากแก๊สร้อนทิ้ง (315^{O}C.) และจากอากาศร้อนจากClinker cooler (215^{O}C) ปริมาณความร้อนที่อาจนำมาใช้ได้ทางปฏิบัติเท่ากับกำลังความร้อนที่อาจนำมาใช้ประโยชน์

kW = อัตราการผลิตClinker x (อัตราการปล่อยก๊าซร้อนทิ้ง/อัตราการผลิต Clinker) x [(Enthalpy ก๊าซร้อนทิ้งไหลเข้า Boiler – Enthalpy ก๊าซร้อนที่ปล่อยจาก Boiler) + (อัตราการไหลก๊าซร้อนจาก Clinker Cooler/อัตราการผลิต Clinker) x (Enthalpy ก๊าซร้อนจาก Clinker Cooler – Enthalpy ก๊าซที่ไหลออก)]

= [(อัตราการผลิต Clinker ต่อวันวินาที kgcl/sec] x [2.094 kg gas/kg cl(ha, 315^{O}C – ha,170.4^{O}C) +0.94 kg gas/kg cl(ha, 215^{O}C – ha, 170.4^{O}C)] เมื่อ อัตราการผลิต kg Clinker ต่อวินาทีได้จาก อัตราการผลิต (Clinker ton/day)/86.4 h_a, 315^{O}C

= enthalpy แก๊สร้อนหรืออากาศร้อนที่อุณหภูมิที่กำหนดหน่วยเป็น kJ/kg 2.094 คือ มวล kgของแก๊สร้อนต่อมวล kg Clinker และ 0.94 kg อากาศร้อนจาก Clinker cooler โดยการแทนค่ากำลังงานได้จากโรงงานขนาดกำลังการผลิต 10,000 ton/day

ปริมาณความร้อนที่อาจนำมาใช้ประโยชน์

= (10,000/86.4) x [2.094(594.74 – 444.81) + 0.94(491.03 – 444.81)] = 41,365 kW

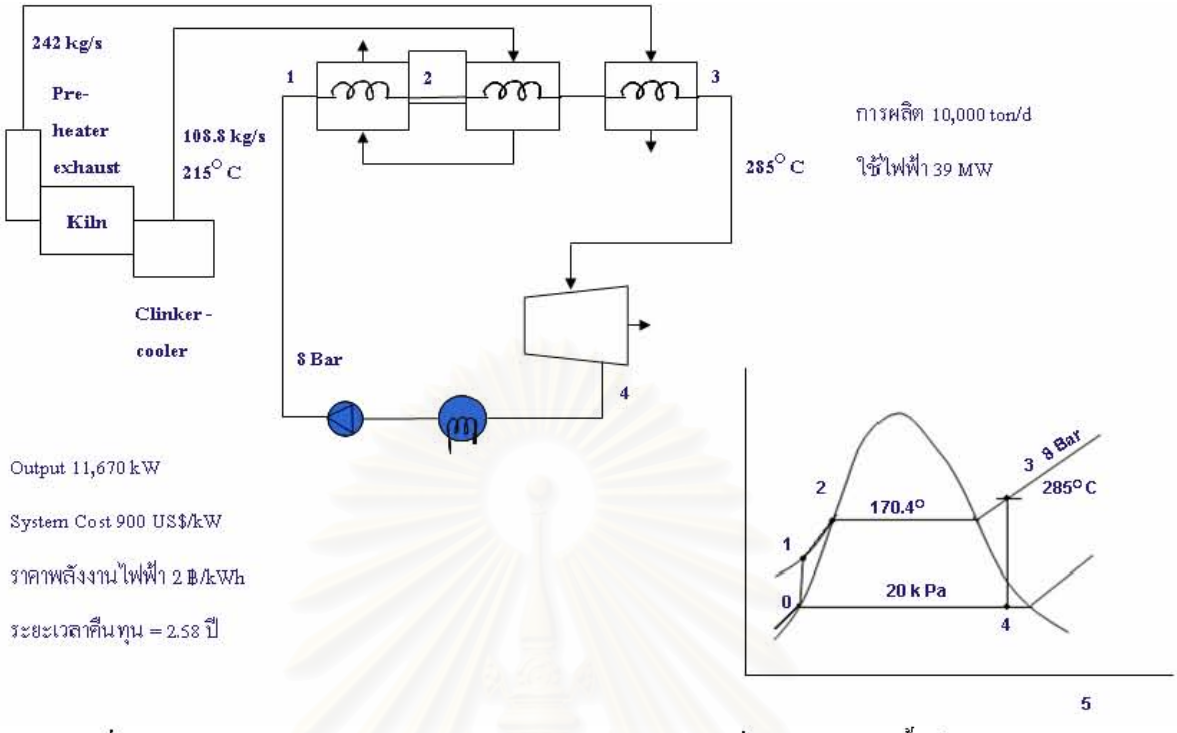
กำลังความร้อนที่นำไปใช้ได้จะต่ำกว่าจำนวนศักยภาพของความร้อนทิ้งที่ปล่อยออกจากโรงงานสู่บรรยากาศ(อุณหภูมิ 35^{O}C.) เพราะตัวรับคือไอน้ำที่ความดัน 8 bar (อุณหภูมิอิ่มตัว 170.4^{O}C.) กำหนดให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากแก๊สร้อนทิ้งให้ไอน้ำเท่ากับ 85 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นกำลังที่ไอน้ำเท่ากับ 35,160 kW ตัวแปรที่ต้องประเมิน คือ

(1) อุณหภูมิไอน้ำที่จะผลิตที่ 8 Bar และเปิดตาราง Steam Table เพื่อค่า S(Entropy)

(2) โดยเลือกใช้กระบวนการ Isentropic Expansion ดังนั้นการเลือกความดันทางออกของ Turbine ที่ให้ Entropy ของไอน้ำที่ไหลออกจาก Turbine เท่ากับ Entropy ของไอน้ำที่เข้า Turbine

โดยข้อจำกัดทาง Thermodynamics ของ Steam Turbine ผลการประเมินได้ดังนี้ อุณหภูมิไอน้ำที่ผลิต 285^{O}C.ที่ Flow rate 17.96 kg/s ความดันที่ทางออกของTurbine เท่ากับ 20 kPa และ คุณภาพไอน้ำ(Quality)เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์ กำลังงานที่ได้ 11,670 kW และผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 11,080 kW ประสิทธิภาพรวม 28.2เปอร์เซ็นต์ เหตุที่ระดับอุณหภูมิของแก๊สร้อนทิ้งเท่ากับ 315^{O}C ความดันของไอน้ำกำหนดได้ 8 Bar เพราะเงื่อนไขของอุณหภูมิไอน้ำอิ่มตัวที่ 170.4^{O}C เพื่อรับการถ่ายเทความร้อนได้ทางปฏิบัติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.3 T-S Diagram ของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนทิ้งเป็น Input

- การวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนเบื้องต้น มูลค่าการลงทุนของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากความร้อนทิ้ง 800 – 1000 US$/kW โดยใช้สมมติฐานโรงไฟฟ้าผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 90เปอร์เซ็นต์ ของกำลังติดตั้ง มูลค่าพลังงาน 2 บาท/kWh ค่าบำรุงรักษาและดำเนินงานรายปี 10 เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าระบบ ผลตอบแทนการลงทุนเท่ากับ

ผลตอบแทนการลงทุน = (มูลค่าระบบ)/(มูลค่าการขายพลังงานไฟฟ้า – ค่าใช้จ่ายรายปี)

= (มูลค่าโรงไฟฟ้า)/[(0.9x11,670x365x24(kWh/yr)x2฿/kWh

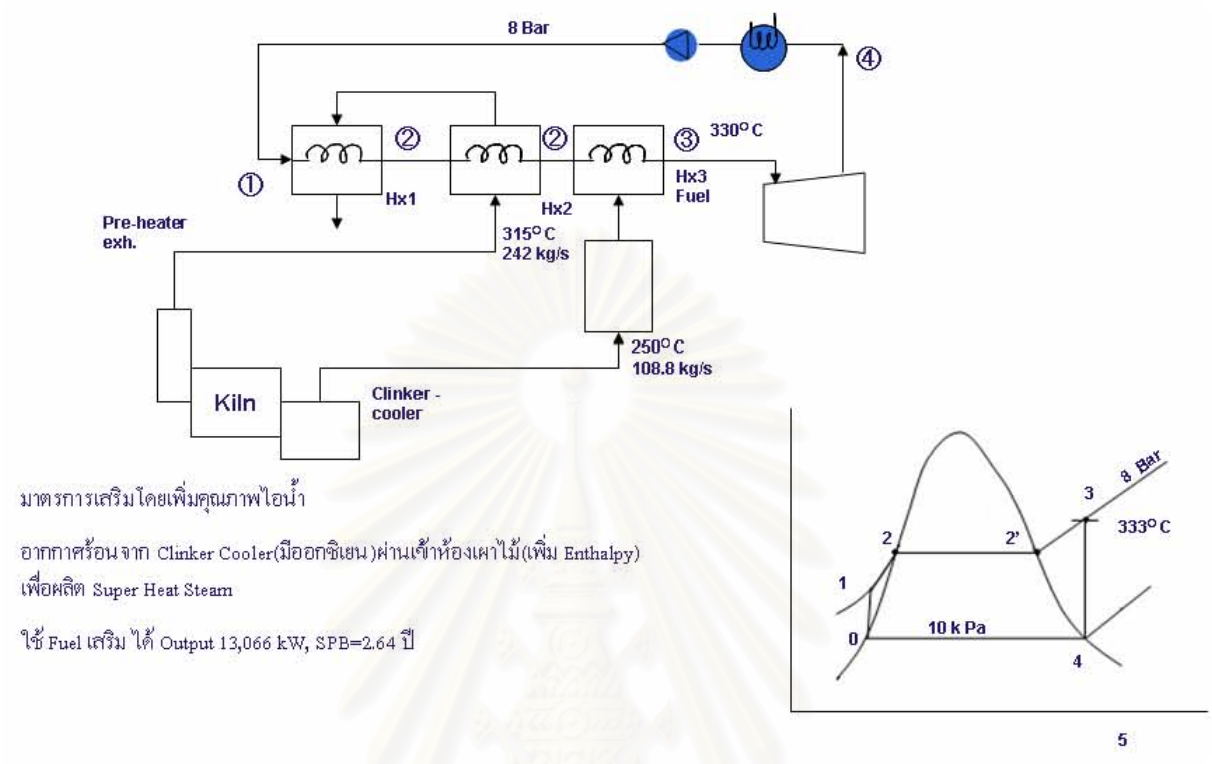
- 0.1xมูลค่าโรงไฟฟ้า]

เมื่อมูลค่าโรงไฟฟ้า = 11,670 kWx900 US$/kWx36฿/kW

ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้นเท่ากับ 2.58 ปี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แนวทางที่ 2 มาตรการนำความร้อนทิ้งไปเพิ่มคุณภาพแล้วนำไปใช้ผลิตไอน้ำและพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ ค.4 T-S Diagram ของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนจาก Pre-heater Exit และ จาก Clinker Cooler

ด้วยการออกแบบของกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ความร้อนตามวิธีแรก อากาศร้อนทิ้งจาก Clinker Cooler อุณหภูมิ 215°C ที่อัตราการไหล 0.94 kg/1kg clinker เป็นอากาศร้อนที่มีคุณภาพ (มีแกสออกซิเยน) จึงควรจัดการใช้ให้มีประสิทธิภาพ กำลังงานที่ได้ควรสูงกว่าวิธีแรก เพื่อการทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่โรงงานซื้อ กระบวนการทำงานมีดังนี้ น้ำจาก condenser (กำหนดความดัน 10 kPa) อุณหภูมิ 45°C ถูกปั๊มเพิ่มความดันเป็น 8 Bar ไหลเข้ารับความร้อนจาก HX1(*WHRSG* ที่ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนHX หรือ Heat Exchanger 3 อุปกรณ์) HX1 รับความร้อนที่ปล่อยจาก HX2 อุณหภูมิสูงกว่า 170.4°C(อุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำที่ 8 Bar)เป็นน้ำอิ่มตัวที่ 170°C แล้วไหลเข้า HX2 เพื่อรับความร้อนทิ้งจาก Pre-Heater Exit เป็นไอน้ำอิ่มตัว แล้วไหลเข้า HX3 เพื่อรับความร้อนจากอากาศร้อนที่รับการปรับคุณภาพจากห้องเผาไหม้ (โดยนำอากาศร้อนจาก Clinker Cooler 215°C มาเพิ่มคุณภาพโดยใช้เชื้อเพลิงเสริม ไอน้ำที่ออกจาก HX3 เป็น Super Heat Steam ที่มี Entropy เท่ากับที่ทางไหลออกจาก Steam Turbine(ความดัน 10 kPa) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงได้จากการคำนวณภายใต้ข้อกำหนดให้ใช้ประโยชน์อย่างมี

ประสิทธิภาพจากอากาศร้อนจาก Clinker Cooler ไอน้ำจาก HX3 ไหลเข้า Steam Turbine เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ตัวแปรของระบบที่ได้จากการคำนวณ ประกอบด้วย

(1) อัตราการไหลของไอน้ำ ที่จะมีผลให้เปลี่ยนพลังงานจากความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์

(2) คุณภาพไอน้ำจาก HX3 และ

(3) อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มคุณภาพไอน้ำ

(4) ประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานจากเชื้อเพลิงให้ไอน้ำ 85เปอร์เซ็นต์ และ Effectiveness เมื่อถ่ายเทพลังงานจากแก๊สร้อนให้น้ำเท่ากับ 85เปอร์เซ็นต์ ผลการคำนวณได้ค่าตัวแปรที่กำกับที่ตำแหน่งในกระบวนการทำงานแสดงในรูปที่ 4 ผลที่ได้ส่วนที่นำไปประเมินผลตอบแทนการลงทุนเบื้องต้นมี ดังนี้

อัตราการไหลไอน้ำ 17.74 kg/s อัตราการป้อนเชื้อเพลิง (ถ่านหิน ชนิดค่าความร้อน 25,000 kJ/kg ราคา 2,000 บาท/ton) ที่อัตรา 205 kg/hr กำลังงานที่ได้ 13,066 kW มูลค่าพลังงานไฟฟ้า 2 บาท/kWh ค่าบำรุงรักษาและดำเนินงานเป็น 10เปอร์เซ็นต์ ของมูลค่าลงทุน ระยะเวลาคืนทุน 2.64 ปี

- สรุปผล มาตรการที่สองที่เพิ่มคุณภาพของอากาศร้อนก่อนนำไปใช้ จะทำให้กำลังไฟฟ้าผลิตได้เพิ่มจาก 11,670 kW เป็น 13,066 kW แต่ระยะเวลาคืนทุนของระบบเพิ่ม เพราะการเพิ่มกำลังผลิตจะเพิ่มมูลค่าการลงทุนและต้องเพิ่มค่าเชื้อเพลิง

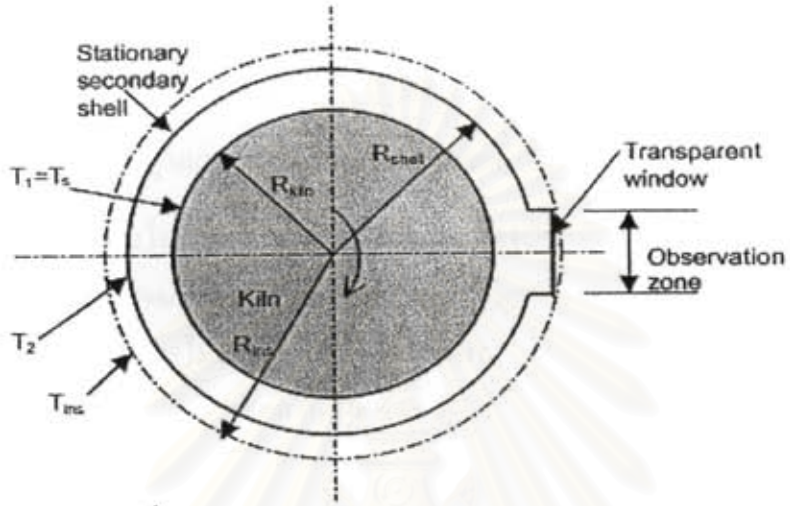
เมื่อดำเนินมาตรการทั้งสองครบระยะเวลาคืนทุน มาตรการที่สองที่ให้ผลผลิต kW สูงกว่าจะให้ผลตอบแทนผลิตไฟฟ้าต่อปี 160 ล้านบาท ขณะที่มาตรการแลกให้ผลตอบแทน 138 ล้านบาทต่อปี

- ประมาณการพลังงานไฟฟ้าผลิตได้จากอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มาตรการนำความร้อนทิ้งมาผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ระยะเวลาคืนทุนต่ำกว่า 3 ปี โรงงานที่ทำมาตรการนี้ จะทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อได้ประมาณ 31เปอร์เซ็นต์ โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ทุกโรงงานของประเทศมีศักยภาพ โดยประเมินจากผลผลิตที่ 37.8 ล้านตันต่อปีหรือ 103,560 ton/day ถ้าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ดำเนินการมาตรการนี้จะผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 136 MW

2. มาตรการนำความร้อนสูญเสียจากพื้นผิวเตาเผา (Kiln surface) มาใช้

มาตรการอนุรักษ์พลังงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ลำดับที่สองคือการลดความร้อนสูญเสียที่ Rotary Kilnอุณหภูมิของผิวเตาเผาของโรงงานปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นกรณีศึกษาแสดงในรูปที่ ค.5 เท่ากับ 308^{o}C. อัตราความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวเท่ากับ 386 kJ/kg clinker และสูญเสียโดยการพาความร้อนเท่ากับ 171 kJ/kg clinker รวมเป็นความร้อนสูญเสีย 557 kJ/kg clinker(15.11เปอร์เซ็นต์) ปัจจุบันโรงงานจะไม่หุ้มฉนวนเพราะต้องตรวจดูเรื่องความเสียหายของอิฐทนไฟที่บุด้านใน Kiln ที่อาจเกิดขึ้นแล้วแก๊สร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 1000^{o}C. จะทำให้เปลือก

Kiln ที่เป็นเหล็กจะเสียหาย การบุด้วยฉนวนภายนอก Kiln แล้วจะตรวจสอบฯไม่ได้ โรงงานจึงไม่ได้ดำเนินการ มาตรการที่นำเสนอมีลักษณะแสดงในรูปที่ ค.5 เปลือกที่หุ้มจะอยู่กับที่ มีช่องเปิดที่กั้นด้วยวัสดุโปรงใสเช่นกระจกสองชั้น การตรวจสอบพื้นผิว Kiln ยังดำเนินการได้เหมือนเดิมแต่ความร้อนสูญเสียจะลดลง ผลการวิเคราะห์พลังงานที่อนุรักษ์ได้ดังนี้



รูปที่ ค.5 แสดงภาพตัด (Cross Section) Rotary Kiln

- เพื่อมาตรการป้องกันสูญเสียพลังงานที่พื้นผิว Kiln โดยทำโครงสร้างเปลือกหุ้ม Rotary Kiln การวิเคราะห์พลังงานสูญเสียจะใช้ Kiln ของโรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 m. ยาว 50 m. เปลือกที่หุ้มเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 m. ช่องว่างระหว่างเปลือกและผิว Kiln เท่ากับ 0.2 m. เปลือกที่หุ้มเป็นโลหะแผ่นที่ด้านนอกบุด้วยฉนวนหนาใยหิน (Rock Wool) ที่ให้ค่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.05 W/m.K. หนา 4 นิ้ว(10 cm.) อุณหภูมิพื้นผิวฉนวนภายนอกที่สัมผัสบรรยากาศไม่สูงกว่า 58^{o}C. หรืออุณหภูมิแตกต่างระหว่างพื้นผิว Kiln กับอุณหภูมิที่เปลือกนอกเท่ากับ 250^{o}C. โดยกำหนดให้สัมประสิทธิ์การแผ่รังสี(Emissivity)ของพื้นผิว Kiln(พื้นผิวเหล็กแผ่นเก่า) และผิวด้านในของเปลือกหุ้ม Kiln เท่ากับ 0.78 และ 0.35 ตามลำดับ อัตราการสูยเสียโดยการแผ่รังสีความร้อนลดลงเป็น 147 kW จากเดิมที่สูญเสีย 3,680.4 kW(386 kJ/kg clinker x 6.944 kg clinker/s) และลดความร้อนสูญเสียโดยการพา 171 kJ/kg clinker หรือเท่ากับ 1,187 kW รวมความร้อนสูญเสียที่ลดลง 3,720 kW หรือลดลง 535.7 kJ/kg clinker ทำให้การใช้พลังงานที่ Kiln ลดลง 11เปอร์เซ็นต์ ถ้าอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ดำเนินการมาตรการนี้จะอนุรักษ์พลังงานประมาณเท่ากับ 15,329,691 GJ/yr หรือเท่ากับ 393.07 ktoe

สำหรับมาตรการหุ้มฉนวนรอบ Rotary Kiln อาจมีปัญหาเพราะอุณหภูมิที่ผิวของ Kiln สูง การผ่านอากาศเข้าช่องว่างระหว่างฉนวนและ Kiln Surface เพื่อนำความร้อนสูญเสียใช้ประโยชน์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเสริมกับมาตรการนำความร้อนทิ้งผลิตพลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ ค.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน (เชิงลึก) อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการอนุรักษ์พลังงาน	ระยะเวลาคืนทุน
นำความร้อนทิ้งจาก Pre-heater Exit และ Clinker Cooler มาผลิตพลังงานไฟฟ้า	28.01 kWh/ton Clinker	2.58 ปี
หุ้มฉนวน Rotary Kiln	0.535 GJ/ton Clinker	N/A

3. มาตรการเตาปูนแบบฟลูอิดไดซ์ (Fluidized Bed Cement Kiln, FCK)

นวัตกรรมเทคโนโลยีในการเผาปูนซีเมนต์ในปัจจุบันได้มีระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS (Fluidized Bed Advanced Cement Kiln System) โดยมีการพัฒนาไปใช้ที่บริษัท Kawasaki Heavy Industries, Ltd. ซึ่งเทคโนโลยีนี้ได้นำมาใช้แทนระบบเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln) ระบบเตาเผาแบบ FAKS เป็นระบบที่ช่วยส่งเสริมด้านสิ่งแวดล้อมและช่วยลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงขึ้น รวมไปถึงสามารถลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)

ภายในหม้อเผาปูน(Rotary Kiln)ที่ใช้ปัจจุบัน วัตถุดิบที่ถูกอุ่นในตัว Pre-heater โดยแก๊สร้อนจากหม้อเผาปูนจะถูกถ่ายเทเข้าห้องเผาปูน(Rotary Kiln)รูปทรงกระบอกวางนอนหมุนรอบตัวช้าๆ 4-5 รอบ/นาที ด้านหน้าหม้อเผาจะป้อนเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิวัตถุดิบซึ่งถูกหม้อเผาพาหมุนคลุกกัน จนถึงขั้นแตกตัวและทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันเป็นปูนเม็ด กระบวนการถ่ายเทความร้อนจากเชื้อเพลิงให้วัตถุดิบซึ่งอยู่รวมตัวกันภายในหม้อเผา เป็นแบบการพาและการนำความร้อน ซึ่งใช้ระยะเวลาเพื่อวัตถุดิบรับความร้อนจนถึงระดับที่ต้องการ 1200-1250^{o}C การนำเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์มาประยุกต์ใช้ดังแสดงในรูปที่ ค.6 เตาเผาฟลูอิดไดซ์(FCK)รูปทรงกระบอกวางตั้ง วัตถุดิบจาก Pre-heater ไหลเข้าหม้อเผา(FCK)ด้านบน เชื้อเพลิงป้อนเข้าทางด้านข้าง อากาศป้อนเข้าโดยมีพัดลม (Blower)เป่าจากด้านล่างของเตาฯ และลมร้อนจากตัวหล่อเย็นปูนเม็ด(Packed Bed Cooler)เป่าเข้าด้านล่าง ทั้งอากาศและลมร้อนที่อัดเข้าหม้อเผาฯสันดาปเชื้อเพลิงเป็นแก๊สร้อนไหลขึ้นแนวดิ่ง การออกแบบแก๊สร้อนจะมีความเร็วสูงพอที่ดันให้วัตถุดิบแขวนลอยในกระแสของแก๊สร้อน เนื่องจากกระแสแก๊สร้อนสัมผัสโดยตรงกับวัตถุดิบทำให้ระยะเวลาที่ใช้เพื่อเผาวัตถุดิบอุณหภูมิสูงระดับแตกตัวและรวมตัวเป็นปูนเม็ด สั้นกว่าการเผาแบบ Rotary วัตถุดิบที่เปลี่ยนรูปเป็นปูนเม็ดมีความหนาแน่นสูงกว่าจึงตกลงด้านล่าง ถูกนำเข้าห้องลดอุณหภูมิ และนำออกใช้งาน

- เปรียบเทียบระบบเตาเผาแบบ FAKS กับระบบเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln)

1. มีความยืดหยุ่นในการใช้พลังงานสูง สามารถเลือกใช้ถ่านหินได้หลายประเภท เช่น ถ่านหินปิโตเลียม

2. ประสิทธิภาพด้านความร้อนดีขึ้น สามารถลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 10-25

3. มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย เพราะลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ลงร้อยละ 10-25 และสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ลงร้อยละ 40

4. ผลิตผลเพิ่มขึ้นโดยใช้เวลาในกระบวนผลิตลดลง

5. ทางด้านต้นทุนนั้น ราคาของโครงสร้างเตาลดลงร้อยละ 10-30 และพื้นที่ใช้งานลดลงร้อยละ 70 การบำรุงรักษาต่ำกว่าระบบเตาเผาแบบหมุน (Rotary kiln)

- โครงสร้างระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS ระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS ประกอบด้วย หออุ่นแบบแขวน Fluidized bed cement kiln, Fluidized bed quenching coolers และ Packed bed coolers อนุภาคของวัตถุดิบและเชื้อเพลิง(ถ่านหิน) ที่ไหลเข้าไปใน Fluidized bed ถูกยกตัวด้วยอากาศที่กระจายตัวอยู่ ดังนั้นการเคลื่อนที่ของ Fluidized bed มีลักษณะคล้ายของไหลนั้นจึงเป็นสาเหตุที่รูปแบบการเกิดปฏิกิริยาของ Fluidized bed มีประสิทธิภาพและมีการส่งถ่ายความร้อนสูง รายละเอียดระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS ตามรูปที่ ค.6

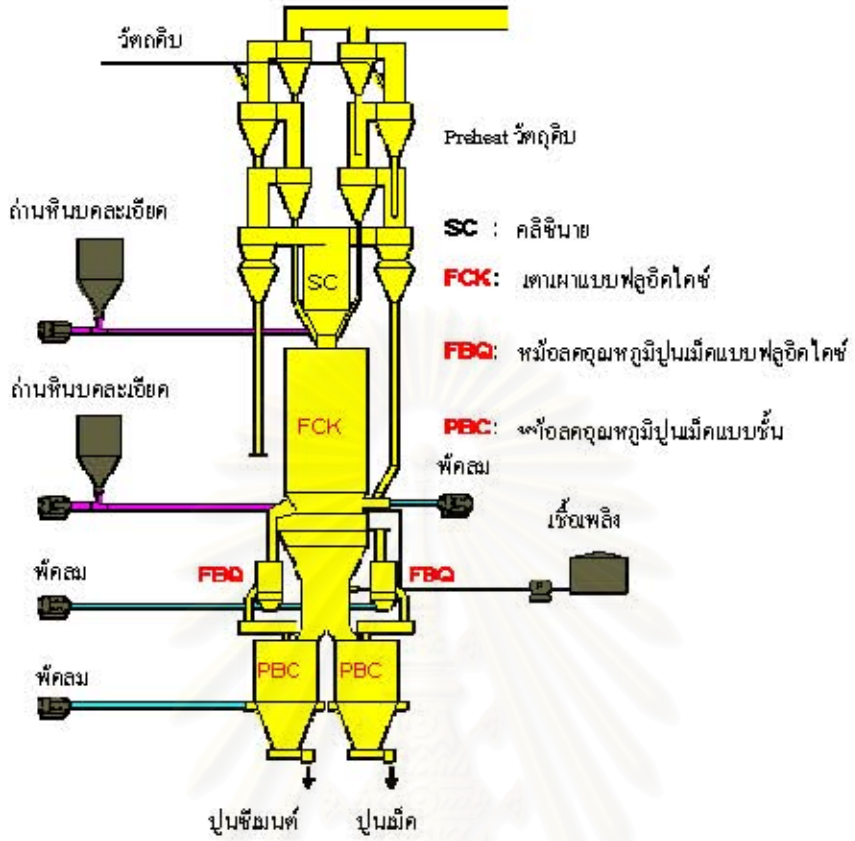
1. Suspension Pre-heater(SP) with Calciner(SC) SP ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน สำหรับการอุ่นการเปลี่ยนวัตถุดิบ ซึ่งประยุกต์มาจาก Kawasaki HELP system (High efficient-Low Pressure Loss Cyclone)

2. Fluidized Bed Cement Kiln (FCK) โดยวัตถุดิบมีขนาดเล็กซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 1-2 มิลลิเมตร และใช้อุณหภูมิที่ระดับ 1,300 องศาเซลเซียส

3. Fluidized Bed Quenching Cooler (FBQ) จะมีความรวดเร็วในการให้ความเย็นจากช่วง 1,300 องศาเซลเซียส ถึง 1,000 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดคุณภาพผลผลิตที่ดี

4. Packed Bed Cooler (PBC) ซึ่งจะควบคุมถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อนของปูนเม็ด และให้ความเย็นโดยจะมีอุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส การรวมกันของ FBQ และ PBC ส่งผลถึงประสิทธิภาพความร้อนในกระบวนการให้ความเย็น ดังนั้นปริมาณของอากาศที่ให้ความเย็นจะลดลงตามประมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ใน FCK

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



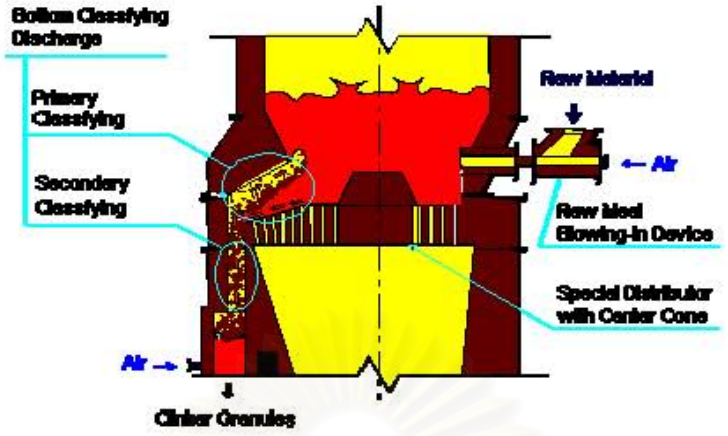
รูปที่ ค.6 ระบบเตาเผาแบบ FAKS (Fluidized Bed Advanced Cement Kiln System)

- เทคโนโลยีหลักของ Fluidized Bed Cement Kiln (FCK) ในส่วนของ FCK จะประกอบด้วยระบบ Bottom Classifying Discharge อุปกรณ์ Raw Meal Blowing-in และ Special Distributor ดังแสดงในรูปที่ ค.7 ซึ่งมีกระบวนการแยกวัตถุดิบเม็ดเล็กๆ ตามหลักการในรายละเอียดของ FCK

1. Bottom Classifying Discharge System เป็นระบบที่มีหน้าที่คัดเลือกขนาดของปูนเม็ดเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆในส่วนของเม็ดที่ยังไม่ละเอียดจะถูกส่งกลับไปทำใหม่ดังนั้นคุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ได้จาก FCK จะมีคุณภาพที่ดีและขนาดเม็ดปูนที่เหมาะสม

2. อุปกรณ์ Raw Meal Blowing-in ตัวป้อนวัตถุดิบเข้าระบบฯ ทำให้เกิดการแผ่กระจายความร้อนอย่างรวดเร็วเพื่อทำให้เป็นการควบคุมปริมาณที่แน่นอนของอิฐหลอมseed-coreที่ถูกสร้างขึ้นตัวเองเพื่อกระบวนการทำให้เป็นเม็ดเล็กๆ

3. Special Distributor ประกอบด้วยช่องพ่นเพื่อรักษาพลังการพ่นฉีดที่ถูกต้องการถูกใช้การได้เงื่อนไขทำให้มีลักษณะเหมือนรูปทรงขนาดเม็ดที่ดีใน FCK



รูปที่ ค.7 เทคโนโลยีหลักของ Fluidized Bed Cement Kiln (FCK)

- สมรรถนะระบบเตาเผาแบบ FAKS

ตารางที่ ค.4 รายละเอียดของระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS

รายการ		หน่วย	200 ตัน/วัน	1,000 ตัน/วัน	3,000 ตัน/วัน
ปริมาณความร้อนที่ใช้		kcal/kgcl'	771	694	676
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้		kWH/tcl'	43	35.7	32.9
เส้นผ่านศูนย์กลาง FCK		เมตร	2.5	5.7	9.7
Cooler	Strings	-	2	2	4
	เส้นผ่านศูนย์กลาง FBQ	เมตร	0.7	1.6	1.9
	เส้นผ่านศูนย์กลาง PBC	เมตร	3.1	7	8.6
ขนาดหอ	ความกว้าง	เมตร	10	17	26
	ความยาว	เมตร	8	16	26
	ความสูง	เมตร	51.5	63	72

ตารางที่ ค.5 การเปรียบเทียบโครงสร้างต้นทุนสำหรับกระบวนการเผาปูนเม็ด 1,000 ตันต่อวัน

รูปแบบของเตา	Full Turn Key	Free On Board
Conventional Rotary Kiln	100เปอร์เซ็นต์	100เปอร์เซ็นต์
FAKS	79เปอร์เซ็นต์	88เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ การเปรียบเทียบไม่รวมค่าใช้จ่ายของพื้นที่ที่ใช้ติดตั้งและค่าใช้จ่ายเรื่องการรื้อถอนเตาเผาเดิม

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS กับระบบเตาเผาแบบหมุน

กำลังการผลิต (ตันต่อวัน)		300	600	1,000	2,000	3,000
FAKS	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานความร้อน (เปอร์เซ็นต์)	74	74	74	75	76
	ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า (เปอร์เซ็นต์)	132	133	133	135	137
	ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง (เปอร์เซ็นต์)	28	26	26	25	24
ค่าใช้จ่ายรวม (เปอร์เซ็นต์)		74	74	74	74	75

(สมมุติค่าใช้จ่ายของเตาเผาแบบหมุนเป็น 100เปอร์เซ็นต์)

จากตารางที่ ค.4 , ค.5 และ ค.6 แสดงให้เห็นว่าเตาเผาปูนแบบ FCK ติดตั้งใช้งานขนาด 1,000 – 3,000 ตัน/วัน เปรียบเทียบกับระบบเดิมอนุรักษ์พลังงานความร้อน 25 เปอร์เซ็นต์ แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 35 เปอร์เซ็นต์ แต่โดยที่ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้เป็น80 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานรวม ระบบ FCK จึงอนุรักษ์พลังงานได้รวม 23.3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นค่าบำรุงรักษาระบบ FCKเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของระบบเดิม และต้นทุนสำหรับกระบวนการเผาปูนเม็ดที่ 1,000 ตันต่อวัน ของระบบ FCK มีต้นทุนน้อยกว่าระบบเดิมคิดเป็น 88เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงจากระบบเดิม 12 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 แสดงผลการเปรียบเทียบการใช้เทคโนโลยีระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS ที่ 1,000 ตันต่อวัน

Discharge quantity		**Rotary Kiln&AQC**	**FAKS**
NO2 as N content in coal is 1 เปอร์เซ็นต์ and NOx convert in 10เปอร์เซ็นต์ O2	Discharge quantity (mg/Nm3)	708	476
	Annual discharge quantity (ton-NO2/year)	341	233
CO2 *1 depends on electric power and fuel consumption	Discharge quantity(g/Nm3)	245	220
	Annual discharge quantity (ton-CO2/year)	$118x10^3$	$108x10^3$
Basis of calculation			
Production capacity	ton-clinker/day	1,000	1,000
	ton-cement/day	1,050	1,050
Annual operating time	Day/year	330	330
Heat consumption	kJ/ton-clinker	$3,411x10^3$	$2,993x10^3$
Power consumption	KWh/ton-clinker	27	36
Exhaust gas specific quantity	Nm3/kg-clinker	1.46	1.49
Lower calorific value of coal	kJ/kg-coal	25,116	25,116

จากตารางแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบ FAKS มีการใช้พลังงานระดับปฐมภูมิที่ต่ำกว่าเทคโนโลยีระบบเตาเผาแบบหมุนและ Air Quenching Cooler (AQC) ซึ่งใช้พลังงานทั้งหมดเท่ากับ $3,627x10^3$ กิโลจูลต่อตันปูนเม็ด แต่ระบบเตาเผาแบบ FAKS มีการใช้พลังงานทั้งหมด $3,281x10^3$ กิโลจูลต่อตันปูนเม็ด ซึ่งคิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ $3,460 x10^3$ กิโลจูลต่อตันปูนเม็ด หรือพลังงานที่ประหยัดได้ร้อยละ 9.53

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชฌิชา หมอยาดี เกิดวันที่ 6 มีนาคม 2524 ที่จังหวัดพะเยา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนสามัคคีวิทยาคม และเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสาตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จังหวัด กรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2547 และหลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาตรมหาบัณฑิต สาขาภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย