มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก

นายฐาปนพงษ์ ลาธุลี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT MEASURES FOR CERAMIC INDUSTRY

Mr. Thapanapong Lathulee

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	มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก
โดย	นายฐาปนพงษ์ ลาธุลี
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการ
(อาจารย์อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฐาปนพงษ์ ลาธุลี : มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก (PRODUCTION ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT MEASURES FOR CERAMIC INDUSTRY): อ. ที่ปรึกษา: ศ. ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 179 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยมาตรการที่นำเสนอสำหรับการอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วย โรงงานตัวอย่างที่ 1 มาตรการจัดการให้เครื่องที่มีสมรรถนะสูงเดินเป็นเครื่องหลักจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า 10,307.40 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 28,963.79 บาท/ปี โรงงานตัวอย่างที่ 2 มาตรการการลดลมรั่วในระบบอัดอากาศจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า 19,877.8 kWh/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 7215.65 บาท/ปี โรงงานตัวอย่างที่ 3 มาตรการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเผาไหม้ของเตาเผา ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง 122,752.69 kg/ปี โรงงานตัวอย่างที่ 4 เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 283,119.22 kJ/hr และการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 204,311.23 kJ/hr โรงงานตัวอย่าง 5 เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 1,095,434.41 kJ/hr และการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 372,640.60 kJ/hr โรงงานตัวอย่างที่ 6 การปรับตั้งความดันใช้งานของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับเครื่องจักร สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศ 225,600 kWh/ปี และการเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเป็นเครื่องหลักสามารถพลังงานประหยัดไฟฟ้า 71,355 kWh/yr โรงงานตัวอย่างที่ 8 มาตรการการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ควบคุมคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 278,260 บาท/ปี โรงงานตัวอย่างที่ 9 การลดลมรั่วในระบบอัดอากาศจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดเป็น 2,304 kWh/ปี โรงงานตัวอย่าง 10 การนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 536,466.00 kJ/hr และการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 326,524.80 kJ/hr โรงงานตัวอย่าง 12 การนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 408,772.44 kJ/hr และการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 159,872.76 kJ/hr โรงงานตัวอย่างที่ 13 การนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 285,240.00 kJ/hr และการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 159,872.76 kJ/hr โรงงานตัวอย่าง 14 การนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 608,164.20 kJ/hr การนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 316,845.67 kJ/hr

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2550.....

4970292321: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: ENERGY EFFICIENCY/ CERAMIC INDUSTRY

THAPANAPONG LATHULEE: PRODUCTION ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT MEASURES FOR CERAMIC INDUSTRY. THESIS ADVISOR: PROF. SIRICHAN THONGPRASERT, Ph.D, 179 pp.

The main purpose of this thesis is to find the measures in improving the energy's efficiency for the ceramic industry: The example factory 1 using base load compressed air can reduce electrical energy consumption 10,307.40kWh/year. The example factory 2 using minimizing leakage in compressed air that can be saved 19,877.8 kWh/year. The example factory 3 improves efficiency in kiln by combustion control that can be saved energy consumption 122,752.69 kg/year. The example factory 4 uses waste heat recovery from preheat zone can be saved 283,119.22 kJ/hr and cooling zone can be saved 204,311.23 kJ/hr. The example factory 5 uses waste heat recovery from preheat zone can be saved 1,095,434.41 kJ/hr and cooling zone can be saved 372,640.60 kJ/hr. The example factory 6 using base load compressed air can reduce electrical energy consumption 71,355 kWh/year. The example factory 8 using variable speed drive (VSD) can reduce electrical energy consumption in motor that can be saved 278,260 baht/year. The example factory 9 minimizing leakage in compressed air that can be saved 2,304 kWh/year. The example factory 10 uses waste heat recovery from preheat zone can be saved 536,466 kJ/hr and cooling zone can be saved 326,524.80 kJ/hr. The example factory 12 uses waste heat recovery from preheat zone can be saved 408,772.44 kJ/hr and cooling zone can be saved 159,872.76 kJ/hr. The example factory 13 uses waste heat recovery from preheat zone can be saved 285,240 kJ/hr and cooling zone can be saved 159,872.76 kJ/hr. The example factory 14 uses waste heat recovery from preheat zone can be saved 608,164.20 kJ/hr and cooling zone can be saved 316,845.67 kJ/hr.

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

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

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ และคำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ และอาจารย์อังศุมาลิน เสนจันทร์ตมิไชย กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่ดีสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประสาทความรู้จนผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัย และทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ขั้นตอนในการวิจัย 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
2.1.1 ความหมายของการประหยัดพลังงานทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5
2.1.2 ประเภทของมาตรการประหยัดพลังงานทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6
2.1.3 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน (Energy Audit) 6
2.1.4 ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ 9
2.1.5 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์พลังงาน 13
2.1.6 การตรวจวิเคราะห์การใช้ที่ผ่านมา 14
2.1.7 การสำรวจขั้นต้น 16
2.1.8 การจัดการด้านพลังงาน 19
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34
2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40
บทที่ 3 อุตสาหกรรมเซรามิก 43
3.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเซรามิก 43
3.2 ขั้นตอนการผลิต 46

หน้า

3.3 ประเภทของเตา 70
บทที่ 4 การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก 73
4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงาน 73
4.2 การวัดค่าตัวชี้วัดที่สามารถทำได้เองโดยโรงงาน 76
4.3 การประเมินดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก 76
4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก 84
4.5 การปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน 89
บทที่ 5 การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตเซรามิก 125
5.1 หลักการจัดการพลังงานทั่วไป 125
5.2 หลักการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก 139
5.3 แนวทางในการกำหนดมาตรการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 149
บทที่ 6 สรุปงานวิจัย 150
6.1 สรุปงานวิจัย 150
6.2 ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย 161
รายการอ้างอิง 163
ภาคผนวก 165
ภาคผนวก ก 166
ภาคผนวก ข 173
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 179

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ต้นทุนพลังงานโดยแยกตามอุตสาหกรรม....35
ตารางที่ 3.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออก....45
ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนี SECปฐมภูมิของการตรวจวัดในอุตสาหกรรมเซรามิก....78
ตารางที่ 4.2 SEC โรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก....78
ตารางที่ 4.3 SEC โรงงานผลิตเครื่องสุขภัณฑ์....79
ตารางที่ 4.4 SEC โรงงานผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า.... 79
ตารางที่ 4.5 SEC โรงงานผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร....80
ตารางที่ 4.6 Thermal efficiency ในการเผา....84
ตารางที่ 4.7 SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามผลิตภัณฑ์เซรามิก....86
ตารางที่ 4.8 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร....87
ตารางที่ 4.9 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เมื่อเตาเผาแบบโรลเลอร์ฮาร์ทแทนอุโมงค์.... 87
ตารางที่ 4.10 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามกระบวนการผลิตเซรามิก....88
ตารางที่ 4.11 ปริมาณลมที่ปล่อยผ่าน Orifice ขนาดต่าง ๆ (ลิตรต่อวินาที, l/s)....93
ตารางที่ 6.1 SEC โรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก....153
ตารางที่ 6.2 SEC โรงงานผลิตเครื่องสุขภัณฑ์……154
ตารางที่ 6.3 SEC โรงงานผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า....154
ตารางที่ 6.4 SEC โรงงานผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร....155
ตารางที่ 6.5 SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมเซรามิก..156
ตารางที่ 6.6 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร..157
ตารางที่ 6.7 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เมื่อเตาเผาแบบโรลเลอร์ฮาร์ทแทนอุโมงค์…… 157
ตารางที่ 6.8 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามกระบวนการผลิตเซรามิก..... 158
ตารางที่ 6.9 มาตรการและผลการอนุรักษ์พลังงาน.... 159

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แนวโน้มค่าความเข้มพลังงานเบื้องต้นของประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ 2
รูปที่ 2.1 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตในรอบ 12 เดือนของโรงงานแช่แข็งแห่งหนึ่ง 12
รูปที่ 2.2 วัฏจักรการจัดการด้านพลังงาน 21
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของทีมอนุรักษ์พลังงาน 33
รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตเซรามิก 36
รูปที่ 2.5 การใช้อุปกรณ์รองวัตถุดิบตกหล่นเพื่อลดปริมาณวัตถุดิบที่ปนเปื้อน 39
รูปที่ 3.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเซรามิก 44
รูปที่ 3.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก 45
รูปที่ 3.3 การออกแบบต้นแบบปูนปลาสเตอร์ 52
รูปที่ 3.4 การทำแม่พิมพ์ชิ้นเดียว 52
รูปที่ 3.5 การทำแม่พิมพ์ 2 ชิ้น 53
รูปที่ 3.6 การทำแม่พิมพ์ 3 ชิ้น 53
รูปที่ 3.7 การทำแม่พิมพ์ 4 ชิ้น 53
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการเตรียมน้ำดิน (Slip) 55
รูปที่ 3.9 เครื่องอัดรีดน้ำดิน (Filter press) 56
รูปที่ 3.10 ดินแผ่นหรือดินเค้กชื้น (Cake) 56
รูปที่ 3.11 เครื่องรีดดิน (Extruder) 56
รูปที่ 3.12 ดินแท่ง 56
รูปที่ 3.13 เครื่องพ่นแห้ง (Spray Dryer) 57
รูปที่ 3.14 การพ่นน้ำดิน 57
รูปที่ 3.15 ดินฝุ่น 57
รูปที่ 3.16 การเทน้ำดินใส่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ 58
รูปที่ 3.17 แสดงการเทน้ำดินส่วนเกินออก 58
รูปที่ 3.18 การแกะพิมพ์ออกจากแบบ 59
รูปที่ 3.19 การตกแต่งชิ้นงาน 59
รูปที่ 3.20 การเทน้ำดินหล่อตัน 59
รูปที่ 3.21 การแกะพิมพ์หล่อตัน 59
รูปที่ 3.22 การขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์ 61

หน้า

รูปที่ 3.23 การขึ้นรูปด้วยเครื่องโรลเลอร์แมชชีน 62
รูปที่ 3.24 การขึ้นรูปกระเบื้อง 63
รูปที่ 3.25 เตาซัทเทิ่ล (Shuttle Kiln) 71
รูปที่ 3.26 เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln) 71
รูปที่ 3.27 เตาแบบโรลเลอร์ 72
รูปที่ 3.28 เตาแบบโรลเลอร์ฮาร์ท 72
รูปที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ณ เวลาต่างๆ 74
รูปที่ 4.2 พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 74
รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ ค่า SEC อ้างอิง กับ SEC โรงงานตัวอย่าง 89
รูปที่ 5.1 แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการ และการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต 128
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน และการจัดการวัตถุดิบ 140
รูปที่ 5.3 ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่ออัตราการอบแห้ง..... 142

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

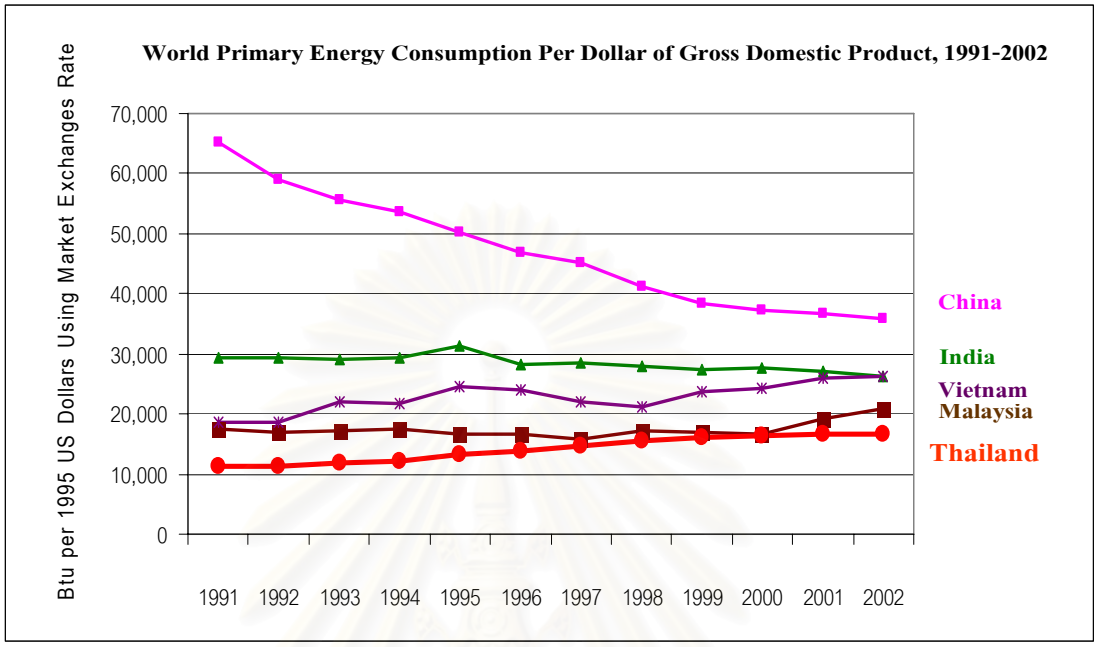
"พลังงาน" เป็นปัจจัยพื้นฐานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ โดยพลังงานที่ถูกใช้นอกเหนือไปจากงานทางด้านสาธารณูปโภคจะถูกนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตเป็นส่วนใหญ่ ด้วยสัดส่วนของมูลค่าพลังงานร้อยละ 36 ของพลังงานรวมที่ถูกใช้ภายในประเทศ ทั้งนี้หากพลังงานส่วนใหญ่ของประเทศถูกนำใช้ไปอย่างขาดประสิทธิภาพ ก็ย่อมทำให้เกิดความสูญเปล่าและนำมาซึ่งความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อประเทศได้ ดังนั้น ภาคอุตสาหกรรมการผลิตจึงเป็นส่วนอุตสาหกรรมที่ถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นประเด็นในการศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในงานวิจัยนี้

คำว่า "ประสิทธิภาพพลังงาน" นี้ หมายถึง ความสามารถเชิงพลังงานในการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ออกมา ทั้งนี้หากเราสามารถลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตสินค้าปริมาณเท่าเดิมลงไปได้ นั่นย่อมหมายความว่า เราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในการผลิตได้นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วเราไม่สามารถประเมินหาค่าประสิทธิภาพพลังงานออกมาเป็นตัวเลขได้อย่างชัดแจ้ง หากแต่จะต้องประเมินค่าดังกล่าวผ่านทางตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานแบบต่างๆ เท่านั้น

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานที่สำคัญที่ถูกหยิบยกขึ้นมา คือ ความเข้มพลังงาน (Energy Intensity หรือ EI) ซึ่งมีค่าเท่ากับ ปริมาณพลังงานเบื้องต้นที่ใช้ ต่อ ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product หรือ GDP) ซึ่งตลอดระยะเวลา 10 กว่าปีที่ผ่านมา (ช่วงปี พ.ศ. 2534 – 2547) ค่าความเข้มพลังงานของประเทศไทยมีค่าประมาณอยู่ที่ 15,000 Btu ต่อ GDP และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงขึ้น (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1) ในขณะที่ประเทศอื่นๆ ต่างมีความพยายามในการควบคุมมิให้ค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้น หรือทำให้มีแนวโน้มลดลง ประเทศไทยภายใต้สถานการณ์การเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มพลังงานนี้ สื่อให้เห็นถึงความสูญเสียที่เราจะได้รับ ทั้งในรูปของความสูญเสียจากการใช้พลังงานที่ขาดประสิทธิภาพ ตลอดจนความสูญเสียจากศักยภาพการผลิตที่ลดต่ำลง ซึ่งจะส่งผลทำให้เราสูญเสียความสามารถในการแข่งขันเชิงการค้ากับประเทศคู่ค้าอื่นๆ ในที่สุด

นอกจากค่าความเข้มพลังงานแล้ว ตัวชี้วัดที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่มักจะปรากฏอยู่บนงานวิจัยต่างๆ คือ ความยืดหยุ่นพลังงาน (Energy Elasticity หรือ EE) ซึ่งหาได้จากสัดส่วนระหว่างการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงานเบื้องต้น ต่อ การเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ หรือ

GDP สำหรับประเทศไทย ค่าความยืดหยุ่นของพลังงานก็มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกันกับค่าความเข้มพลังงาน



Energy Intensity [Total Primary Energy Consumption Per Dollar of Gross Domestic Product]
http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tablee1g.xls

รูปที่ 1.1 แนวโน้มค่าความเข้มพลังงานเบื้องต้นของประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ

ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าความเข้มพลังงาน (EI) และค่าความยืดหยุ่นพลังงาน (EE) นั้นนับเป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งจะต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยทางรัฐบาลได้เล็งเห็นถึงความสำคัญ และได้มอบหมายให้กรมพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน หรือ พพ.เป็นผู้รับผิดชอบในการบริหาร และจัดการเกี่ยวกับภารกิจดังกล่าว แต่เนื่องจากภาคอุตสาหกรรมการผลิตมีความซับซ้อน และมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย จึงทำให้การศึกษาประสิทธิภาพพลังงานของทั้งภาคอุตสาหกรรมไม่สามารถดำเนินการให้ลุล่วงได้ในเวลาที่จำกัด ดังนั้นทางกรมพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน หรือ พพ.จึงได้ทำการแบ่งกลุ่มของอุตสาหกรรมออกเป็นส่วนๆ โดยงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการศึกษาในส่วนของอุตสาหกรรมเซรามิก

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่สร้างรายได้ให้กับประเทศปีละหลายแสนล้านบาท อีกทั้งมีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก เนื่องจากยังมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมเซรามิกในปริมาณที่สูง ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นล้วนส่งผลให้อุตสาหกรรมเซรามิกยังคงเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศที่รัฐบาลควรให้การส่งเสริมและสนับสนุนเพื่อให้มีศักยภาพที่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศในเวทีการค้าโลกได้อย่างต่อเนื่องใน

ระยะยาว อีกทั้งหากพิจารณาเพิ่มเติมในมิติด้านพลังงาน อุตสาหกรรมเซรามิกถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูงและมีแนวโน้วที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางที่จะส่งเสริมและสนับสนุนให้อุตสาหกรรมดังกล่าวมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนอกจากจะส่งผลในเรื่องพลังงานที่สามารถประหยัดได้แล้ว ยังเป็นการช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศในเวทีการค้าโลกอีกทางหนึ่งด้วย

เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จึงได้ริเริ่มให้มีโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิกขึ้น โดยจะทำการศึกษาวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวซึ่งมีสภาพการใช้พลังงานที่แตกต่างกันตามผลผลิตและกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้มีเกณฑ์การใช้พลังงานมาตรฐานของอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย ซึ่งทำให้ผู้ประกอบการทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเองและเปรียบเทียบกับผู้อื่น นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถึงสถานภาพการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมดังกล่าวในภาพรวม รวมถึงทำการประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อนำไปสู่การนำเสนอแนวทางการส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมดังกล่าวที่เป็นรูปธรรม ทั้งในรูปแบบของเทคโนโลยีการผลิตและการอนุรักษ์พลังงานรวมถึงมาตรการเชิงลึกด้านอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพในรูปแบบต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมของประเทศมีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งจะเป็นการช่วยยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศ รวมทั้งสามารถรับมือกับสถานการณ์วิกฤติการณ์ด้านพลังงานทั้งในปัจจุบันและอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อหามาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ประเภทของกระบวนการผลิตที่จะนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ได้แก่
   - กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตเครื่องสุขภัณฑ์
   - กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก
   - กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า
   - กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร
2. ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงาน อันประกอบไปด้วย ข้อมูลด้านการผลิต ข้อมูลด้านพลังงาน คือ พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง โดยที่พิจารณาเฉพาะในกระบวนการผลิตเท่านั้น โดยที่ไม่รวม

พลังงานที่ใช้ในส่วนสนับสนุน เช่น พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในสำนักงาน พลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบ เป็นต้น ทั้งนี้ข้อมูลการตรวจวัดของอุตสาหกรรมส่วนดังกล่าว ได้มาจากโรงงานตัวอย่าง

3. ทำการศึกษา และประเมินสถานการณ์ ตลอดจนวิเคราะห์หาทิศทางการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก

4. จัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยจะทำการเชื่อมโยงข้อมูลด้านพลังงาน และผลผลิตเข้าด้วยกัน

1.4 ขั้นตอนในการวิจัย

1. สำรวจงานวิจัย และค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาขั้นตอน และรายละเอียดประกอบงานวิจัย
3. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย
   3.1 ข้อมูลด้านพลังงาน
   3.2 ข้อมูลด้านผลผลิต
4. ศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลการบริโภคพลังงานแต่ละกระบวนการในอุตสาหกรรมเซรามิก
5. เสนอมาตรการและแนวทางการการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิต
6. เสนอแนวทางการการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก
7. เสนอแนวทางการจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตเซรามิก
8. สรุปผล และจัดทำข้อเสนอแนะโดยอ้างอิงจากข้อมูลด้านเทคนิค
9. จัดทำเป็นรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นประโยชน์ต่อการประเมินสถานการณ์ทั้งในเชิงวิศวกรรมพลังงาน

2. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ในการกำหนดแนวทางตลอดจนจัดทำแผนการดำเนินงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในอนาคต

3. สามารถประยุกต์หลักการ ตลอดจนวิธีการต่างๆ ที่ปรากฏในการวิจัยไปใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพพลังงานของภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

4. สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ซึ่งช่วยในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงาน การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนตลอดจนการตรวจสอบติดตามผลการประหยัดที่เกิดขึ้นจริงหลังจากที่ได้ดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงาน โดยบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของการรวบรวมข้อมูลและการตรวจวัดเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งการตรวจสอบและติดตามผลโดยใช้ดัชนีชี้วัดที่เหมาะสม

2.1.1 ความหมายของการประหยัดพลังงาน

การประหยัดพลังงานในโรงงาน หมายถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยไม่มีผลเสียต่อกิจกรรมการผลิต ลดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งจะเกิดผลดีด้านการลดต้นทุนการผลิต ลดการเกิดอุบัติเหตุและการหยุดเครื่องจักรในขณะทำงาน ซึ่งถือเป็นผลดีทางอ้อมในการช่วยกันประหยัดการใช้พลังงานของประเทศด้วย

หลักการพิจารณาแนวทางการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ประการ คือ

1. การเลือกใช้พลังงานและเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสม ควรพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการจัดหาและการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสมกับงานมากที่สุดโดยพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพรวมที่ได้

2. การเลือกใช้วิธีการแปลงพลังงานและกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม ในกรณีที่กระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนดรูปแบบของพลังงานที่จะใช้ หากกระบวนการใดสามารถใช้พลังงานได้มากกว่าหนึ่งรูปแบบ ควรเลือกใช้พลังงานที่มีรูปแบบที่เหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์

3. การลดการสูญเสียและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การลดการใช้พลังงานในโรงงานทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ควรศึกษาสภาพการใช้งานอย่างละเอียดของอุปกรณ์ในโรงงาน ศึกษาวิเคราะห์หาแนวทางการลดการสูญเสียเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น การเดินมอเตอร์ตัวเปล่า ลมรั่ว ท่อไอน้ำรั่ว ฉนวนความร้อนไม่ดี เป็นต้น เพื่อให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

4. การนำพลังงานที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การนำพลังงานที่เหลือทิ้งจากสาเหตุต่างๆ กลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ เพื่อให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นโดยคำนึงถึงความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย

2.1.2 ประเภทของมาตรการประหยัดพลังงาน

มาตรการต่าง ๆ ในการประหยัดพลังงาน หากพิจารณาในแง่ของการปรับปรุงหรือระดับการลงทุน โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 มาตรการ คือ

1. มาตรการบำรุงรักษาเครื่องจักร (House Keeping) เป็นมาตรการที่ไม่ต้องลงทุนหรือมีการลงทุนน้อยมาก สามารถดำเนินการได้ง่าย เช่น การปรับความตึงสายพาน, ปิดไฟในตำแหน่งที่ไม่ใช้งาน, การลดของเสีย, การจัดผังโรงงาน เป็นต้น

2. มาตรการปรับปรุงกระบวนการผลิต(Process Improvement) เป็นมาตรการที่มีการลงทุนแต่ลงทุนไม่มาก เช่น การหุ้มฉนวน, การเปลี่ยนหัวเผา (Burner) ของหม้อไอน้ำ, การเปลี่ยนบัลลาสต์อิเลคทรอนิกส์ เป็นต้น

3. มาตรการเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก(Major Change of Equipment) เป็นมาตรการที่ต้องมีการลงทุนสูง ระยะเวลาคืนทุนนาน โดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงเครื่องจักรอุปกรณ์หรือกระบวนการผลิตใหม่ เช่น การเปลี่ยนหม้อไอน้ำ, การติดตั้งอุปกรณ์นำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์, การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้า(Cogeneration) เป็นต้น

2.1.3 การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงาน (Energy Audit)

พื้นฐานของการตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานพลังงานมีความสำคัญต่อผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากพลังงานเป็นต้นทุนหลักอย่างหนึ่งของสินค้า ซึ่งการบริหารจัดการการใช้พลังงานที่เหมาะสมจะช่วยปรับปรุงในด้านต่างๆ ของโรงงาน ได้แก่ ราคาของสินค้า งบประมาณรายจ่ายตลอดจนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงาน โดยการที่จะลดการใช้พลังงานจะต้องทำการตรวจวัดและรวบรวมข้อมูลประกอบด้วยเสมอ ซึ่งความสำคัญของการตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานสามารถสรุปได้ดังนี้

- เพื่อให้ทราบปริมาณการใช้และการสูญเสียพลังงานทั้งก่อนและหลังการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน
- เพื่อให้ทราบประสิทธิภาพการใช้พลังงานทั้งของเครื่องจักรและอุปกรณ์ของโรงงาน
- เพื่อเป็นข้อมูลในการประเมินแนวทางการประหยัดพลังงานที่เป็นได้และใช้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน
- เพื่อใช้ในการกำหนดดัชนีการใช้พลังงานเพื่อใช้ตรวจสอบและติดตามผลการประหยัดพลังงานหลังจากได้มีการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานไปแล้ว

วัตถุประสงค์การตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้ทราบ

- การใช้พลังงานที่ไหนและเมื่อไร เช่น กระบวนการผลิตส่วนใดของโรงงานมีการใช้พลังงานบ้าง ช่วงเวลาของการใช้พลังงานในแต่ละส่วนคิดเป็นกี่ชั่วโมงต่อวันหรือกี่วันต่อสัปดาห์
- การใช้พลังงานเป็นอย่างไร เช่น มีการใช้พลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันเตาที่หม้อไอน้ำ มีการใช้พลังงานความร้อนจากไอน้ำในการต้มวัตถุดิบ
- การใช้พลังงานเพื่อทำอะไร เช่น เพื่ออบแห้งสินค้า เพื่อให้ความเย็นในพื้นที่การผลิต

ดังนั้น จากวัตถุประสงค์ดังกล่าวทำให้พอที่จะสรุปสิ่งที่ต้องทำการตรวจวัดได้อย่างน้อย 4 ประการ คือ

- กระบวนการและปริมาณการผลิตของโรงงานในสภาพปกติ
- ปริมาณการใช้พลังงานในสภาพปกติ ทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้เชื้อเพลิง
- ช่วงเวลาการผลิตและช่วงเวลาที่ไม่ได้ทำการผลิตของโรงงาน
- สภาพภูมิอากาศแวดล้อม ในกรณีที่สภาพภูมิอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต

จะสังเกตได้ว่า การตรวจวัดการใช้พลังงานจะเน้นที่การตรวจวัดในสภาวะที่โรงงานทำการผลิตปกติไม่ใช่ช่วงเวลาที่ต้องเร่งทำการผลิต เนื่องจากมีคำสั่งซื้อเข้ามามากในช่วงเทศกาล หรือในทางกลับกันไม่ใช่ช่วงเวลาที่ผลิตน้อยกว่าปกติ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานและ

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ได้จากสภาวะปกตินั้นจะเป็นค่าที่แท้จริงของโรงงานและสามารถใช้เป็นค่าฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน อีกทั้งใช้เป็นดัชนีเปรียบเทียบก่อนและหลังการดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานได้

ในการตรวจวัดการใช้พลังงานจะกระทำกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ การตรวจวัดแบบชั่วขณะและการตรวจวัดแบบต่อเนื่อง

<u>การตรวจวัดแบบชั่วขณะ</u>

เป็นการตรวจวัดครั้งเดียวเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานในขณะที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทำงานที่สภาวะปกติ ซึ่งในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก การตรวจวัดชั่วขณะส่วนใหญ่จะเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงาน ข้อดีของการตรวจวัดแบบชั่วขณะคือ ทำได้ง่ายและประหยัดเวลา ส่วนข้อเสียคือ หากตรวจวัดในช่วงเวลาที่เครื่องจักรไม่ได้ทำงานที่สภาวะปกติ จะทำให้ได้ค่าตัวแทนที่ไม่ถูกต้องทำให้ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ได้เบี่ยงเบนไปจากความเป็นจริง

<u>การตรวจวัดแบบต่อเนื่อง</u>

เป็นการตรวจวัดการใช้พลังงานซ้ำๆ กันอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่ง เช่น ทุกชั่วโมง หรือทุก 15 นาทีเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ต่อเนื่อง ซึ่งส่วนใหญ่การตรวจวัดแบบนี้จะทำกับเครื่องจักรที่มีลักษณะการทำงานไม่คงที่ แปรเปลี่ยนตลอดเวลา หรือเป็นเครื่องจักรหลักที่มีการใช้พลังงานมากและต้องการทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงาน (Energy Load Profile) อย่างละเอียด ข้อดีของการตรวจวัดแบบต่อเนื่องคือ ได้ค่าที่เป็นตัวแทนการทำงานของเครื่องจักรที่ถูกต้องแน่นอนทำให้สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ ส่วนข้อเสียคือ ต้องใช้เวลามากและสิ้นเปลืองกำลังคนในการบันทึกข้อมูล สิ้นเปลืองเงินลงทุนในการเช่าหรือซื้อเครื่องมือวัดที่สามารถบันทึกข้อมูลต่อเนื่องได้อย่างอัตโนมัติ

การตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้น เช่น บันทึกปริมาณการผลิต ใบเสร็จค่าไฟฟ้า ใบเสร็จค่าเชื้อเพลิงรายละเอียดของเครื่องจักรที่ใช้พลังงาน ฯลฯ
2. จำแนกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้พลังงานตามประเภทของพลังงานที่ใช้
3. ศึกษาการใช้พลังงานของเครื่องจักรและจุดต่างๆ ในกระบวนการผลิต

4. กำหนดแผนการตรวจวัด ได้แก่ เครื่องจักรหรือกระบวนการผลิตที่ต้องการตรวจวัด ตัวแปรที่จำเป็นต้องวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ช่วงเวลาในการตรวจวัดที่สอดคล้องกับสภาพการใช้พลังงานผู้รับผิดชอบในแต่ละขั้นตอน

5. จัดเตรียมเครื่องมือวัดที่จำเป็นทั้งจากการเช่าและจากการซื้อเอง โดยหากโรงงานต้องการซื้อเครื่องมือวัดไว้ใช้เองควรพิจารณาถึงด้านต่างๆ ได้แก่ ราคา ความถี่ในการใช้งาน ช่วงการตรวจวัด ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตลอดจนความสะดวกในการพกพาเพื่อให้สามารถตรวจวัดได้หลายจุด

6. ดำเนินการตรวจวัดจริงและเก็บรวบรวมข้อมูลประกอบอื่นๆ เช่น บันทึกการเดินเครื่องจักร (Log sheet) บันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ต่างๆ

ดังนั้น การตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานที่ดีควรมีการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นอย่างละเอียด มีการวางแผนการตรวจวัดอย่างเป็นระบบ การตรวจวัดให้ได้ค่าที่ถูกต้องจะทำให้การวิเคราะห์แนวทางการประหยัดพลังงานเป็นไปอย่างชัดเจน ถูกต้อง และรวดเร็ว การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุนมีความถูกต้องแม่นยำทำให้การตัดสินใจดำเนินการตามแนวทางการประหยัดพลังงานของโรงงานสามารถทำได้อย่างมั่นใจ

ขั้นตอนการตรวจวัดและการรวบรวมข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์พลังงานเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่มีความสำคัญซึ่งจะนำไปสู่ขั้นตอนในลำดับต่อไป คือ ขั้นตอนของการคำนวณและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบและประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่เพื่อการกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมในอุปกรณ์ต่อไป

2.1.4 ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ หรือ SEC (Specific Energy Consumption) คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงานโดยเป็นตัวชี้วัดที่นำเอาหน่วยกายภาพไปใช้ในการกำหนดผลลัพธ์ เช่น ตันของผลิตภัณฑ์ หรือจำนวนชิ้น เป็นต้น ในขณะที่ส่วนนำเข้าใช้หน่วยของพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ตัวชี้วัดประเภทนี้เป็นที่นิยมค่อนข้างมากเนื่องจากสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกันได้ ซึ่งมีหน่วยต่างกันออกไปตามแหล่งพลังงานและรูปแบบการชี้วัดผลลัพธ์ เช่น MJ/Ton, kWh/Ton

โดยสูตรคำนวณดังนี้

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้ในระยะเวลาหนึ่ง (MJ, kWh)}}{\text{ปริมาณผลผลิตที่ได้ในระยะเวลาเดียวกัน(Ton)}}$$

ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจะมีประโยชน์อย่างมากใน และติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง ข้อดีประการสำคัญของตัวชี้วัดรูปแบบนี้ คือ เราสามารถชี้วัดในประเด็นที่ต้องการศึกษาโดยเฉพาะได้ นอกจากนี้ตัวชี้วัดดังกล่าวยังสามารถสื่อให้เห็นถึงแนวโน้ม และความเป็นไปในระยะยาวได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

โดยทั่วไปปริมาณพลังงานที่ใช้มักจะประกอบด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ปริมาณที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตอาจเป็น พลังงานความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต จากเตาเผา หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลอาจกำหนดเป็นวัน เดือน หรือปีก็ได้ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว

ในการหาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของกระบวนการผลิตหนึ่ง ๆ อาจจำเป็นจะต้องมีการวัดและวิเคราะห์โดยละเอียด ซึ่งจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายและต้องการผู้มีความรู้ความชำนาญการในด้านนี้ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ ซึ่งมีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนและสลับซับซ้อน ส่วนอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดปานกลาง การดำเนินการอาจไม่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่ากรณีแรก เนื่องจากค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เป็นค่าที่ขึ้นกับปริมาณของผลผลิตรวมที่ผลิตได้และพลังงานที่ใช้ผลิตดังกล่าว ดังนั้นค่าที่ได้จึงสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตของอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ และถ้ามีการเก็บข้อมูลไว้ทุกปีก็จะมีประโยชน์ในแง่ของประสิทธิภาพของการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง โดยสามารถอธิบายได้ว่า ถ้าหากค่า SEC มีค่าต่ำแสดงว่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในการผลิตของอุตสาหกรรมนั้น ๆ มีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายพลังงานมีค่าต่ำ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการจัดวางนโยบายการใช้พลังงานในหน่วยงานทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการกำหนดมาตรการรักษาหรือปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ซึ่งอาจครอบคลุมการปรับปรุงการผลิต การใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าช่วย หรือการอบรมบุคลากรที่เกี่ยวข้องให้สามารถควบคุมจัดการการใช้ให้มีประสิทธิภาพ เป็นต้น หน่วยของค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้มีหลายอย่าง เช่น ค่าของความร้อนเป็น เมกกะจูล (MJ) เป็นต้น

1. การคำนวณค่า SEC

SEC หรือ Specific Energy Consumption คือค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน ค่านี้มีประโยชน์ที่จะช่วยบอกว่า โรงงานหนึ่งๆ ใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย การติดตามและควบคุมค่า SEC ของโรงงาน เป็นวิธีการจัดการการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง SEC หาได้โดยเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งมักจะเป็นเดือน หาร

ด้วยผลผลิตในเดือนนี้ สามารถคำนวณ SEC ของพลังงานไฟฟ้า (SEC,EE) หรือ SEC ของพลังงานความร้อน (SEC,TH)หรือ SEC ของการใช้พลังงานรวม (SEC) ขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่สนใจ โดยทั่วไปเป็นค่าSECของการใช้พลังงานรวม

$$SEC_{รวม} = SEC_{EE} + SEC_{TH}$$

เช่น โรงงานแห่งหนึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในเดือนหนึ่ง 1,000,000 หน่วย (kWh) และความร้อนที่ใช้ได้จากน้ำมันเตา (A) ปริมาณ 5,000 ลิตรต่อเดือน ค่าความร้อนน้ำมันเตา (A) = 38.18 เมกะจูล/ลิตร และผลิตสินค้า 1,000 ตัน

ดังนั้น

SEC, EE = (1,000,000 kWh) / (1,000 ตัน) = 1,000 kWh/ตัน

SEC, TH = (5,000 ลิตร x 38.18 เมกะจูล/ลิตร) / (1,000 ตัน) = 190.9 เมกะจูล/ ตัน

SECรวม = ((1,000 x 3.6) /0.45) +190.9 = 8190.9 เมกะจูล/ ตัน

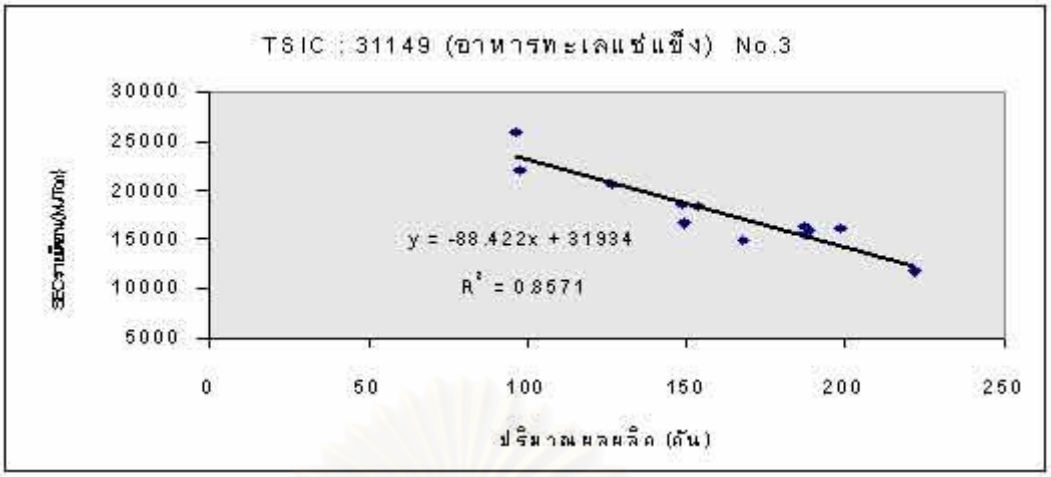
ในกรณีที่หาค่า SEC รวมให้แปลงพลังงานไฟฟ้าในหน่วย kWh ให้เป็น MJ โดยคูณด้วย 3.6 และนำมารวมกับ MJ ของพลังงานความร้อน ซึ่งได้จากปริมาณเชื้อเพลิง คูณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้น ๆหน่วยพลังงานที่นิยมใช้ในการคำนวณค่า SEC มักจะเป็น MJ หรือ GJ ในขณะที่ปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผลผลิต ที่นิยมใช้มักเป็นหน่วยน้ำหนัก เช่น ตัน เป็นต้น

ในกรณีที่โรงงานมีหลายผลผลิต และไม่มีเครื่องวัดการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิต ให้ตรวจสอบว่าการใช้พลังงานต่อหน่วยของผลผลิตใดสูงกว่าผลผลิตอื่นมากหรือไม่ ถ้ามีเราสามารถคำนวณโดย ใช้ผลผลิตนั้นมาเป็นตัวแทน คิดเลขเพียงตัวเดียวก็ได้ แต่ถ้าไม่มีความแตกต่างกันที่ชัดเจน ประมาณว่าการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิต ใกล้เคียงกัน และหน่วยนับผลผลิตเหมือนกัน เช่นเป็นตันเหมือนกัน อาจจะจับรวมกันเป็นปริมาณเดียวแล้วคิดเลขก็ได้

ในกรณีที่ผลผลิตหลายอย่าง และหน่วยนับแตกต่างกัน ใช้พลังงานต่างกัน การจับมารวมกันจะทำให้ค่า SEC ผิดความหมายไป ให้คำนวณ SEC จากราคาผลผลิตรวมแทน โดยแทนที่จะใช้ปริมาณผลผลิต ก็ใช้ราคาต่อหน่วย ของแต่ละผลผลิต มาคิดหาราคาสินค้ารวมที่ขายในเดือนนั้น และนำราคารวมนี้มาคิดค่า SEC ราคาต่อหน่วยที่นำมาใช้คำนวณควรใช้ค่าเฉลี่ยกลาง ๆ และใช้ตัวเลขนี้คงที่ในทุกเดือน เพื่อไม่ให้ค่า SEC เบี่ยงเบนเนื่องจากราคาสินค้าในท้องตลาดในแต่ละเดือน

2. ปัจจัยของค่า SEC

เมื่อเรานำค่า SEC ในแต่ละเดือนมาเขียนกราฟ กับปริมาณผลผลิตของเดือนนั้นๆ จะได้กราฟลักษณะดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตในรอบ 12 เดือนของโรงงานแช่แข็งแห่งหนึ่ง

ค่า SEC นั้นจะลดลงเมื่อโรงงานผลิตมากขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่แปรผันตามปริมาณการผลิต และส่วนที่คงที่ไม่ขึ้นกับผลผลิต เช่น ส่วนของสำนักงาน เป็นต้น เมื่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานหารต่อหน่วยในส่วนนี้จะลด จึงทำให้ SEC รวมลดลง นั่นคือในโรงงานเดียวกัน ยิ่งผลิตมาก การใช้พลังงานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า SEC ในแต่ละเดือนก็คือปริมาณผลผลิต แต่จะเห็นว่าแม้ในบางเดือนผลผลิตใกล้เคียงกัน การใช้พลังงาน หรือ SEC ก็มีความแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความยากง่ายของชิ้นงานในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน วัตถุดิบที่นำเข้ามาคุณภาพต่างกัน หรือมีของเสียในเดือนนั้นมาก หรือจำนวนวันหยุดมาก ฯลฯ ถ้าเราสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ ค่า SEC ก็จะค่อนข้างสม่ำเสมอ และอยู่ในค่าที่ต้องการ

3. ประโยชน์ของค่าSEC

ถ้าเรามีการเก็บข้อมูลค่า SEC ในแต่ละเดือน ข้อมูลของเดือนใหม่ที่เข้ามาจะทำให้รู้ว่าเราใช้พลังงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือ แย่ลง และถ้าแย่ลง คือต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่เคยทำได้ ก็จะต้องอธิบายหรือหาสาเหตุมาให้ได้ว่าความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นเกิดจากอะไร

บริษัทขนาดใหญ่หลายแห่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริษัทญี่ปุ่น จะกำหนดให้แต่ละหน่วยผลิตย่อย , แผนก มีเครื่องวัดการใช้พลังงานของตัวเองได้ และคำนวณค่า SEC ของตัวเองเทียบกับชิ้นงาน หรือ OUTPUT ที่หน่วยงานนั้นทำได้ในแต่ละเดือน คือมีการเก็บข้อมูล SEC กันทุกระดับตั้งแต่ระดับแผนก จนถึง SEC รวมของบริษัท ทุกแผนกหน่วยงานจะต้องรายงานค่า SEC ของตัวเองอย่างสม่ำเสมอ ในเดือนที่ SEC ของบริษัทโด่งขึ้นมาก็จะดูรู้ว่าเกิดจากจุดไหน

สิ่งที่ต้องทำไปพร้อมๆ กับการติดตามเฝ้าระวังค่า SEC ก็คือการตั้งเป้าหมาย จากข้อมูลในอดีตจะมีทั้งเดือนที่การใช้พลังงานดี และบางเดือนที่ไม่ดี หลายบริษัทใช้วิธีแบ่งเป็นเดือนที่ใช้

พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย และพวกที่ใช้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ถ้าสนใจพวกที่ดีกว่าค่าเฉลี่ยแล้วหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มดีนี้ตั้งเป็นเป้าหมายของแต่ละหน่วยงานให้ปรับปรุงไปสู่ค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ดีกว่า ก็จะทำให้การใช้พลังงานของทั้งบริษัทปรับปรุงขึ้นด้วย

จากการรวบรวม และวิเคราะห์ค่า SECนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน บางโรงงานสามารถบรรลุเป้าการลดการใช้พลังงานต่อหน่วยลงได้ 3-5 % โดยไม่ต้องลงทุน เปลี่ยนอุปกรณ์ได้เลย ทั้งนี้เพราะการใช้พลังงานนั้นเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ประสิทธิภาพเครื่องจักรอุปกรณ์เอง และการใช้งาน และควบคุมโดยคน แม้ว่าจะปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพดีเลิศหรู แต่การใช้งานไม่ดี ขาดการดูแล ก็ทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำเช่นกัน

2.1.5 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์พลังงาน

ในการตรวจวิเคราะห์พลังงานต้องอาศัยข้อมูลของทางอาคารหรือโรงงานหลายอย่างดังนี้

1. ข้อมูลทางด้านปริมาณการใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย สำหรับปริมาณการใช้โดยรวมอาจหาได้จากใบแจ้งหนี้หรือใบเสร็จรับเงินค่าพลังงาน ซึ่งมีสิ่งที่ต้องทำความเข้าใจเพิ่มเติม ดังนี้

- ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ในรอบ 12 เดือนหรือมากกว่าที่ผ่านมา ใบแจ้งหนี้อาจไม่ได้ระบุวันอ่านมาตรที่ตรงกับวันสิ้นเดือนพอดี เช่น กรณีของค่าไฟฟ้า ดังนั้นจะต้องมีการเทียบส่วนเพื่อปรับให้การใช้ตรงกับวันสิ้นเดือนพอดี
- ถ้าไม่มีข้อมูลปริมาณการใช้จริง เช่น ไม้ฟืน อาจใช้ปริมาณการจัดหาเป็นเกณฑ์ซึ่งคงจะต้องมีการปรับตัวเลขตามปริมาณที่ตกค้างอยู่ในสต็อก ถ้าไม่สามารถกระทำได้ละเอียดจะส่งผลให้การวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนสูง
- ถ้าหากไม่มีข้อมูลที่เชื่อถือได้จะต้องใช้วิธีติดตั้งเครื่องมือวัดเฉพาะบริเวณที่ต้องการรู้ปริมาณการใช้
- หน่วยพลังงานที่ใช้ควรเป็นหน่วยทางกายภาพที่ซื้อขายกัน เช่น ตัน ลิตร ลูกบาศก์เมตร กิโลกรัม kWh เป็นต้น
- ใบเสร็จที่แสดงอัตรา ปริมาณและวิธีการคำนวณราคาพลังงานจะช่วยให้สามารถตรวจสอบเปรียบเทียบอัตราซื้อขายเพื่อหาลู่ทางที่จะให้ได้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด

ข้อมูลต่าง ๆ ข้างต้นรวมทั้งผลผลิตรายเดือนจะช่วยชี้ให้เห็นแนวโน้มปริมาณการใช้และค่าใช้จ่ายทั้งหมด ส่วนค่าผลผลิตรายเดือนจะช่วยให้สามารถคำนวณปริมาณการใช้ต่อหนึ่งหน่วยผลผลิตได้ ถ้าหากผลผลิตมีมากกว่าหนึ่งอย่างมูลค่าไม่เท่ากันอาจใช้มูลค่ารวมของผลผลิตแทนจำนวนผลผลิตในการคำนวณ

2. ข้อมูลเกี่ยวกับระบบพลังงาน ในการตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นและการวิเคราะห์ละเอียดจำเป็นต้องรู้ข้อมูลทางเทคนิคของระบบอุปกรณ์ที่ผลิตและใช้พลังงานซึ่งจำเป็นจะต้องมีการเตรียมการจัดหาไว้ ดังนี้

2.1 แผนผังของอาคารและระบบพลังงาน ประกอบด้วย ผังเนื้อที่แสดงตำแหน่งของอาคาร ชื่ออาคาร หน้าที่ ทิศทางและขนาดวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง บริเวณที่บุฉนวน จำนวนพื้นที่ใช้สอยและพื้นที่ปรับอากาศ สำหรับระบบพลังงานแสดงผังของท่อไอน้ำ น้ำร้อน น้ำเย็น ลมอัด ไฟฟ้า น้ำใช้ แต่ละผังควรแสดงแยกออกจากกัน นอกจากนี้ควรแสดงตำแหน่งของเครื่องผลิตพลังงานสวิตช์บอร์ดและมาตรวัดต่าง ๆ ตำแหน่งของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่สำคัญ ๆ เช่น หม้อไอน้ำ เครื่องอัดลม เครื่องปรับอากาศ หม้อแปลงไฟฟ้า เตาอบ เตาเผา เป็นต้น

2.2 ข้อมูลรายละเอียดของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่สำคัญ ๆ โดยที่แต่ละเครื่องแสดงชื่อ ชนิด พิกัด ตำแหน่ง ระยะเวลาการทำงานปกติ กำลังส่งออกหรืออัตราผลผลิตปกติ และอัตราการใช้พลังงานปกติ ซึ่งรวมถึงเครื่องปั่นไฟสำรอง คอมพิวเตอร์ ฯลฯ ทั้งหมดนี้อาจหาได้จากข้อมูลที่แผ่นป้ายเครื่อง หนังสือคู่มือ ประจำเครื่อง หรือสอบถามจากผู้คุมเครื่องหรืออ่านจากมาตรวัดประจำเครื่องแล้วแต่ความเหมาะสม

2.1.6 การตรวจวิเคราะห์การใช้ที่ผ่านมา

จะกล่าวถึงรายละเอียดและตัวอย่างการตรวจวิเคราะห์การใช้ที่ผ่านมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบชนิด ปริมาณ สัดส่วน ค่าใช้จ่ายของพลังงานที่ใช้แล้วเขียนกราฟดูแนวโน้มการใช้ในระยะที่ผ่านมาข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นฐานสำหรับการเทียบประเมินการใช้ในระยะต่อไปและจะแสดงถึงชนิดเชื้อเพลิงที่สมควรได้รับการพิจารณาให้ความสำคัญในการวิเคราะห์ตรวจสอบละเอียด ขั้นตอนดำเนินการมีดังนี้

1. ปริมาณและค่าใช้จ่าย หลังจากที่เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานชนิดต่าง ๆ เป็นรายเดือนย้อนหลังเป็นระยะเวลา 1 ปี หรือมากกว่าได้แล้ว ก็นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้และเดือน ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการแปลงค่าพลังงานซึ่งอยู่ในหน่วยกายภาพต่าง ๆ ให้อยู่บนพื้นฐานเดียวกันหรือหน่วยเดียวกัน ซึ่งสามารถกระทำได้โดยการใช้ตัวคูณที่เรียกว่าค่าความร้อนสูงของพลังงานแต่ละชนิดคูณปริมาณพลังงานชนิดนั้นแล้วนำมารวมกันได้ปริมาณการใช้รวมทั้งหมดในแต่ละเดือน หน่วยร่วมในที่นี้ได้ใช้เม็กกะจูล (MJ) ข้อมูลที่ได้อาจนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดกับแต่ละเดือนทั้งหมดนี้จะให้แนวโน้มการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

เพื่อตรวจสอบดูว่าการใช้มีลักษณะการแปรเปลี่ยนที่สมเหตุสมผลที่อธิบายได้หรือไม่ มีจุดอ่อนในการควบคุมหรือไม่ การใช้มีการแปรผันตามฤดูกาลอย่างไร หน่วยงานที่ใช้ไฟฟ้าในการ

ปรับอากาศมากจะแสดงแนวโน้มการใช้ที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงฤดูหนาว สำหรับหน่วยงานที่มีการควบคุมไม่ดีจะแสดงแนวโน้มที่ผิดสังเกต

ใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดเป้าหมายการประหยัดและการเปรียบเทียบผลกระทบของมาตรการประหยัดที่จะใช้ในระยะต่อไป

ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบกับหน่วยงานอื่นที่มีการดำเนินงานลักษณะเดียวกัน เช่น เป็นโรงพยาบาลเอกชนด้วยกัน เป็นต้น

เมื่อรู้ราคาซื้อต่อหน่วยสามารถคำนวณหาค่าพลังงานแต่ละชนิดในแต่ละเดือนรวมทั้งยอดรวมค่าใช้จ่ายได้ ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงได้เช่นเดียวกับค่าปริมาณการใช้พลังงาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการพิจารณาแนวโน้มของค่าพลังงานในระยะที่ผ่านมาและสำหรับการเปรียบเทียบในระยะต่อไปได้

2. ปริมาณการใช้ต่อหน่วยผลผลิต จากข้อมูลปริมาณผลผลิตที่รวบรวมได้ จำนวนผลผลิตแต่ละเดือนเมื่อนำมาหารค่าปริมาณการใช้ในแต่ละเดือนจะให้ค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงแนวโน้มได้เช่นกัน ข้อมูลนี้อาจนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อน แต่ในทางปฏิบัติอาจมีปัญหาคำนวณได้ยากเนื่องจากหน่วยงานมีผลผลิตหลายอย่างหรือคนละลักษณะกัน เช่น โรงพยาบาลมีผลผลิต 2 ประเภท คือ คนไข้ในกับคนไข้นอก ปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยใช้มูลค่าเงินค่าบริการที่รับเข้าทั้งหมดเป็นผลผลิต แต่บางโรงพยาบาลจะไม่ให้ตัวเลขนี้ นอกจากนี้อาจมีปัญหาเกี่ยวกับตัวเลขปริมาณการใช้พลังงานซึ่งอาจครอบคลุมกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตของหน่วยนั้น เช่น พลังงานที่ใช้ในที่พักคนงาน พนักงานของโรงพยาบาล การใช้พลังงานในร้านค้าต่าง ๆ ของโรงแรมเป็นต้น ซึ่งในการพิจารณาเปรียบเทียบควรที่จะนำข้อมูลเหล่านี้มาพิจารณาด้วย

3. สัดส่วนของพลังงานแต่ละชนิดและค่าใช้จ่าย สำหรับข้อมูลการใช้พลังงานในปีที่ผ่านมาอาจนำมาเขียนแผนภูมิรูปวงกลม เพื่อหาสัดส่วนร้อยละของเชื้อเพลิงที่ใช้แต่ละอย่างและการกระทำอย่างเดียวกันกับค่าใช้จ่ายแผนภูมิที่ได้ 2 แผนภูมิจะแตกต่างกันซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงราคาพลังงานที่แตกต่างกัน ข้อมูลที่ได้จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของเชื้อเพลิงแต่ละอย่าง ซึ่งผู้ตรวจวิเคราะห์สมควรที่จะให้ความสนใจกับชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้มากและเสียค่าใช้จ่ายมากเป็นสำคัญ

4. การปรับเปลี่ยนวิธีการจัดซื้อ จากข้อมูลปริมาณการใช้ต่อปี ค่าใช้จ่ายการแปรปรวนกับฤดูกาลและราคาเฉลี่ยจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์เบื้องต้นถึงทางเลือกอื่นในการจัดซื้อ เช่น ไฟฟ้าอาจเลือกอัตรา TOU แทน หรือการซื้อเชื้อเพลิงแข็งอาจจัดซื้อเป็นบาทต่อปริมาณพลังงานที่เป็นประโยชน์แทนการซื้อวิธีเดิมที่เป็นบาทต่อน้ำหนักเชื้อเพลิง เป็นต้น

2.1.7 การสำรวจขั้นต้น

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสำรวจขั้นต้นเพื่อตรวจดูโอกาสในการประหยัดในสิ่งที่เห็นได้ชัดเจน ตรวจดูความเป็นไปได้ในการประหยัดในแต่ละบริเวณที่มีการใช้พลังงานและจัดลำดับความสำคัญของการใช้ทรัพยากร เพื่อเตรียมการสำหรับการจัดทำกระบวนการติดตามผลและรายงาน และเพื่อตรวจดูรูปแบบโหลดการใช้พลังงานซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลสำหรับวิธีการจัดหาพลังงานต่อไป

การตรวจวิเคราะห์ในขั้นนี้อาจทำได้ง่ายในอาคารขนาดเล็ก ซึ่งใช้เชื้อเพลิงน้อยชนิด และมีปริมาณไม่มาก หรืออาจยุ่งยากสลับซับซ้อนมากในอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งมีอุปกรณ์ และระบบเป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม หลักการที่ใช้จะเหมือนกัน ขั้นตอนที่สำคัญ ๆ มีดังนี้

1. จัดทำผังอาคารที่สะท้อนความเป็นจริงมากที่สุด วิธีที่สะดวกในการจัดทำผังเหล่านี้อาจเริ่มต้นด้วยการจัดทำผังอาคารที่แสดงขนาดทิศทางและตำแหน่งของอุปกรณ์ใช้พลังงานที่สำคัญ ๆ เช่น ระบบไอน้ำ ปรับอากาศ ลิฟต์ ปั๊ม เป็นต้น หลังจากนั้นทำผังการเดินท่อลมเย็น น้ำเย็น น้ำร้อน น้ำใช้ที่สำคัญ ๆ เช่นเดียวกับระบบไฟฟ้า ผังการจ่ายไฟ อุปกรณ์ใช้ไฟ และมาตรวัดต่าง ๆ ที่มีอยู่

2. การสำรวจขั้นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาแหล่งการสูญเสียพลังงานที่เห็นได้ชัดเจน เช่น ข้อบกพร่องในการใช้อุปกรณ์ ซึ่งอาจจะเป็นการคอยล์ร้อนที่ติดกันเกินไป การใช้ระบบปรับอากาศกลางในช่วงเวลาที่มีผู้ทำงานอยู่น้อย การใช้ท่อน้ำร้อนหรือท่อไอน้ำเปลือยหรือการใช้ไอน้ำกับอุปกรณ์โดยไม่มีกับดัก เป็นต้น บางครั้งข้อบกพร่องอาจเกิดจากการใช้เทคนิคการทำงานไม่ดีหรือไม่เอาใจใส่ เช่น ปล่อยให้เครื่องถ่ายเอกสารเปิดอยู่ตลอดเวลาแม้บางช่วงจะไม่ได้ใช้งาน บางอย่างอาจเกิดจากขึ้นตอนการดำเนินงานไม่มีประสิทธิภาพ เช่น การที่พนักงานทำความสะอาดเปิดไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศทุกครั้งที่เข้าทำความสะอาดห้อง เป็นต้น

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นจริงมากที่สุด ผู้สำรวจอาจหยุดการเดินสำรวจเป็นระยะเพื่อตรวจดูอุปกรณ์ระบบที่สำคัญ ๆ หรือการทำงานของมัน เช่น หม้อไอน้ำ ระบบน้ำร้อน ไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น และอาจใช้แบบสอบถามให้ผู้คุมเครื่องเติมข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องหรืออาจใช้แบบตรวจสอบประกอบการตรวจสอบจะช่วยให้สามารถปฏิบัติงานได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังอาจเป็นประโยชน์ที่จะตรวจสอบในช่วงนอกเวลาทำการ เพื่อตรวจดูว่ามีการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็นบ้างหรือไม่ ขณะสำรวจไม่ควรจะเน้นที่การปรับปรุงของเดิมแต่อย่างเดียวควรหาทางเลือกใหม่ที่ใช้พลังงานน้อยกว่าในการปฏิบัติงานอย่างเดียวกันควบคู่ไปด้วย

3. ปรับปรุงวิธีการบันทึกและรายงาน ในการจัดการพลังงานจำเป็นต้องมีการตรวจวัดการไหลของพลังงานและปริมาณที่สูญเสียซึ่งต้องใช้มาตรวัด แต่ในสถานประกอบการส่วนใหญ่ไม่ค่อยจะได้ติดตั้งสิ่งเหล่านี้ บ่อยครั้งที่พบว่ามีเพียงมาตรวัดทางไฟฟ้าที่แผงควบคุมใหญ่เท่านั้น ในกรณีเช่นนี้จำเป็นต้องมีการติดตั้งมาตรวัดเพิ่มเติมอาจชั่วคราวหรือถาวร เพื่อวัดการใช้พลังงานในบริเวณย่อย ๆ เป็นส่วน ๆ หรือในอุปกรณ์บางอย่าง ด้วยเหตุนี้จึงสมควรตรวจสอบดูว่า หน่วยงานมีมาตรวัดเพียงพอหรือไม่ น่าเชื่อถือ เพื่อตรวจดูจุดอ่อนข้อบกพร่องในระบบการวัด

การตรวจสอบวิธีการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวัด การบันทึกและการนำไปใช้ข้อมูลที่บันทึกไว้บางอย่างจำเป็น ข้อมูลถูกจัดเตรียมในรูปแบบที่ใช้งานได้และถูกส่งต่อไปยังบุคคลที่เหมาะสม ในการรวบรวมข้อมูลที่อ่านจากมาตรวัดควรจะแน่ใจว่ามีความถูกต้องแม่นยำใช้ได้ หลังจากนั้นแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของหน่วยพลังงานที่เข้าใจง่ายแล้วแปลงค่าที่ได้ต่าง ๆ ให้มีหน่วยเหมือนกัน เช่น MJ, GJ เพื่อหาว่าไฟฟ้า น้ำมัน และอื่น ๆ จะได้รวมกันได้บนฐานเดียวกัน ปริมาณการใช้ที่วัดได้จริงควรเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานทั้งนี้อาจใช้ค่าปริมาณการใช้มาตรฐาน (อาจเป็นค่าตอนที่เครื่องยังใหม่ หรือค่าจากโรงงานแห่งอื่น ๆ ที่จัดว่ามีการจัดการพลังงานที่ดี) หรือค่าปริมาณการใช้ต่อหน่วยผลผลิต เมื่อใช้ค่าแรกจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนเงินที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้ค่าหลังจะให้ความแตกต่างระหว่าง ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย

4. การรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานอย่างละเอียด ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบดูว่ามีการใช้พลังงานใดบ้าง ในการนี้อาจสร้างตารางสำหรับแต่ละชนิดเชื้อเพลิงว่านำไปใช้ในอุปกรณ์และกิจกรรมใดบ้าง เป็นปริมาณเท่าไร การดำเนินงานอาจมีอุปสรรคเนื่องจากมีข้อมูลไม่เพียงพอ ปัญหานี้อาจแก้ได้โดยประมาณค่าจากพิกัดเครื่อง จำนวนชั่วโมงการทำงานและตัวประกอบการใช้ (Utilization factor) หรืออาจติดตั้งระบบตรวจวัดเพิ่มเติม ประการนี้จะต้องแน่ใจว่าติดตั้งแล้วจะต้องได้ผลคุ้มค่า วิธีการอีกอย่างหนึ่ง คือการวัดค่าโหลดในช่วงต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยชี้ให้เห็นช่องทางสำหรับการประหยัดโดยวิธีควบคุมโหลดด้วย

ผลที่ได้สามารถนำมาเขียนแผนภูมิวงกลม แสดงสัดส่วนการใช้พลังงาน ในแต่ละอุปกรณ์/กลุ่มอุปกรณ์ หรือกระบวนการสำหรับเชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง ๆ ได้ ซึ่งอาจนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการกำหนดลำดับความสำคัญในการวิเคราะห์ตรวจสอบละเอียดต่อไป ตามปกติจะให้ความสำคัญแก่ชนิดเชื้อเพลิงและอุปกรณ์ ที่ใช้พลังงานมากเป็นอันดับแรกและต่อ ๆ ไป

พึงตระหนักว่าการตรวจวิเคราะห์พลังงานนั้นมุ่งเน้นที่การหาช่องทางประหยัดที่สามารถดำเนินการแล้วคุ้มกับค่าใช้จ่าย ดังนั้นอย่ากระทำละเอียดมากเกินไปโดยไม่คุ้มกับผลการประหยัดที่ได้

5. การรายงานแผนปฏิบัติการต่อผู้บริหาร การจัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อขอความเห็นชอบจากผู้บริหารเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องกระทำ ทั้งนี้เพื่อให้ผู้บริหารเข้ามามีส่วนร่วมทั้งในหลักการและการดำเนินงาน รายงานที่เสนอควรประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- การประหยัดที่สามารถกระทำได้ทันที
- บริเวณหรืออุปกรณ์ที่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ตรวจสอบละเอียดเพื่อหาปริมาณการประหยัด
- จุดบกพร่องในการรวบรวมข้อมูลและการรายงานตลอดจนการควบคุมค่าใช้จ่ายทางด้านพลังงาน
- ประมาณค่าใช้จ่ายที่จะเสียไป สำหรับการไม่ทำอะไรเลย ประการนี้ควรจะพิจารณาบนฐานของราคาเชื้อเพลิงที่จะสูงขึ้นและการคาดคะเนปริมาณการใช้ในปีต่อ ๆ ไป
- แผนปฏิบัติการควรให้รายละเอียดบริเวณที่สำคัญ ๆ ที่สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้โดยยึดเอาผลที่ได้จากการสำรวจขั้นต้นเป็นเกณฑ์และควรเรียงลำดับวิธีการที่จำเป็นในการลดค่าใช้จ่ายลง
- ให้วิธีการทางเลือกที่ดีที่สุดในการปรับปรุงประสิทธิภาพ ทั้งนี้โดยการพิจารณาทางเลือกอื่น ๆ ประกอบและข้อเสนอคงจะต้องเป็นไปตามเหตุและผล เช่น ก่อนที่จะพิจารณานำความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์ควรจะหาทางลดหรือขจัดมันเสียก่อน ทั้งนี้อาจโดยการปรับปรุงกระบวนการที่เกี่ยวข้อง
- รายงานที่ต้องการให้ปฏิบัติควรจัดลำดับความสำคัญตามวงเงินค่าใช้จ่าย ระยะเวลาดำเนินงาน ระยะเวลาคืนทุนหรืออัตราผลตอบแทนของแต่ละโครงการประหยัดและปัจจัยอื่น ๆ

6. การตรวจวิเคราะห์ละเอียด (Detailed Audit) การดำเนินงานในขั้นตอนนี้จะเป็นการสำรวจศึกษาละเอียดในระบบอุปกรณ์ที่กำหนดไว้ตอนทำการสำรวจขั้นตอนว่าจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสมรรถนะ ประสิทธิภาพและการสูญเสียพลังงานด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ได้เกณฑ์มาตรฐานและเป้าหมายสำหรับการใช้พลังงานในระบบอุปกรณ์ดังกล่าว วิธีการดำเนินงานจะประกอบด้วยการตรวจวัดและวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยอาจต้องใช้วิธีการทำสมดุลพลังงานของระบบหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องแล้วหาทางแก้ไขปรับปรุง ถ้าหากสมรรถนะหรือผลที่ได้แสดงถึงโอกาสหรือลู่ทางในการดำเนินการปรับปรุง โดยทั่วไปอาจจำแนกลักษณะของการปรับปรุงเป็น 3 ลักษณะ ตามความยากง่ายและค่าใช้จ่ายในการลงทุน มาตรการปรับปรุงบางอย่างเสียค่าใช้จ่ายน้อยและคืนทุนเร็ว เช่น การหุ้มฉนวนปิดฝาถังน้ำร้อน การติดตั้งสวิทช์เซ็นเซอร์ ในการควบคุมการปิด-เปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นต้น มาตรการบางอย่างต้องใช้เงินมากขึ้นและคืนทุนนานขึ้น เช่น การ

เปลี่ยนวิธีการวิธีการจ่ายไอน้ำให้แก่ กระบวนการผลิตยาสูบแทนที่จะลดความดันไอน้ำจากหม้อไอน้ำเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการสำหรับการใช้งานอาจนำเอาคอนเดนเสตความดันสูงจากอุปกรณ์ใช้ไอน้ำอีกเครื่องหนึ่งมาผลิตไอน้ำความดันต่ำในถังแฟลชเพื่อใช้ในกระบวนการข้างต้น สำหรับมาตรการปรับปรุงที่ใช้เงินลงทุนสูงมักจะคืนทุนนาน เช่น การพิจารณาใช้ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมแทนการซื้อไฟฟ้า และผลิตไอน้ำเอง เป็นต้น

วิธีการประหยัดที่เป็นผลจากการตรวจวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขดังที่กล่าวมาแล้วจะต้องนำมาวิเคราะห์เงินลงทุน ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอนแทน เพื่อดูระยะเวลาคุ้มทุนหรืออัตราของผลตอบแทนที่ได้ แล้วเทียบกับเกณฑ์ของบริษัทเพื่อการตัดสินใจดำเนินการต่อไป

2.1.8 การจัดการด้านพลังงาน

ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานมี 2 ส่วน คือ “สมรรถนะของอุปกรณ์” (ของ) และ “วิธีการใช้งาน” (คน)ซึ่งทั้งสองส่วนมีความสำคัญเท่าๆ กัน เพราะอุปกรณ์ที่มีสมรรถนะดีเยี่ยม แต่ใช้งานไม่ถูกต้อง ขาดการบำรุงรักษาสมรรถนะก็จะลดลง หรือมีการดูแลที่ดีแต่อุปกรณ์สมรรถนะต่ำก็ช่วยได้ระดับหนึ่งเท่านั้น แต่เมื่อพูดถึงการอนุรักษ์พลังงานคนทั่วไปมักจะให้ความสำคัญกับส่วนแรกที่เป็นการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่มีอยู่มากกว่าส่วนที่ 2 ที่เป็นการใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพสูงซึ่งไม่ถูกต้อง เนื่องจากการจัดการการใช้งานเพื่อให้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีอยู่ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพมากที่สุดมักจะทำได้ง่ายและไม่ใช้หรือใช้เงินลงทุนน้อย จึงควรดำเนินการเป็นอันดับแรก โดยในที่นี้จะกล่าวถึงการจัดการการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพที่ประกอบด้วยอะไรบ้าง และการประเมินว่าองค์กรควรมีการจัดการการใช้พลังงานได้ดีในระดับใด

แนวความคิดเกี่ยวกับระบบการจัดการด้านพลังงาน (EMS: Energy Management System) สามารถนำไปใช้ได้ในทุกกิจการเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้ของหน่วยงาน

ไม่มีกิจการใดที่เล็กเกินไปสำหรับการคำนึงถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการจัดการด้านพลังงานไม่เพียงพัฒนาขึ้นมาเพื่อองค์กรขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานมากเท่านั้น ทุกบริษัท ทุกหน่วยงาน และทุกประเภทอุตสาหกรรมสามารถประหยัดพลังงานและประหยัดเงินได้ โดยการบริหารจัดการด้านการใช้พลังงาน เช่นเดียวกับ การบริหารจัดการงานด้านอื่น ๆ โดยความซับซ้อนของระบบการจัดการด้านพลังงานขึ้นอยู่กับขนาดของบริษัท ปริมาณการใช้พลังงานและความพยายามในการประหยัดพลังงาน

อุตสาหกรรมของไทยหลายแห่งได้รวมระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (ISO 14000) และระบบประกันและควบคุมคุณภาพ (ISO 9000) ไว้ในการบริหารการจัดการ แนวความคิดด้านการจัดการพลังงานนั้นได้พัฒนามาจากโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับระบบการบริหารการจัดการที่รู้จักคุ้นเคย

กันดีอยู่แล้ว ดังนั้นบริษัทที่มีการรับรองด้านสิ่งแวดล้อมหรือด้านการจัดการคุณภาพก็จะสามารถนำเอาระบบการจัดการด้านพลังงานนี้ไปใช้ให้เกิดผลได้ทันที ส่วนบริษัทที่ยังไม่มีระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมหรือระบบการควบคุมคุณภาพก็สามารถนำระบบการจัดการด้านพลังงานไปพัฒนาใช้ได้

จุดมุ่งหมายโดยรวมของระบบการจัดการด้านพลังงาน ก็คือ การมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิทำได้โดยการมุ่งไปที่งานหรือกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานมาก จากนั้นจึงจัดทำมาตรการประหยัดพลังงาน หากผู้บริหารและผู้ปฏิบัติการภายในบริษัทมีความเข้าใจในเรื่องการใช้พลังงานอย่างดีแล้วการใช้พลังงานก็สามารถประหยัดได้ อุปสรรคเพียงประการเดียว คือ การที่พนักงานไม่ใส่ใจในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง อาจเนื่องจากขาดการสนับสนุนจากผู้บริหารก็จะทำให้การใช้พลังงานกลับคืนสู่ “สภาพปกติ”

การจัดการด้านพลังงานนั้นจะเน้นถึงการจัดการด้านองค์กรมากกว่าทางด้านเทคนิค การจัดการด้านพลังงานได้กล่าวรวมถึงการจัดการองค์กรไว้แล้ว เช่น การบริหารจัดการบริษัท การฝึกอบรม และ การสร้างแรงจูงใจ ฯลฯ ระบบการจัดการด้านพลังงานที่ดีเป็นส่วนหนึ่งของการบริหารภายในองค์กรเพื่อก่อให้เกิดจิตสำนึกด้านพลังงานขณะปฏิบัติงาน หลายบริษัทสามารถดำเนินการเกี่ยวกับระบบการจัดการด้านพลังงานนี้ได้โดยบุคลากรภายในบริษัทเองหรือจากการสนับสนุนแนะนำโดยที่ปรึกษา

ความหมายของการจัดการพลังงาน

การจัดการด้านพลังงานสามารถนิยามได้ว่า :

“เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการของบริษัทที่เน้นการควบคุมการใช้พลังงานเพื่อให้แน่ใจว่าพลังงานถูกใช้ไปอย่างมีประสิทธิภาพ”

จะเห็นว่าระบบการจัดการด้านพลังงานให้ความหมายที่ตรงกันข้ามกับการตรวจสอบพลังงานที่มุ่งไปยังลักษณะทางเทคนิค ด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์ ระบบการจัดการด้านพลังงานจะรวมเอาการจัดการด้านเทคโนโลยีและการบริหารการจัดการเข้าไว้ด้วยกัน

การจัดการด้านพลังงานจะให้ผลดี ดังนี้

- การประหยัดพลังงานจะเพิ่มผลกำไรโดยตรงตั้งแต่สายการผลิตระดับต้น ขั้นตอนปฏิบัติงานพื้นฐาน
- ผลผลิตที่ได้เป็นผลผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งมีผลดีทางด้านการตลาดอีกทางหนึ่ง

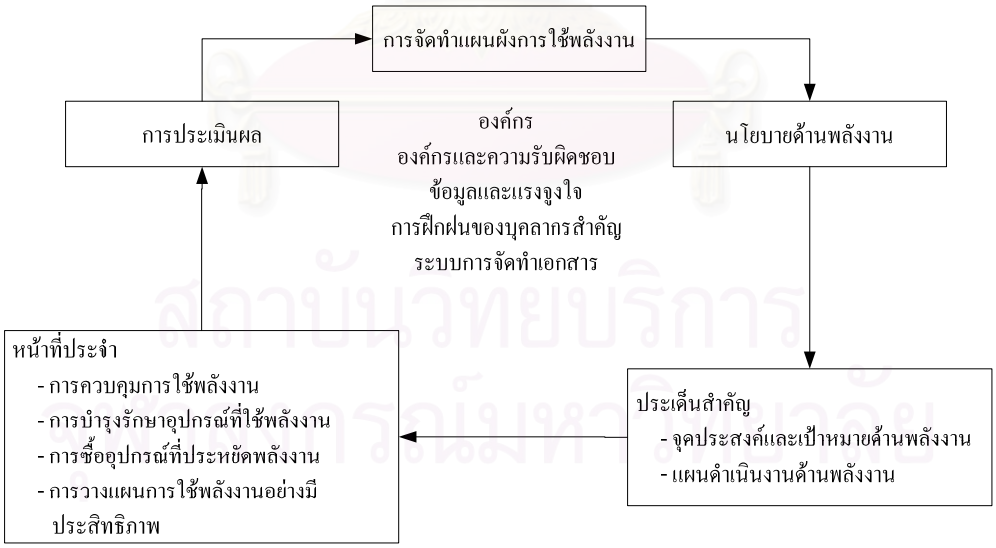
- เป็นการสนับสนุนสภาพแวดล้อมที่ดีขึ้น

โดยมีแนวทางเบื้องต้นมีดังนี้

- การลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น (Good Housekeeping) เช่น การหยุดเครื่องจักรที่ไม่ใช้งาน การตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสม ฯลฯ
- การลดความสูญเสีย (Losses) เช่น การลดของเสีย การลดอากาศรั่วไหล ฯลฯ
- การนำความร้อนสูญเสียกลับมาใช้
- การจัดการการใช้งานอุปกรณ์ให้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด เช่น การลดการเดินเครื่องจักรที่ไม่มีภาระ การใช้งานเครื่องจักรชุดที่มีประสิทธิภาพสูง
- การบำรุงรักษาที่ดี

กระบวนการจัดการด้านพลังงาน

การจัดการด้านพลังงานเป็นขบวนการต่อเนื่องซึ่งมีการดำเนินงานการจัดการด้านพลังงานของระบบต่าง ๆ ร่วมกัน สิ่งสำคัญก็คือ กระบวนการจัดการด้านพลังงานไม่มีวันสิ้นสุดเพราะมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต เครื่องจักรกล และองค์กรที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมต่าง ๆ สามารถแสดงให้เห็นได้เป็นวงจรการจัดการด้านพลังงาน (Energy Management Circle) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.2 วัฏจักรการจัดการด้านพลังงาน

หัวใจสำคัญพื้นฐานของการจัดการด้านพลังงาน คือ ผู้บริหารระดับสูงของหน่วยงานจำเป็นต้องเข้ามามีส่วนร่วมในระบบการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้บริหารต้องมีส่วนร่วมในระบบการจัดการด้านพลังงานในการกำหนดเป้าหมายและการรักษาระบบให้ยั่งยืน ระบบการ

จัดการด้านพลังงานได้ให้แนวทางซึ่งกำหนดหน้าที่ต่าง ๆ ในระบบ แต่อาจแตกต่างกันไปตามแต่ละประเภทของธุรกิจ ซึ่งควรได้รับการปรับให้เหมาะสมกับโครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของแต่บริษัท

ผู้บริหารของบริษัทมีหน้าที่รับผิดชอบระบบการจัดการด้านพลังงาน ส่วนขั้นตอนการปฏิบัติงานประจำวันนั้นผู้จัดการด้านพลังงานจะเป็นผู้ดูแลและรับผิดชอบให้ระบบการจัดการด้านพลังงานสัมฤทธิ์ผลตามที่ตั้งใจไว้และรายงานผลต่อผู้บริหารต่อไป

บุคคลอื่น ๆ นอกเหนือไปจากผู้จัดการด้านพลังงานจะช่วยกันรับผิดชอบต่องานบางส่วนในระบบ ตัวอย่างเช่น หัวหน้าของแผนกซ่อมบำรุงมีหน้าที่รับผิดชอบในการควบคุมดูแลอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในแต่ละขั้นตอนของการจัดการด้านพลังงานจะมีรายละเอียดในการปฏิบัติการที่แตกต่างกันโดยมีการระบุถึงวัตถุประสงค์ของการปฏิบัติ วิธีการปฏิบัติมีอะไรบ้าง การปฏิบัติทำอย่างไรและใครเป็นผู้รับผิดชอบทุกขั้นตอน วิธีการดำเนินงานควรได้รับการเห็นชอบจากผู้บริหารและบุคคลผู้ปฏิบัติงานนั้น บริษัทสามารถเริ่มระบบการจัดการด้านพลังงานได้ด้วยการเริ่มจากงานเพียง 2-3 กิจกรรมก่อนเพื่อเป็นการเพิ่มประสบการณ์ เมื่องานนั้นได้รับการปฏิบัติจนเคยชินและเป็นส่วนหนึ่งขององค์กรแล้วจึงค่อยขยายผลไปยังกิจกรรมอื่น ๆ ในบริษัทธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมอาจไม่ต้องดำเนินการในบางกิจกรรมก็ได้เนื่องจากองค์กรมีขนาดขนาดเล็กจึงควรเลือกกิจกรรมตามความเหมาะสมกับขนาดของบริษัทมาดำเนินการ

ในบริษัทส่วนใหญ่สามารถประหยัดพลังงานได้จากการปลูกฝังจิตสำนึกและสร้างพฤติกรรมในการอนุรักษ์พลังงานให้แก่พนักงาน แนวทางอื่นที่ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานได้แก่ การซื้ออุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงมาทดแทนอุปกรณ์เก่าที่หมดอายุการใช้งาน (เช่น โคมไฟ บัลลาสต์ เครื่องสูบน้ำ มอเตอร์ เครื่องปรับอากาศ ฯลฯ) อีกทางเลือกคือ การตรวจสอบการดำเนินงานเพื่อเพิ่มศักยภาพในการปรับปรุงและการประเมินความเป็นไปได้ของการประหยัดพลังงาน ขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบการจัดการด้านพลังงานนั้นสามารถอธิบายได้ง่าย ๆ ดังต่อไปนี้

1. การเริ่มจัดทำแผนผังการใช้พลังงาน

สิ่งที่บริษัทควรเริ่มต้นปฏิบัติเป็นอันดับแรกคือ การจัดทำแผนผังการใช้พลังงาน (Energy Map) ซึ่งเป็นพื้นฐานของระบบการจัดการด้านพลังงานที่จะแสดงถึงกิจกรรมที่มีการใช้พลังงานหลัก ๆ ของบริษัท โดยแผนผังควรแสดงภาพรวมของ

- การใช้พลังงานในอดีตและปัจจุบัน
- แผนงานและกิจกรรมส่งเสริมการประหยัดพลังงาน

- ความรู้ ความรับผิดชอบ ความสามารถในการดูแลการใช้พลังงานและมาตรการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

การจัดทำแผนผังการใช้พลังงานนี้เป็นพื้นฐานในการสร้างระบบการจัดการด้านพลังงานที่เหมาะสม ดังนั้นในแผนผังควรได้มีการระบุถึงอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานเป็นปริมาณมากด้วย ส่วนอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในปริมาณน้อยก็สามารถมองข้ามไปได้ (เช่น เครื่องใช้สำนักงาน เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก พัดลมระบายอากาศ ฯลฯ) การจัดทำแผนผังการใช้พลังงานจะพิจารณาอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานในปริมาณที่มากก่อน โดยทางผู้ทำควรจะพิจารณาว่ากระบวนการใดและอุปกรณ์ใดควรระบุไว้ในแผนผังการใช้พลังงาน เพื่อให้สามารถเห็นภาพการใช้พลังงานได้

ข้อแนะนำสำหรับการจัดทำแผนผังการใช้พลังงาน

- **ทำแผนผังการใช้พลังงาน**

แผนผังการใช้พลังงานต้องสามารถทำให้มองเห็นภาพรวมของการใช้พลังงาน ควรมีการแยกประเภทของพลังงาน (น้ำมัน แก๊ส ไฟฟ้า) และแบ่งประเภทการใช้ออกตามประเภทของอุปกรณ์ เช่น เครื่องทำให้แห้ง (drying) เครื่องทำความร้อน เครื่องสูบน้ำ เครื่องทำความเย็น สิ่งสำคัญที่ควรเน้นในการทำแผนผังการใช้พลังงาน คือ รายละเอียดที่แสดงให้เห็นภาพรวมของการใช้พลังงาน ส่วนรายละเอียดปลีกย่อยที่มีอาจยังไม่ต้องระบุ หากเป็นไปได้ควรนำเอาข้อมูลจากบันทึกการใช้พลังงานครั้งล่าสุด เช่น ภายในระยะเวลา 3 ปี มาเปรียบเทียบให้เห็นแนวโน้มในการใช้พลังงาน หน่วยวัดสำหรับการใช้พลังงานทุกประเภทต้องใช้หน่วยวัดเดียวกัน เช่น MWh เพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบการใช้พลังงานได้

- **การวางแผน และการส่งเสริมการประหยัดพลังงาน**

ควรมีการวางแผนเพื่อกำหนดแผนงานและแนวทางการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีการตรวจวัดระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันก่อนเริ่มดำเนินมาตรการด้วย

- **การแต่งตั้งตัวบุคลากร**

ควรแต่งตั้งผู้มีความรู้ ความรับผิดชอบและความสามารถในการดูแลการใช้พลังงานและมาตรการอนุรักษ์พลังงานในบริษัท บุคคลเหล่านี้รวมไปถึงบุคคลที่มีความเกี่ยวข้องทางอ้อมในการใช้พลังงานด้วย เช่น วิศวกรที่ปฏิบัติงานดูแลกระบวนการผลิตและบุคคลในแผนกจัดซื้อ

แผนผังการใช้พลังงานควรได้รับการตรวจสอบและปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอ เช่น มีการตรวจสอบในทุกปี

2. นโยบายด้านพลังงาน (Energy Policy)

การกำหนดนโยบายด้านพลังงาน (Energy Policy) เพื่อให้การอนุรักษ์พลังงานในองค์กรมีความยั่งยืนไม่ขึ้นกับตัวบุคคล พนักงานทุกคนให้ความสำคัญ ผู้บริหารระดับสูงต้องประกาศเป็นนโยบายให้ทราบโดยทั่วกันว่าบริษัทให้ความสำคัญและสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้เกิดการยอมรับและปรับความเข้าใจให้ตรงกันของพนักงานบริษัท ซึ่งมีความสำคัญมากในการแสดงให้เห็นถึงความมุ่งมั่นของบริษัทที่มีต่อการอนุรักษ์พลังงาน พร้อมทั้งระบุเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนจะช่วยให้การทำงานง่ายขึ้นและโอกาสที่จะประสบผลสำเร็จมีมากขึ้น

นโยบายด้านพลังงานควรจะกล่าวถึง

- พันธกิจขององค์กรในการสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงาน
- ความสัมพันธ์ของงานในองค์กรและการใช้พลังงาน
- ได้มีการรวมการวางแผนงานให้อยู่ในระบบการจัดการด้านพลังงาน

นโยบายด้านพลังงานควรมีเป้าหมาย เช่น

- ส่งเสริมการไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม
- เพิ่มการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง
- มุ่งเป้าหมายไปที่สายการผลิตที่มีการใช้พลังงาน

3. จุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงาน

จุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงาน คือ การที่บริษัทกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่ต้องการให้เกิดการบรรลุผล จุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงานควรเป็นสิ่งท้าทายสามารถทำได้ กระตุ้นและจูงใจให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องและสนับสนุนงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน ในอีกแง่มุมหนึ่งจุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงานยังเป็นเหมือนผลสำเร็จของงานด้านการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

ในแผนผังการใช้พลังงานควรได้มีการระบุกิจกรรมหรืองานที่มีการใช้พลังงานหลัก ๆ ขึ้นเพื่อให้มีการมุ่งเน้นไปที่อุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานปริมาณมากเป็นอันดับแรก

จุดประสงค์ด้านพลังงานจะกล่าวถึงวิธีการการดำเนินงานด้านการประหยัดพลังงานว่าควรทำอย่างไรจึงจะบรรลุผล การประหยัดพลังงาน ตามนโยบายด้านพลังงานในระยะยาวควรมีการระบุให้ชัดเจนถึงขอบเขตของงานว่างานใด (ขบวนการดำเนินงาน สายงานการผลิต และอื่น ๆ) ที่เป็นกิจกรรมหรืองานที่ใช้พลังงานเป็นปริมาณมาก ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักในการประหยัดพลังงานและยังไม่ควรใส่ใจกับกิจกรรมหรืองานที่มีการใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย

เป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานควรมุ่งไปที่องค์ประกอบสำคัญของขบวนการ สายงานการผลิต หรืออุปกรณ์ นอกจากนั้นควรมีการอบรมพนักงาน การให้ความรู้ในด้านการตรวจสอบพลังงานและในงานด้านอื่น ๆ และควรมีการระบุถึงเป้าหมายในการลดการใช้พลังงาน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลผลิตจริง เช่น ลดการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตเพื่อให้สามารถวัดเป้าหมายได้

เป้าหมายด้านพลังงานสามารถกำหนดได้ในระยะเวลาอันสั้นเพียงปีเดียวหรือในระยะยาว เช่น ภายใน 3 ปีข้างหน้า โดยเป้าหมายด้านพลังงานควรเป็นรูปธรรมสามารถปฏิบัติได้และตรวจสอบได้ ตามที่กำหนดไว้

บริษัทควรพิจารณาเป้าหมายด้านพลังงาน เช่น

- โครงการประหยัดพลังงานในขอบเขตที่ได้ระบุไว้
- การให้ความรู้ การกระตุ้นและจูงใจพนักงาน
- มีความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับการควบคุมพลังงาน

เป้าหมายด้านพลังงานควรสัมพันธ์กับนโยบายพลังงาน จุดมุ่งหมายด้านพลังงานและการใช้พลังงานที่คาดหวังไว้ (เวลา ทรัพย์สินและพนักงานที่เกี่ยวข้อง)

4. แผนการปฏิบัติด้านพลังงาน

บริษัทควรวางแผนและดำเนินการตามแผนการปฏิบัติด้านพลังงาน ซึ่งกล่าวถึงเป้าหมายและวิธีการดำเนินงานทางด้านพลังงานที่แตกต่างกัน เช่น วิธีการ ความรับผิดชอบ ทรัพยากร และตารางเวลา แผนการปฏิบัติด้านพลังงาน คือเอกสารที่อธิบาย (อย่างคร่าว ๆ) ถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานให้บรรลุผลและการแต่งตั้งผู้ปฏิบัติงาน เป้าหมายด้านพลังงานควรมีการวางแผนการปฏิบัติการไว้เพื่อให้งานบรรลุผลได้ตามเป้าหมาย ซึ่งควรมีการเชื่อมโยงกันอย่างเหมาะสมระหว่างแผนการปฏิบัติด้านพลังงาน นโยบายด้านพลังงาน จุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงาน

แผนการปฏิบัติด้านพลังงาน ควรกล่าวครอบคลุมถึง

- ความสามารถและความรับผิดชอบ
- การกำหนดกลยุทธ์การปฏิบัติ
- การให้ความรู้สำหรับการส่งเสริม (การอธิบายโครงการ การอธิบายตัวงาน และอื่น ๆ)
- ตารางเวลา
- การตรวจสอบการประหยัดพลังงาน

หากโครงการที่วางแผนไว้มีการส่งเสริมอย่างต่อเนื่องไปถึงอนาคต การตรวจสอบรายละเอียดเกี่ยวกับแผนการปฏิบัติด้านพลังงานจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากสมมติฐานเกี่ยวกับการผลิต ขบวนการผลิตและอื่น ๆ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ การเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคนิคในการพิจารณาอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ การซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ไม่มีประสิทธิภาพหรือการเปลี่ยนอุปกรณ์ไม่จำเป็นต้องใช้แผนการปฏิบัติด้านพลังงานแต่ควรรวมไว้ในแผนการบำรุงรักษา ควรมีการติดตามและปรับปรุงแผนการปฏิบัติด้านพลังงานอย่างสม่ำเสมอ

5. การบันทึกสถิติเพื่อควบคุมการใช้พลังงาน

บริษัทควรมีวิธีการดำเนินงาน ซึ่งแน่ใจได้ว่าการใช้พลังงานหลัก ๆ ทั้งหมดนั้นมีการบันทึกและควบคุม การควบคุมพลังงานถือเป็นส่วนสำคัญในการจัดการด้านพลังงาน ซึ่งจุดประสงค์ของการควบคุมพลังงานมีไว้เพื่อ

- บันทึกและรายงานการใช้พลังงานตามระยะเวลาที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ
- สร้างและวิเคราะห์สถิติที่บันทึกไว้
- แสดงถึงทางเลือกในการประหยัดพลังงาน
- จัดทำเอกสารการสูญเสียพลังงานและผลกระทบจากโครงการประหยัดพลังงาน
- ประเมินและปรับปรุงเป้าหมายด้านพลังงาน

การบันทึกข้อมูลควรมีการปรับเปลี่ยนไปตามความเป็นจริงและตามความต้องการของบริษัท เพื่อการวิเคราะห์และการควบคุมการใช้พลังงาน ควรมีการบันทึกการใช้พลังงานเป็นระยะ ๆ เพื่อให้แน่ใจได้ว่าสามารถกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งได้ทันถ่วงทีในช่วงที่อาจเกิดปัญหาขึ้น

ส่วนสำคัญในการควบคุมพลังงาน คือ การสร้างสถิติด้านพลังงาน ซึ่งแสดงถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของผลิตภัณฑ์หรือพลังงานที่ใช้ในการบริการ (ความร้อน ความเย็น แสงสว่าง ปริมาตรอากาศ อื่น ๆ) สถิติจะแสดงผลของแต่ละกระบวนการผลิตที่สามารถแสดงให้เห็นภาพรวมของการใช้พลังงานแก่ผู้จัดการด้านพลังงานให้สามารถควบคุมการใช้พลังงานได้นั้นสถิตินั้นควรมีรายละเอียดที่พอเพียงและเป็นการบันทึกในช่วงเวลาที่เหมาะสม สถิติด้านพลังงานที่กล่าวมานี้จะแสดงภาพรวมที่ไม่ชัดเจน หากมีการบันทึกการใช้พลังงานโดยทิ้งช่วงระยะเวลานานหรือผลที่บันทึกครอบคลุมการใช้พลังงานโดยรวมกว้างเกินไป การบันทึกการใช้พลังงานและการสร้างสถิติการใช้พลังงาน แต่การบันทึกจะไม่มีประโยชน์ใด ๆ เลยหากไม่มีการนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์

6. การบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน

บริษัทควรทำแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานหลัก ๆ อย่างสม่ำเสมอเพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมสภาพหรือการใช้พลังงานที่ไม่สามารถควบคุมได้ และยังเป็นการรักษาให้อุปกรณ์สามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกเหนือจากนั้นการดูแลรักษาเป็นประจำยังสามารถช่วยลดการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์และประหยัดการซื้ออะไหล่ด้วย ควรมีแผนการบำรุงรักษาในกระบวนการผลิต ระบบทำความเย็น ระบบอัดอากาศ รวมทั้งระบบการแจกจ่าย (Distributions systems) ระบบการระบายอากาศ หม้อไอน้ำ (Boilers) เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่ ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน และอื่น ๆ

7. สำนึกด้านพลังงานในการจัดซื้ออุปกรณ์

เมื่อมีการจัดซื้ออุปกรณ์ใหม่ ควรมีการพิจารณาด้านพลังงานด้วยเพื่อให้แน่ในได้ว่าอุปกรณ์ที่ซื้อมาสามารถใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอในอนาคต ค่าใช้จ่ายด้านการใช้พลังงานของอุปกรณ์ใหม่ ๆ จะถูกพิจารณาร่วมกับการพิจารณาด้านพลังงานเหมือนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการลงทุนและการบริการ สรุปได้ว่าในขบวนการจัดซื้อให้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายด้านพลังงานด้วย การดำเนินงานสำหรับการวางแผนสำนึกด้านพลังงานควรให้ความรู้ในด้าน

- การคิดคำนวณการใช้พลังงานโดยประมาณต่อปี
- การตรวจสอบว่าอุปกรณ์ชนิดใดมีค่าใช้จ่ายที่ถูกที่สุดเมื่อคิดจากค่าใช้จ่ายโดยรวมทั้งหมด เช่น ค่าอุปกรณ์รวมค่าการใช้พลังงานในระยะเวลาหนึ่ง ๆ เช่นในระยะเวลา 4 ปี เป็นต้น

สำหรับอุปกรณ์ที่มีราคาไม่มากนัก เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เครื่องสูบน้ำขนาดเล็ก พัดลม และหลอดไฟ ควรพิจารณาเลือกซื้อเฉพาะอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

หากอุปกรณ์เกิดชำรุดเสียหายและจำเป็นต้องเปลี่ยนทันที ควรตรวจสอบว่าอุปกรณ์ชนิดใดควรมีการจัดซื้อเตรียมสำรองไว้ล่วงหน้า การตรวจสอบอาจครอบคลุมไปถึงอุปกรณ์ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำ และพัดลม

สำนึกด้านพลังงานในการจัดซื้ออุปกรณ์ควรสอดคล้องตามนโยบายด้านพลังงาน จุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงาน

8. การออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงาน

จุดประสงค์การออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงาน คือ การประเมินผลการสูญเสียด้านพลังงานที่เกี่ยวเนื่องกับการออกแบบสายการผลิตใหม่หรือโรงงานใหม่ หรือการปรับปรุงระบบการออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงานสร้างความมั่นใจได้ว่าในอนาคตจะมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในโรงงาน เมื่อวิเคราะห์จากมุมมองทางด้านเศรษฐศาสตร์การวางแผนในโรงงานใหม่

จะมีผลต่อการใช้พลังงานอย่างมากในอนาคตและมีผลต่อความประหยัดในการผลิต จุดสำคัญอยู่ที่ว่าการคำนวณค่าใช้จ่ายโดยรวมต้องทำอย่างละเอียดรอบคอบ เช่น ในช่วงระยะเวลา 4 ปี จะเป็นเช่นไร การพิจารณาเรื่องการใช้พลังงานควรเป็นส่วนหนึ่งประกอบในการพิจารณาวางแผน

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละปี การออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงานควรจัดให้ทางโรงงานได้นำเอาข้อมูลการใช้พลังงานที่สามารถนำมาพิจารณาได้มาร่วมในกระบวนการออกแบบด้วย

ที่ปรึกษาตรวจสอบด้านพลังงานจะเป็นผู้ดำเนินการตรวจสอบการออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงาน โดยที่ปรึกษาอาจไม่ได้มีส่วนร่วมในการวางแผนงานตั้งแต่แรก แต่สามารถตรวจร่างแบบโรงงานในขณะที่วิศวกรลงมือออกแบบได้ ที่ปรึกษาตรวจสอบด้านพลังงานสามารถช่วยให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานแก่วิศวกรผู้ออกแบบและทำให้มั่นใจได้ว่าได้มีการคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไว้แล้วในระหว่างการออกแบบ ซึ่งที่ปรึกษาตรวจสอบด้านพลังงานสามารถแต่งตั้งขึ้นมาจากพนักงานในหน่วยเดียวกันหรือจากบุคคลภายนอกก็ได้

ข้อแนะนำสำหรับขั้นตอนตรวจสอบการออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงานมีแนวทาง ได้แก่

- การตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน โดยมีกำหนดเวลาที่ผู้ตรวจสอบด้านพลังงานควรรู้ว่าจะตรวจเมื่อใดและอย่างไร
- ควรมีการแต่งตั้งผู้ตรวจสอบด้านพลังงานขึ้นเมื่อไร อย่างไร และโดยใคร

ควรมีการตระหนักถึงการออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงานทั้งในส่วนของบริษัทเอง ส่วนของที่ปรึกษาและผู้ขายอุปกรณ์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบโรงงานหรือการเลือกซื้ออุปกรณ์ใหม่

การออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงานควรสอดคล้องกับนโยบายด้านพลังงานและเป้าหมายและจุดประสงค์ด้านพลังงาน

9. การประเมินผล

บริษัทควรมีการประเมินผลเป็นช่วง ๆ ตามกำหนดเวลาเพื่อตรวจสอบว่าระบบการจัดการด้านพลังงานทำหน้าที่เหมือนอย่างที่ตั้งใจไว้หรือไม่ ควรนำนโยบายด้านพลังงาน จุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงานมาประเมินผลด้วย เพื่อควบคุมปัจจัยการทำงานให้บรรลุผลหรือควรมีการทบทวนนโยบายด้านพลังงานอีกครั้ง ท้ายที่สุดคือการพิจารณาการปรับปรุงระบบการจัดการด้านพลังงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประเมินผลจะถูกดำเนินการโดยฝ่ายบริหารเพื่อพิจารณาความต้องการในการเปลี่ยนแปลงระบบการจัดการด้านพลังงานและกิจกรรมสำหรับการดำเนินการในรอบต่อไป

10. การทบทวนการวางแผนด้านพลังงาน

การวางแผนด้านพลังงานควรมีการทบทวนเป็นประจำ เช่น อย่างน้อย 1 ครั้งต่อปี เพื่อประเมินการพัฒนาในการใช้พลังงานจากช่วงเวลาที่ผ่านมาและมีการปรับปรุงกิจกรรมในระบบการจัดการด้านพลังงาน การปรับปรุงแผนผังการใช้พลังงาน เช่น มีการปรับปรุงในเรื่อง

- สถิติด้านพลังงานจากช่วงเวลาที่ผ่านมา
- การเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์การผลิตและขนาดการผลิต
- มาตรการการอนุรักษ์พลังงานในช่วงเวลาที่ผ่านมาและแผนการดำเนินงาน
- การเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ

การปรับปรุงแผนผังการใช้พลังงานจะบอกถึงจุดสำคัญในการปรับปรุงเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน การปรับปรุงแผนผังการใช้พลังงานจะช่วยให้เรามั่นใจได้ว่าเรายังคงยึดเป้าหมายในกิจกรรมหรืองานที่มีการใช้พลังงานมากและมีศักยภาพในการปรับปรุงให้เห็นผลประหยัดได้

11. องค์กร

ควรมีการแต่งตั้งพนักงานขึ้นมาเป็นผู้รับผิดชอบงานด้านพลังงาน การจัดการพลังงานที่จะสำเร็จได้ต้องมีทีมงานที่รับผิดชอบชัดเจนไม่สามารถเป็นงานที่ทำเมื่อมีเวลาได้หรือเป็นงานส่วนกลางที่ไม่มีผู้รับผิดชอบชัดเจนได้ เนื่องจากค่าใช้จ่ายพลังงานเป็นรายจ่ายของบริษัทปีละหลายล้านหรือหลายสิบล้าน ซึ่งจำเป็นและคุ้มค่าที่จะมีผู้ติดตาม ควบคุมและแก้ไขให้ค่าใช้จ่ายนี้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เช่นเดียวกับการที่บริษัทต้องมีพนักงานจัดซื้อ พนักงานคุมสโตร์ เป็นต้น บริษัทควรตั้งพนักงานระดับหัวหน้างานจากแต่ละแผนกเข้ามาอยู่ในทีมงานพลังงาน เพื่อประโยชน์ในการถ่ายทอดและนำนโยบายไปปฏิบัติทั่วทั้งองค์กร จำนวนสมาชิกที่แน่นอนขึ้นอยู่กับขนาดและโครงสร้างของหน่วยงาน ผู้บริหารสูงสุดมักจะดำรงตำแหน่งประธานและมีผู้บริหารระดับกลางหรือหัวหน้างานที่เกี่ยวข้องทำหน้าที่หัวหน้าทีมและรายงานโดยตรงต่อผู้บริหารสูงสุด

ทีมงานอนุรักษ์พลังงานมีหน้าที่ทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้จริงตามนโยบายและเป้าหมายที่หน่วยงานกำหนด ซึ่งได้แก่ การดำเนินการดังต่อไปนี้

- การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน และรายงานต่อผู้บริหาร
- การค้นหาแนวทางที่จะประหยัดพลังงานภายในหน่วยงาน
- การรณรงค์และประชาสัมพันธ์การอนุรักษ์พลังงานในหน่วยงาน

- การจัดทำแผนปฏิบัติ (Action plan) ใน 4 ด้าน คือ แผนการให้ความรู้บุคลากร แผนการจูงใจพนักงาน แผนการสร้างจิตสำนึก และแผนการปรับปรุงบำรุงรักษา
- ดำเนินการและติดตามประเมินผลการปฏิบัติตามแผน
- ทีมงานจะต้องมีการประชุมติดตามงานอย่างสม่ำเสมอ

การแต่งตั้งพนักงานขึ้นมาเป็นผู้รับผิดชอบงานด้านพลังงานอาจเป็นทีมงาน โดยมีการระบุหน้าที่ ความรับผิดชอบและจัดทำเอกสารประกอบ สำหรับพนักงานที่ได้รับมอบหมายในการปฏิบัติงาน

โดยผู้บริหารให้การสนับสนุนทรัพยากรที่จำเป็น (ทีมงาน ค่าใช้จ่าย ความรู้ อุปกรณ์) ให้แก่ผู้รับผิดชอบงานด้านพลังงานและผู้บริหารควรแต่งตั้งผู้จัดการด้านพลังงานที่มีความรู้ความสามารถและมีเวลาเพียงพอในการรับผิดชอบระบบการจัดการด้านพลังงาน ผู้จัดการด้านพลังงานจะรายงานโดยตรงต่อผู้บริหาร ภารกิจหลักของผู้จัดการด้านพลังงานคือ การประสานความร่วมมือในงานการจัดการด้านพลังงาน รวบรวมประสบการณ์และหาแนวทางการปรับปรุงพัฒนา รวมถึงการจัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการด้านพลังงาน

12. การให้ความรู้และการกระตุ้น

จุดประสงค์ของการให้ความรู้ การกระตุ้นและจูงใจ คือ การสร้างความเข้าใจที่ตรงกันในบริษัท ให้ทุกคนเห็นความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานและกระตุ้นพนักงานให้มีส่วนร่วมในงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน เช่น การเสนอความคิดสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้มากขึ้น การให้ความรู้และการกระตุ้นนี้จะส่งเสริมระบบการจัดการด้านพลังงานในระยะยาว ควรแน่ใจว่าได้แจ้งถึงระบบการจัดการด้านพลังงานให้แก่พนักงานทุกคนทราบเพื่อทำความเข้าในในกฎเกณฑ์ที่มีในระบบและสามารถเข้าใจได้ว่าการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นได้อย่างไร การจัดการให้ความรู้และการกระตุ้นนี้เป็นการวางแผนว่าพนักงานควรถูกกระตุ้นให้มีการเพิ่มและรักษาประสิทธิภาพของพลังงานอย่างไร

การให้ข้อมูลแก่พนักงานมีเนื้อหาที่แตกต่างกันออกไป เพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจในเรื่องดังต่อไปนี้

- ความพยายามของบริษัทในการอนุรักษ์พลังงาน
- การมีส่วนร่วมของพนักงานมีความสำคัญต่อผลสำเร็จของระบบการจัดการด้านพลังงาน
- การใช้พลังงานมีส่วนเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานของพนักงาน
- งานและความรับผิดชอบในส่วนของพนักงานต่อระบบการจัดการด้านพลังงาน

- กิจกรรมด้านการอนุรักษ์พลังงานของบริษัท

พนักงานควรสามารถเสนอความคิดเห็น ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับแนวทางการประหยัดพลังงานได้ โดยผ่านผู้จัดการด้านพลังงานบอร์ดปิดประกาศ การประชุมและอื่น ๆ ในคู่มือระเบียบปฏิบัติการควรระบุวิธีการให้ข้อมูล ข่าวสาร การกระตุ้นและจูงใจในการเสนอความคิดเห็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน

การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ บริษัทจำเป็นต้องมีกิจกรรมจูงใจและกระตุ้นให้การอนุรักษ์พลังงานอยู่ในความสนใจของพนักงานเมื่อเริ่มต้นกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานมักจะได้รับความสนใจมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปความสนใจจะลดลงและหากดำเนินการแล้วไม่เกิดประโยชน์กลับมาสู่พนักงานการดำเนินการในระยะต่อไปจะยากยิ่งขึ้น พนักงานต้องรับรู้ได้ว่าหากให้ความร่วมมือในการอนุรักษ์พลังงานแล้วจะเกิดประโยชน์กับองค์กร และพนักงานจะได้ประโยชน์บางอย่างกลับมาที่มักใช้กันได้แก่ การกำหนดคำขวัญ การแข่งขัน การให้รางวัล ในบางแห่งกำหนดให้นำผลประหยัดที่ได้ส่วนหนึ่งมาใช้เพื่อปรับปรุงสวัสดิการของพนักงาน เป็นต้น การจูงใจนั้นอาจไม่จำเป็นต้องเป็นเงินหรือของรางวัลเสมอไป อาจเป็นคำชมเชย การยกย่อง การยอมรับ ก็ได้

13. การฝึกอบรมให้ความรู้

ผู้บริหารควรได้รับการพัฒนาทักษะที่จำเป็นในด้านการอนุรักษ์พลังงานสำหรับบุคลากรที่มีหน้าที่สำคัญและพนักงานคนอื่น ๆ การจัดให้มีการฝึกอบรมและให้ความรู้มีขึ้นเพื่อให้พนักงานมีความรู้ความสามารถเพียงพอในการอนุรักษ์พลังงานและสามารถระบุมาตรการการรักษาพลังงานได้ จุดประสงค์ของการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มพูนคุณภาพให้พนักงานในบริษัท นอกเหนือจากนั้นยังเป็นเหตุผลในการเฟ้นหาผู้ร่วมงานจากภายนอกได้อีกด้วย

ผู้จัดการด้านพลังงานและบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนสำคัญในการใช้พลังงานควรได้รับการฝึกอบรมหลักสูตรพิเศษกว่าพนักงานทั่วไป

14. การจัดทำเอกสาร

บริษัทควรจัดทำเอกสารคู่มือระบบการจัดการด้านพลังงานซึ่งมีรายละเอียดของวิธีการดำเนินงานการจัดการด้านพลังงานอย่างละเอียด คู่มือวิธีการดำเนินงานนี้ควรได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่เสมอและมีการเซ็นรับรองโดยผู้มีหน้าที่รับผิดชอบ การจัดทำเป็นเอกสารคู่มือเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปปฏิบัติอย่างมีมาตรฐานตามแผนปฏิบัติการ

คู่มือเอกสารนี้ควรมีเนื้อหาอันประกอบด้วย

- นโยบายด้านพลังงาน
- จุดประสงค์และเป้าหมายด้านพลังงาน
- โครงสร้างขององค์กรที่อธิบายถึงหน้าที่ความรับผิดชอบและงานสำหรับพนักงานที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน
- ขั้นตอนวิธีการ สำหรับ
    - การควบคุมด้านพลังงาน
    - การบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน
    - ความสำนึกด้านพลังงานในการจัดซื้อ
    - การออกแบบด้วยสำนึกด้านพลังงาน
    - การให้ความรู้และการกระตุ้นจูงใจ
    - การฝึกอบรม
    - การประเมินผล
    - การปรับทบทวนแผนผังการใช้พลังงาน

การจัดทำเอกสารที่เกี่ยวกับระบบการจัดการด้านพลังงานควรมีการรวบรวมลงในแฟ้มหรือคู่มือ เพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงระบบให้ทันสมัยตลอดเวลาตามความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในองค์กร เช่น การเปลี่ยนแปลงขั้นตอนวิธีดำเนินงานหรือปัจจัยอื่น ๆ และเก็บในที่ที่พนักงานทุกคนสะดวกในการนำคู่มือการจัดการด้านพลังงานมาอ่านได้ง่าย

15. ระบบข้อมูล

บริษัทใดจะทำการอนุรักษ์พลังงาน บริษัทนั้นจะต้องมีระบบข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อชี้วัดได้ว่าการใช้พลังงานปัจจุบันเป็นอย่างไร เปลี่ยนแปลงอย่างไรจากที่ผ่านมา ระบบข้อมูลการใช้พลังงานได้แก่

- การบันทึกข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการใช้พลังงาน เช่น ปริมาณพลังงานที่ใช้แต่ละช่วง ปริมาณการผลิต ค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ตัวแปรที่บ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรสำคัญ ฯลฯ
- การวิเคราะห์ข้อมูล เช่น หาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption) การผลิตไอน้ำต่อเชื้อเพลิง ฯลฯ ค้นหาสาเหตุและการเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสม เพื่อนำไปสู่การค้นหาสาเหตุและแก้ไขหากการใช้พลังงานไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่ตั้งไว้

- หากข้อมูลที่รวบรวมมายังไม่สามารถอธิบายประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ทันที จำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูล เช่น การหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption) อัตราการผลิต ไอน้ำต่อเชื้อเพลิง ฯลฯ
- ทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ หากไม่เป็นไปตามเกณฑ์จำเป็นต้องหาสาเหตุและดำเนินการปรับปรุงระบบข้อมูลการใช้พลังงานนี้ หากสามารถย่อยลงไปแต่ละส่วนงานเท่าใดก็จะสามารถควบคุมการใช้พลังงานได้ดียิ่งขึ้น

16. การประชาสัมพันธ์

พนักงานซึ่งเป็นผู้ใช้พลังงานจำเป็นจะต้องทราบว่าการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายพลังงานของหน่วยงานเป็นเท่าใด ตนเองมีผลอย่างไรกับการใช้พลังงานของหน่วยงาน ใช้งานอย่างไร สิ้นเปลืองอย่างไรมีประสิทธิภาพ เมื่อประหยัดพลังงานแล้วเกิดผลดีกับบริษัทอย่างไร กับหน่วยงานอย่างไร วิธีการประชาสัมพันธ์ ได้แก่ การจัดทำบอร์ดข้อมูลพลังงาน การฝึกอบรม ทีมพลังงานเยี่ยมพบแผนกต่างๆ การจัดวันอนุรักษ์พลังงานเสียงตามสาย จดหมายข่าว ฯลฯ

17. การลงทุนปรับปรุง

บริษัทควรให้ความสำคัญกับการดำเนินการปรับปรุงการใช้พลังงาน โดยพิจารณาจากความคุ้มค่าและระยะเวลาการปรับปรุงการใช้พลังงานในส่วนของการผลิตบางครั้งนอกจากจะลดการใช้พลังงานแล้ว ยังทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ลดของเสีย และทำให้สินค้ามีคุณภาพดีขึ้น บริษัทอาจจัดตั้งหลักเกณฑ์ ในการพิจารณาโครงการด้านอนุรักษ์พลังงาน และอาจจัดสรรงบประมาณส่วนหนึ่งเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยเป็นสัดส่วนกับค่าใช้จ่ายพลังงานของบริษัท

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของทีมอนุรักษ์พลังงาน

18. ปัญหาและอุปสรรค

โรงงานส่วนใหญ่มีแนวคิดเรื่องการประหยัดพลังงานอยู่แล้วและอาจจะดำเนินการไปบางส่วนแล้ว เช่น การปิดไฟฟ้าแสงสว่างและเครื่องปรับอากาศในช่วงพักเที่ยง แต่ในด้านการบริหารจัดการยังไม่เป็นรูปธรรม ที่พบคือ

1. ขาดนโยบายหรือเป้าหมายที่ชัดเจนจากผู้บริหาร การทำงานขึ้นกับตัวบุคคล
2. ขาดผู้ที่รับผิดชอบชัดเจน ขาดทีมงาน
3. พนักงานขาดความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ใช้พลังงาน
4. ขาดข้อมูลไม่มีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน การผลิตและย่อมขาดการวิเคราะห์ข้อมูล
5. ขาดระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ดี

ทั้ง 5 ข้อนี้เป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้การอนุรักษ์พลังงานไม่ประสบความสำเร็จ แนวทางแก้ไขก็คือ

1. ถ้าขาดนโยบายและเป้าหมาย ผู้บริหารต้องรีบกำหนดและประกาศให้พนักงานทุกคนทราบ
2. ถ้าขาดทีมงานต้องรีบกำหนดตัวบุคคลที่รับผิดชอบและทีมงานจากส่วนงานต่างๆ กำหนดระยะเวลาการประชุมติดตามผล
3. ต้องให้มีระบบการเก็บข้อมูลและรายงานผล สำรวจว่าจุดใดต้องการเครื่องวัดเพิ่มบ้าง
4. ต้องมีระบบการบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ดี ซึ่งก็คือการประหยัดพลังงานนั่นเอง
5. ต้องเพิ่มพูนความรู้ให้กับผู้ปฏิบัติงาน โดยการส่งไปฝึกอบรมภายนอกหรือจัดฝึกอบรมภายใน

2.2 งานวิจัยเกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย และสร้างรายได้ให้กับประเทศปีละหลายแสนล้านบาท มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก เนื่องจากยังมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมอโลหะในปริมาณที่สูง ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นล้วนส่งผลให้อุตสาหกรรมอโลหะยังคงเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศที่รัฐบาลควรให้การส่งเสริมและสนับสนุน เพื่อให้มีศักยภาพที่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศในเวทีการค้าโลกได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว(***สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการ และ ผู้ที่เกี่ยวข้อง, 2546***) อีกทั้งหากพิจารณาเพิ่มเติมในมิติด้านพลังงานอุตสาหกรรมเซรามิกถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงมีความจำเป็น

ที่จะต้องหาแนวทางที่จะส่งเสริมและสนับสนุนให้อุตสาหกรรมดังกล่าวมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งนอกจากจะส่งผลในเรื่องพลังงานที่สามารถประหยัดได้แล้ว ยังเป็นการช่วยเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศในเวทีการค้าโลกอีกทางหนึ่งด้วย

จากการศึกษาสามารถประมาณต้นทุนพลังงานเป็นเปอร์เซ็นต์ของต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมต่างๆ ของญี่ปุ่นได้ ดังตาราง 2.1 (***Agency of National Resources and Energy, Japan, 2537***)

ตารางที่ 2.1 ต้นทุนพลังงานโดยแยกตามอุตสาหกรรม

Basic Chemicals	14.2%
Chemical fiber materials	11.3%
Pig iron and crude steel	10.3%
Ceramic industry	8.9%
Pulp and Paper	5.3%
Rubber product	2.8%
Fishery and foodstuff	1.2%
Electric machinery	1.0%
Precision machinery	0.9%
Transportation machinery	0.8%
Printing and Publication	0.7%

Source: Agency of National Resources and Energy

จากตารางต้นทุนพลังงานคิดเป็น 8.9% ของต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น อุตสาหกรรมเซรามิกจัดเป็นอุตสาหกรรมที่บริโภคพลังงานสูง (Energy Intensive)

อุตสาหกรรมเซรามิกถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางที่จะส่งเสริมและสนับสนุนให้อุตสาหกรรมดังกล่าวมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลในเรื่องพลังงานที่สามารถประหยัด

กระบวนการผลิตเซรามิก

การผลิตเซรามิกในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เซรามิกแบบดั้งเดิม (Traditional Ceramics) และเซรามิกยุคใหม่ (New Ceramics) ซึ่งยังมีไม่มากนัก ดังนั้นในการศึกษาจะมุ่งเน้นเฉพาะกลุ่มเซรามิกดั้งเดิม ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการใช้แรงงานในการผลิตค่อนข้างมาก และ

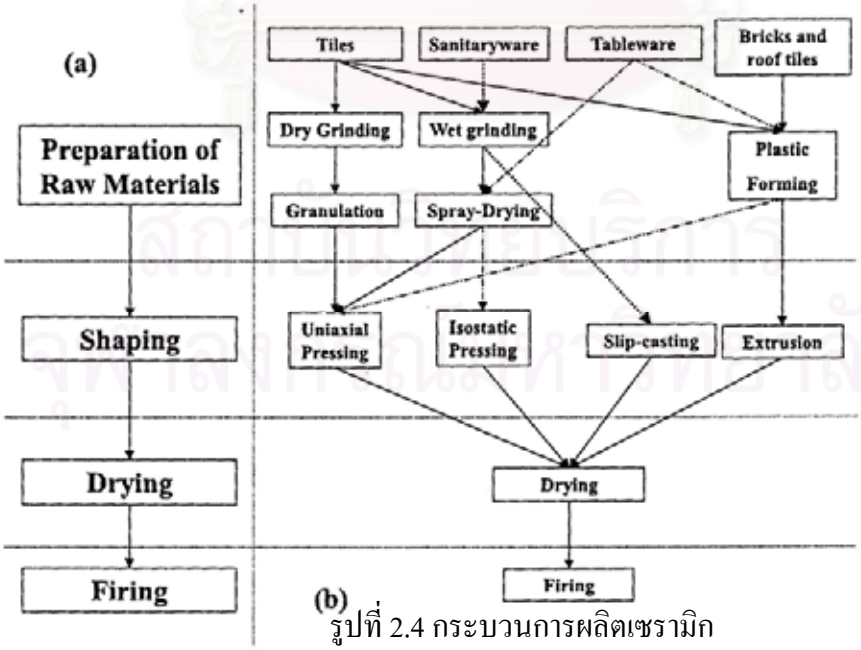
สามารถพึ่งตนเองได้เป็นส่วนใหญ่ทั้งในเรื่องของวัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิต ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 5 ประเภทหลัก ได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องเซรามิก เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของชำร่วยและเครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า (***ปรีดา พิมพ์ขาวขำ, 2535***)

รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกในภาพรวมตามรูป การผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน (***Agrafiotis, C. และ Tsoutsos, 2543***)

- การจัดเตรียมวัตถุดิบ
- การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์
- การทำให้แห้ง
- การเผา

<u>การเตรียมวัตถุดิบ</u>

วัตถุดิบประกอบด้วย ดินขาว เฟลด์สปาร์ ควอตซ์ ไพโรฟิลไลต์ ถูกนำมาบด ชั่งน้ำหนักและผสมตามสัดส่วนที่กำหนด เพื่อให้วัตถุดิบผสมเป็นเนื้อเดียวจะมีการเติมน้ำ กวนให้ส่วนผสมเข้ากัน พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าใช้ที่มอเตอร์ปั๊มน้ำ ตัวกวน สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการผลิตขึ้นกับผลิตภัณฑ์ เช่นประเภทสุขภัณฑ์ใช้ 32% กระเบื้องปูพื้น 39% พลังงานไฟฟ้าอื่นๆได้แก่ระบบแสงสว่าง ลมอัด สำหรับโรงงานขนาดใหญ่จะจัดการกับวัตถุดิบทุกขั้นตอน โรงงานขนาดเล็กจะซื้อวัตถุดิบที่บดแล้วมาผสมเท่านั้น



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตเซรามิก

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก ประกอบด้วย

(1) การขึ้นรูปโดยการหล่อแบบ(Slip Casting) ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่รูปร่างซับซ้อน เช่นเครื่องสุขภัณฑ์

(2) การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว ประกอบด้วยการขึ้นรูปอาศัยเครื่องเครื่องจิกเกอร์ ใช้กับเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร หรือโดยวิธีอัดผ่านหัวแบบ(Extrusion)เช่นผลิตภัณฑ์ลูกถ้วยไฟฟ้า

(3) การขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด ใช้กับผลิตภัณฑ์กระเบื้อง

กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์ และเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่รูปทรงที่ใช้การขึ้นรูปแบบเครื่องจิกเกอร์ไม่ได้ การขึ้นรูปโดยการหล่อแบบชนิดเทออก (drain casting) ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทสุขภัณฑ์ โดยวิธีนี้แบบของผลิตภัณฑ์จะหล่อขึ้นจากปูนปลาสเตอร์ น้ำดิน(Slip)จะถูกเทลงในแบบ น้ำดินจะถูกปลาสเตอร์ดูดด้วยแรงที่เกิดจากรูพรุนในแบบ เนื้อดินสะสมที่ผิวกลายเป็นผนังของผลิตภัณฑ์(Cast) จะหนามากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป แบบ(mold)ก็จะชื้นมากขึ้นเช่นกัน ชิ้นงานและแบบจะตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่กำหนดจึงทำการถอดแบบ พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าใช้เพื่อปั๊มน้ำดิน และใช้เพื่อกระบวนการอบแบบให้แห้งก่อนนำไปใช้ใหม่ สัดส่วนของการใช้พลังงานของการหล่อผลิตภัณฑ์สุขภัณฑ์ประมาณ 17%

กลุ่มผลิตภัณฑ์ จาน ชาม ใช้การขึ้นรูปโดยเครื่องจิกเกอร์ เนื้อดินที่ใช้จะอัดจากเครื่องอัดผ่านหัวแบบ (Extrusion) ออกเป็นแท่งทรงกระบอก แล้วนำมาตัดออกเป็นชิ้นขนาดที่มีเนื้อดินเพียงพอต่อการนำไปขึ้นรูปเมื่อเริ่มกระบวนการขึ้นรูป เนื้อดินถูกวางลงบนแบบที่หมุน แล้วตัวกดที่หน้าตัด (profile section) ตามผลิตภัณฑ์ เช่น การขึ้นรูปจาน ด้านบนกดแบบลงบนเนื้อดิน ได้ชิ้นงาน นำไปเข้ากระบวนการต่อไป พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าหมุนมอเตอร์เครื่องจิกเกอร์

การอบแห้ง(Drying)และการตกแต่งก่อนเผาฯ

การอบผลิตภัณฑ์ให้แห้งเพื่อขจัดน้ำในผลิตภัณฑ์ก่อนกระบวนการเผา พลังงานความร้อนใช้เพื่อไล่ความชื้นออกจากชิ้นงาน พลังงานไฟฟ้าใช้ที่พัดลมเพื่อหมุนเวียนอากาศภายในห้องอบ

การเผา(Firing)

การเผา คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตา ภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสมเพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้เป็นถาวรวัตถุมีความแข็งแกร่งเหมือนหิน ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวร และสวยงาม

ดังนั้น เตาเผาเป็นส่วนประกอบที่สำคัญต่อการประหยัดพลังงาน การพิจารณาเลือกขนาดของส่วนประกอบต่างๆ ของเตาเผาจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้พลังงาน และควบคุมพลังงานและการวิเคราะห์เพื่อการประเมินพลังงานอีกด้วย ดังนั้นเทคโนโลยีการเผาจึงมีส่วนสำคัญในการทำให้การบริโภคพลังงานมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลง

แนวทางการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิต

1. **การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง (High Frequence Electronic Ballast for Lighting) แทนบัลลาสต์ธรรมดาในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (*Atif Zaman Khan, 2539*)**

เนื่องจากภายในโรงงานมีการใช้หลอดไฟเป็นจำนวนมาก เมื่อนำมาตรการมาใช้สามารถให้ผลการประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 25-40 โดยสามารถช่วยประหยัดไฟได้ประมาณ 10 วัตต์ต่อหลอด ไม่ว่าจะใช้กับหลอด 18-20 วัตต์ และ 36-40 วัตต์ ทั้งยังช่วยลดภาระเครื่องปรับอากาศของหน่วยงาน เนื่องจากบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีความสูญเสียน้อยทำให้เกิดความร้อนต่ำกว่าบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กธรรมดา นอกจากนี้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับบัลลาสต์ขดลวดแกนเหล็กธรรมดาซึ่งจะส่งผลให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้นช่วยลดความสูญเสียของระบบไฟฟ้าโดยรวม

2. **การเพิ่มความระมัดระวังในการปฏิบัติงานเพื่อลดความสูญเสียจากผงวัตถุดิบแห้ง (*United Nations Environment Program, 2550*)**

เนื่องจากระบบป้อนวัตถุดิบในปัจจุบันยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ทำให้เกิดการตกหล่นของวัตถุดิบแห้งจำนวนมาก ทั้งนี้วัตถุดิบที่ตกหล่นไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้โดยตรง หากแต่ต้องนำกลับไปทำความสะอาดใหม่เสียก่อน ส่งผลทำให้ต้องสูญเสียพลังงานไปโดยใช่เหตุจำนวนมาก

นอกจากปัญหาวัตถุดิบตกหล่นแล้ว ระบบการป้อนวัตถุดิบที่ไม่มีประสิทธิภาพนี้ยังส่งผลต่อการกระจายตัวของผงแห้งที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ลดต่ำลงอีกด้วย

ดังนั้นการติดตั้งวาล์วควบคุมการป้อนวัตถุดิบอัตโนมัติ และใช้อุปกรณ์รองวัตถุดิบเพื่อใช้รองวัตถุดิบที่อาจตกหล่นระหว่างกระบวนการเพิ่มเติม ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 การใช้อุปกรณ์รองวัตถุดิบตกหล่นเพื่อลดปริมาณวัตถุดิบที่ปนเปื้อน

จากการดำเนินการดังกล่าวทำให้สามารถลดปริมาณวัตถุดิบที่ตกหล่นลงไปได้ถึง 60% อีกทั้งยังสามารถลดปริมาณผงวัตถุดิบที่จำเป็นต้องนำไปล้างใหม่ได้อย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย

3. มาตรการการใช้อุปกรณ์ควบคุมอากาศในการเผาไหม้ (*Maria da Graca Carvalho* and Marcos Nogueiraf, 2550*)

เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตความร้อน ซึ่งการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ในเชิงทฤษฎีจะเกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนอากาศในปริมาณที่พอดี แต่ในทางปฏิบัติแล้วเป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจนทุกตัวพบกับธาตุต่างๆ ในเชื้อเพลิงไหม้หมดและทั่วถึงกัน จึงเป็นผลให้เกิดผลผลิตอื่นจากการเผาไหม้ คือ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และเขม่า ดังนั้นมาตรการนี้จะอยู่บนพื้นฐานของการใช้ระบบควบคุมปริมาณอากาศสำหรับการเผาไหม้ ระบบจะควบคุมปริมาณของอากาศที่จะเข้าสู่เตาเผาไหม้ เชื้อเพลิงที่ใช้น้ำมันเตาหรือก๊าซเชื้อเพลิง โดยจะทำการวัดปริมาณอากาศส่วนเกินในก๊าซไอเสียอย่างต่อเนื่อง ตัววัดจะส่งสัญญาณไปที่กล่องควบคุมซึ่งจะควบคุมตำแหน่งของวาล์วและ/หรือ มอเตอร์ของพัดลม โดยประโยชน์ที่จะได้รับคือทำให้ประหยัดการใช้เชื้อเพลิง และควบคุมการเผาไหม้ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น การศึกษาเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง รวมถึงการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและลดการเผาไหม้ ทำให้มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ลดลงตามไปด้วย (***The Energy Conservation Center (ECC), Japan, 2548***)

ดังนั้น การอนุรักษ์พลังงานในเตาเผาเซรามิกนั้น ให้พิจารณาอย่างน้อยในสามส่วน กล่าวคือ ส่วนที่หนึ่งคือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ ส่วนที่สองให้พิจารณาสภาพของผนังเตาและ

การชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้น ส่วนที่สามการกระจายของความร้อนภายในเตาเผา และส่วนที่สี่ความร้อนของแก๊สที่ปล่อยออกจากปล่องสู่บรรยากาศ ฉะนั้น การวางแผนการดำเนินการจึงเป็นสิ่งที่สำคัญนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อประเมินอันเป็นผลสรุปไปสู่การปรับปรุงการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเป็นระบบ

2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พุฒิพล ลิมปโสภณพนิช ได้ศึกษาศักยภาพการใช้ความร้อนทิ้งจากเตาอุตสาหกรรม 5 ประเภท ได้แก่ เตาเผาปูนปลาสเตอร์ เตาเผาเซรามิก เตาเผาเหล็ก เตาหลอมแก้ว และเตาเผากระเบื้อง พบว่าสัดส่วนพลังงานความร้อนในไอเสียที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เท่ากับ 29.59 %, 80.47 %, 46.33 %, 63.93 % และ 42.30% ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ปีละ 102.81 ลิตร, 7,881.6 กิโลกรัม, 259,476 ลิตร, 976,912 ลิตร, และ 8,517.44 MMBTU ตามลำดับ และคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ปีละ 41,298 บาท, 102,460 บาท, 3,287,566 บาท, 12,377,487 บาท และ 1,362,790 บาท ตามลำดับ ในขณะที่การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (1.30 – 1.40) จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้ปีละ 279 ลิตร, 113 กิโลกรัม, 8,343 ลิตร, และ 58,187 ลิตร ตามลำดับ โดยในเตาเผากระเบื้องไม่จำเป็นต้องมีการปรับ

พงษ์จรูญ ศรีโสวรรณา และ วิชัย ขจรสิริฤกษ์ ได้ทำการศึกษาเรื่องการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยดำเนินการหาประสิทธิภาพของเตาชัทเทิ่ลเมื่อเผาอิฐ (Shuttle Brick kilns) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในภาคเหนือของประเทศไทย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของมาตรการประหยัดพลังงาน 2 มาตรการใหญ่ ๆ ได้แก่ มาตรการแรกเป็นการปรับปรุงฉนวน โดยการใช้วัสดุเบา เช่น เซรามิกไฟเบอร์แทนอิฐทนไฟ ทำให้ใช้พลังงานน้อยลงขณะที่ผลผลิตเท่ากัน และระยะเวลาของการเผาการเย็นตัวลงเร็วกว่าเตาอิฐทนไฟ มาตรการที่สองคือการปรับปรุงประสิทธิภาพของการสันดาป โดยติดตั้งเครื่องมือวัดค่าออกซิเจน ซึ่งจะเป็นตัวชี้ถึงผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อเพลิงหรือตำแหน่งของแดมเปอร์ อันจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการสันดาปดีขึ้น

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการ และ ผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้แสดงทัศนะและข้อเสนอแนะตรงกันว่าอุตสาหกรรมเซรามิกยังคงสามารถขยายตัวได้ในตลาดโลก ในขณะเดียวกันผู้ประกอบการต้องมีการปรับตัวทั้งทางด้านเทคโนโลยีการผลิต การออกแบบ ผลิตภัณฑ์ กลยุทธ์ทางด้านการตลาด ระบบโครงสร้าง และวัฒนธรรมขององค์กร อีกทั้งบทความนี้ ได้มีการวิเคราะห์ถึงจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และภัยคุกคาม พร้อมทั้งประมวล

วิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมเซรามิกไทย ได้แก่ ปัจจัยทางด้านอุปสงค์ ปัจจัยทางด้านอุปทาน ปัจจัยทางด้านนโยบายของภาครัฐ และปัจจัยทางด้านกติกาการค้าโลก แนวโน้มของ อุตสาหกรรมเซรามิกไทย และแนวทางการสร้างศักยภาพและขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับ อุตสาหกรรมเซรามิกไทยเพื่อให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดโลกต่อไป

The Energy Conservation Center (ECC), Japan ได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง รวมถึงการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและลดการเผาไหม้ ทำให้มลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ลดลงตามไปด้วยการปรับเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งในอันที่จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบที่ทำให้เกิดมลพิษน้อยและสามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์กว่าเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซจากชีวมวล และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

Agrafiotis, C. และ Tsoutsos, งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับ การพัฒนาของอุตสาหกรรมเซรามิกของยุโรป ในด้านการลดการใช้พลังงานในช่วงที่เกิดวิกฤตทางเศรษฐกิจ ได้มีการนำเสนอรายงานเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่นำไปสู่การใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานในการผลิตเป็นอย่างมาก อีกทั้งเป็นการลดทั้งเวลาการผลิตและต้นทุนอีกด้วย เทคโนโลยีในการพัฒนาวัสดุในการสร้างเตาไปเป็นวัสดุทนไฟชนิดต่างๆ เช่น อิฐทนไฟ อิฐฉนวนความร้อน เตาเผาในลักษณะนี้สามารถออกแบบ สำหรับการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) ซึ่งเรียกว่า เตาอุโมงค์ (Tunnel Kiln) หรือแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Process) ได้แก่ เตาชัทเทิล (Shuttle Kiln) เตาทั้งสองแบบนี้สามารถควบคุมความร้อนในการเผาผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดีจึงเหมาะต่อการนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร กระเบื้อง และ สุขภัณฑ์

Maria da Graca Carvalho และ Marcos Nogueira ได้ศึกษาการใช้พลังงานโดยการวิเคราะห์พลังงานของเตาเผาเหล็กซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานมากที่สุดในโรงงาน จากการศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานพบว่าอุณหภูมิไอเสียอยู่ในช่วง 550 – 600 องศาเซลเซียสมีความเหมาะสมสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาใช้ในการอุ่นน้ำมันเตาแทนการใช้ไฟฟ้าอุ่นวัตถุดิบ หรืออุ่นอากาศก่อนเข้าสู่เตาเผา รวมทั้งการเปลี่ยนหรือติดตั้งฉนวนกันความร้อนใหม่โดยรอบตัวเตา ผลจากการอุ่นอากาศด้วยความร้อนจากไอเสียจะสามารถลดพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงลง และยังทำให้พลังงานสูญเสียออกไปกับไอเสียลดลง มาตรการประหยัดพลังงานต่าง ๆ

ที่แนะนำคือ การอุดรอยรั่วต่าง ๆ รอบตัวเตา ตรวจสอบก๊าซไอเสียอย่างต่อเนื่อง และปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้ได้จุดที่เหมาะสม เป็นต้น

Prasertsan, Prateepchaikul และ Coovattanachai ได้ทำการศึกษาถึงสภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐในประเทศไทย จากการศึกษาถึงปัญหาที่ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตอิฐในประเทศไทยหลายแห่งต้องปิดตัวลง พบว่าปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นคือต้นทุนการผลิตในด้านพลังงานมีมูลค่าสูง และเชื้อเพลิงหายากขึ้น โดยต้นทุนด้านพลังงานของเตาเผาอิฐที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสูงถึง 30 %ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด และของเตาเผาที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 6 – 7 % ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเตาเผาอิฐที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 1,580 – 3,790 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ และของเตาเผาอิฐที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงอยู่ที่ 670 – 5,420 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ และพบว่าจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ถึง 60 % ถ้ามีการเปลี่ยนเตาเผาแบบเดิมมาเป็นแบบต่อเนื่อง รวมถึงการวิจัยและพัฒนาวัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบา และการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่น เช่น น้ำมันปาล์ม เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุตสาหกรรมเซรามิก

อุตสาหกรรมเซรามิกจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เชื่องโยงเข้ากับอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ และอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้วัตถุดิบที่ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส่วนใหญ่เป็นวัตถุดิบภายในประเทศ มีการใช้แรงงานเป็นจำนวนมากและมีการกระจายรายได้สู่ชนบท แต่เดิมอุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมเพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศและทดแทนการนำเข้า จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและขยายฐานการผลิตอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมเซรามิกกลายเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่สามารถส่งออกและทำรายได้ให้ประเทศสูงถึงปีละกว่า 20,000 ล้านบาท

3.1 โครงสร้างของอุตสาหกรรมเซรามิก

1. ประเภทของอุตสาหกรรมเซรามิกไทย

การผลิตเซรามิกในประเทศไทยแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เซรามิกแบบดั้งเดิม (Traditional Ceramics) และเซรามิกยุคใหม่ (New Ceramics)

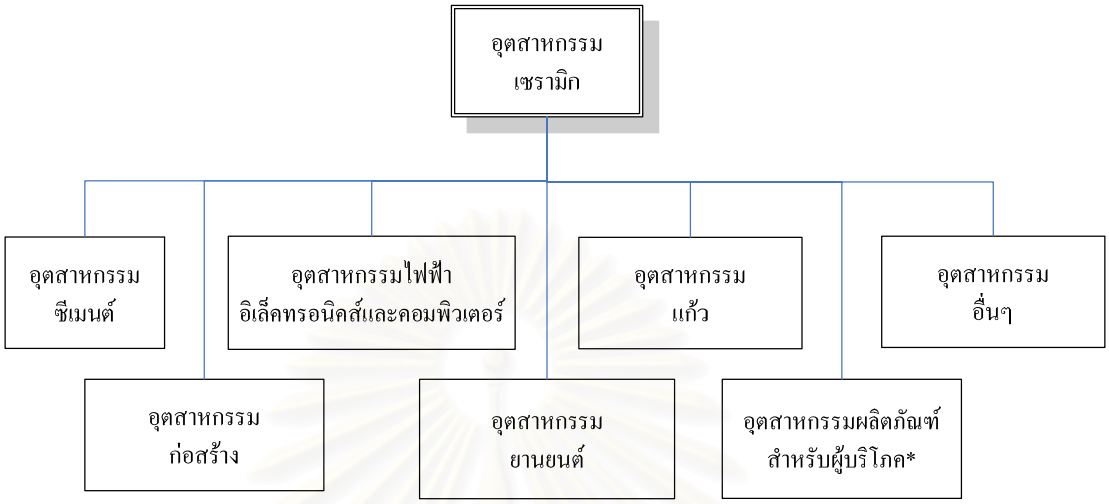
เซรามิกแบบดั้งเดิมเป็นกลุ่มของเซรามิกที่เน้นการใช้แรงงานในการผลิตค่อนข้างมาก และสามารถพึ่งตนเองได้เป็นส่วนใหญ่ทั้งในเรื่องของวัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิต ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 5 ประเภทหลักได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องเซรามิก เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของชำร่วยและเครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า

ส่วนผลิตภัณฑ์เซรามิกยุคใหม่เป็นเซรามิกที่ไทยยังขาดเทคโนโลยีและปริมาณการใช้ในประเทศยังมีไม่มากนัก ดังนั้นจึงยังไม่มีการพัฒนาไปสู่การผลิตที่ใช้เทคโนโลยีในขั้นที่สูงขึ้นได้ เซรามิกประเภทนี้จะใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ และเครื่องมือในทางการแพทย์ เช่น คาปาซิเตอร์เซรามิก และหม้อแปลงไฟฟ้าเซรามิก เป็นต้น

2. ภาพรวมอุตสาหกรรมเซรามิก

ภาคอุตสาหกรรมเซรามิกของประเทศไทยมีจำนวนโรงงานที่ขึ้นทะเบียนกับกองควบคุมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 622 โรงงาน มีจำนวนแรงงานรวมทั้งสิ้น 44,678 คน และ

มีจำนวนเงินลงทุนรวมทั้งสิ้น 21,572 ล้านบาท (อ้างอิงข้อมูลปี พ.ศ. 2547) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมเซรามิกจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



* หมายเหตุ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์สำหรับผู้บริโภค เช่น จาน ชาม เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

รูปที่ 3.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมเซรามิก

3. ความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศโดยรวม

จากข้อมูลสถิติในปี พ.ศ. 2548 มีการส่งออกผลิตภัณฑ์เซรามิกรวมทั้งสิ้นมากกว่า 185,349 ตัน หรือคิดเป็นรายได้เข้าประเทศมูลค่ารวมกว่า 25,264 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2547 มูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 16.25 ดังตารางที่ 3.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

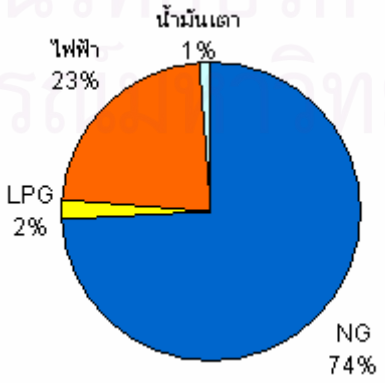
ตารางที่ 3.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออก

ผลิตภัณฑ์	ปี 2546		ปี 2547		ปี 2548	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
กระเบื้องปูพื้น ปิดผนังและโมเสค (พัน ตร.เมตร)	22,483	2,902	22,399	3,446.30	25,183	4,201.40
เครื่องสุขภัณฑ์	66,724	4,197.60	79,964	3,817.80	75,567	4,419.20
ลูกถ้วยไฟฟ้า	878	781.7	1,179	705.8	2,940	691.7
ของชำร่วยและเครื่องประดับ	13,638	1,487.10	13,756	1,273.20	12,550	1,302.40
ถ้วยชามทำด้วยเซรามิก	76,739	7,841.10	75,238	7,493.00	69,109	7,225.70
ผลิตภัณฑ์เซรามิกอื่น ๆ	-	4,614.20	-	4,996.00	-	7,423.70
รวมทั้งสิ้น	>180,462	21,824	192,536	21,732	>185,349	25,264
อัตราการเปลี่ยนแปลง (%)			-	0.42	-	16.25

อ้างอิง: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

4. มิติด้านพลังงาน

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่บริโภคพลังงานสูง (Energy Intensive Industry) ซึ่งข้อมูลจากแบบส่งข้อมูลการผลิตการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงงานควบคุม (บพร.1) ในปี พ.ศ. 2549 พบว่าอุตสาหกรรมดังกล่าวมีการใช้ก๊าซธรรมชาติถึง 74% ซึ่งเป็นปริมาณที่มากที่สุดของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวต้องการใช้พลังงานที่สะอาดและโรงงานส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในแนวท่อส่งก๊าซ สัดส่วนของการใช้พลังงานหลายประเภทที่ใช้ในกระบวนการผลิตแสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สัดส่วนการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก

3.2 ขั้นตอนการผลิต

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบเซรามิกส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมของวัตถุดิบ 3 ชนิด คือ ดินขาว ดินเหนียวหรือบอลเคลย์ และหินหันม้าหรือเฟลสปาร์ นอกจากวัตถุดิบใน 3 ชนิดข้างต้นแล้วปูนปลาสเตอร์รวมทั้งน้ำเคลือบและสีต่างๆ ก็จัดว่าเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยเช่นกัน

1.1 ดินขาว (Kaolin, China Clay)

ดินขาวหรือดินเกาลินเป็นหัวใจหลักในการผลิตเซรามิกดั้งเดิมโดยใช้เป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 30 - 55 ของผลิตภัณฑ์ จัดแบ่งตามคุณภาพได้ 4 กลุ่มด้วยกันได้แก่ ดินขาวดิบ, ดินขาวเซรามิก (Ceramics Grade) ซึ่งเป็นดินขาวคุณภาพต่ำที่สุดในดินขาวที่ใช้ในอุตสาหกรรม, ดินขาวระดับฟิลเลอร์ (Filler Grade), และระดับเคลือบ (Coating Grade) ซึ่งเป็นดินขาวคุณภาพและราคาสูงกว่าดินขาวเซรามิก ทั้งนี้ ดินขาวระดับฟิลเลอร์และระดับเคลือบนั้นใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ สี ยาง ยาฆ่าแมลง เป็นต้น สำหรับดินขาวเซรามิกก็มีคุณภาพแตกต่างกันหลายระดับซึ่งให้คุณสมบัติหลังการเผาต่างๆกันออกไป ในการผลิตเซรามิกประเภทต่างๆ ต้องการใช้ดินขาวที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน อาทิเช่น ดินขาวที่มีความบริสุทธิ์สูงให้เนื้อดินหลังเผาเป็นสีขาวบริสุทธิ์ นิยมนำมาผลิตผลิตภัณฑ์พอร์ซเลนและโบนไชน่า ส่วนในการผลิตกระเบื้องปูพื้นนิยมใช้ดินที่มีราคาต่ำโดยเลือกดินที่หดตัวน้อยและมีปริมาณคาร์บอนต่ำเพื่อให้อัดเป็นแผ่นได้ง่ายโดยไม่แตกบิ่นไม่จำเป็นที่จะต้องทำให้สีของดินหลังเผาเป็นสีขาวเพราะในการผลิตจะมีการตกแต่งลวดลายและสีสันลงบนผิวหน้าของกระเบื้องทำให้ไม่เห็นสีของเนื้อกระเบื้องในการนำมาใช้งาน

แหล่งดินขาวมี 2 แบบ คือ

1. แหล่งต้นกำเนิด ดินขาวแหล่งนี้มักพบในลักษณะเป็นภูเขาหรือที่ราบซึ่งเดิมที่เป็นแหล่งแร่หินฟันม้า เมื่อหินฟันม้าผุพังโดยบรรยากาศผลสุดท้ายจะเหลือเป็นดินขาวอยู่ ณ ที่นั้น กระบวนการเกิดดินขาว (kaolinization) นี้มีขั้นตอนของปฏิกิริยาต่าง ๆ ดังนี้

$KALSi_3O_8 + H_2O$ ----------> $HALSi_3O_8 + KOH$ (Hydrolysis)

$HAL\ Si_3O_8$ ----------> $HALSiO_4 + Si_3O_2$ (Desilication)

$2\ HALSiO_4 + H_2O$ ----------> $(OH)_4\ AL_2Si_2O_5$ (Hydration)

$KALSi_3O_8$ = หินฟันม้าชนิดโปรเตซ (potash feldspar)

$(OH)_4\ AL_2Si_2O_5$ = ดินขาว (kao Linite)

2. แหล่งสะสมที่ลุ่ม (sedimentary deposit) หมายถึงแห่งดินขาวที่เกิดจากดินขาวจากแหล่งแรกถูกระแสน้ำพัดพาไปและไปสะสมในบริเวณที่ราบลุ่ม ในประเทศไทยมีแหล่งดินขาวหลายจังหวัด เช่น ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช เป็นต้น

ข้อควรคำนึงเกี่ยวกับแหล่งดินขาว

1. จะต้องพิจารณาคุณสมบัติของดินแต่ละแหล่งว่าจะนำมาใช้ทำเป็นฟิลเลอร์ได้หรือไม่ เช่น หากมีความขาวสูง ความคมต่ำ ความละเอียดดีอาจจะใช้ทำกระดาษได้ แต่ถ้ามีความคมสูง อาจจะต้องนำไปใช้ผสมทำสี ยาฆ่าแมลง หรืออุตสาหกรรมยาง หรือบางแหล่งความขาวไม่สูงนักทรายหยาบน้อยอาจจะนำมาบดเพื่อให้เป็นฟิลเลอร์ราคาถูกในการทำปุ๋ยผสม เป็นต้น

2. เทคนิคในการทำเหมืองจะต้องมีการเลือกหน้าเหมืองในการผลิตเพื่อให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น หน้าเหมืองที่สีไม่ค่อยขาวอาจจะเก็บไว้ใช้ในงานเซรามิกอย่างเดียว หรืออาจจะใช้ดินจากหน้าเหมืองหลายแห่งมารวมกันเพื่อให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติที่ต้องการ ดินที่ใช้กับงานจานชามต้องการดินที่มีความแข็งแรงสูงเผาแล้วสีขาว ขณะที่ดินที่นำไปใช้กับงานหล่อแบบต้องการดินที่หล่อตัวได้ไว เป็นต้น

3. ในการแต่งแร่ส่วนใหญ่เป็นเรื่องของการคัดขนาด ซึ่งนิยมใช้ไฮโดรโซโคลน ข้อสังเกตก็คือ ควรจะเก็บของที่มีประโยชน์ให้หมดก่อนทิ้งไป และการพิจารณาแร่พลอยได้ที่เหลือจากการแต่ง เช่นกรณีโรงล้างดินขาวลำปาง ทราย และของหยาบที่คัดทิ้งนั้น น่าที่จะนำมาศึกษาเพื่อใช้ทำกระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องประดับ โดยจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแกร่งและขนาดมาตรฐานยิ่งขึ้น

คุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาว

การทราบคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ดินขาวจะช่วยทำให้เราสามารถทำนายคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นซึ่งมีแร่ดินเหล่านั้นผสมอยู่ได้ดีพอสมควร คุณสมบัติที่เราควรจะได้ศึกษา คือ

ขนาด (Particle size) คุณสมบัตินี้มีความสำคัญมากอันหนึ่ง เพราะว่ามันเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางด้านความเหนียว (Plasticity) และการหดตัวเมื่อแห้ง (drying shrinkage) โดยทั่วไปดินเม็ดละเอียดจะให้ความเหนียวและการหดตัวเมื่อแห้งมากกว่าดินเม็ดหยาบ

รูปร่าง (Particle shape) แร่ดินขาวอนุภาคของมันมีรูปร่างเป็นแผ่นหกเหลี่ยม มีขนาดจาก 0.05 ถึง 10 ไมครอน โดยเฉลี่ยขนาดอยู่ระหว่าง 0.5 ไมครอน

คุณสมบัติเมื่อแห้ง (Drying properties) การหดตัวเมื่อแห้งของแร่ดินล้วนๆ ส่วนมากจะไม่ค่อยสนใจ เพราะว่าเนื้อดินปั้นมักประกอบด้วยแร่หลายอย่าง แต่อาจกล่าวได้กว้างๆ ว่าของละเอียดๆมีการหดตัวมากกว่าของหยาบเมื่อปล่อยทิ้งไว้ให้แห้ง

ความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Green strength) การหดตัวคุณสมบัติสำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อจะนำแร่ดินขาวไปใช้ในเนื้อดินปั้นซึ่งไม่มีดินเหนียวอยู่เลย เพราะว่าดินขาวเท่านั้นที่จะเป็นตัวช่วยให้ผลิตภัณฑ์ดิบมีความแข็งแรงมากหรือน้อยเพียงไร

คุณสมบัติหลังจากเผา (Firing properties) แร่ดินขาวมีการหดตัวมากหลังการเผา ไม่ควรใช้แร่ดินขาวล้วนเป็นเนื้อดินปั้น แร่ดินขาวเมื่อเผาแล้วจะหดตัวประมาณ 20%

1. 2 ดินเหนียว (Ball Clay)

ดินเหนียว หมายถึงดินที่มีสีขาวหรือขาวคล้ำจนถึงดำสนิท มีแหล่งสะสมในที่ลุ่ม มีเม็ดละเอียดมีอินทรีย์สารเจือปน มีความเหนียวดีส่งผลให้มีความแข็งแรงต่อผลิตภัณฑ์เมื่อยังไม่เผามากกว่าดินขาว หลังจากเผาดินจะมีสีขาวหรือสีซีดจาง

เหตุผลที่เราต้องนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกมีด้วยกัน 4 ประการ คือ

1. ช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของเนื้อดินปั้นให้ดีขึ้น ทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดีขึ้น

2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ก่อนเผาให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้การสูญเสียเนื่องจากการแตกหักของผลิตภัณฑ์ที่ยังไม่เผาในขณะมีการเคลื่อนย้ายลดน้อยลง

3. ช่วยทำให้น้ำดินที่ใช้ในการเทแบบมีการไหลตัวดีขึ้น

4. ดินเหนียวบางชนิดมีความสามารถช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างมวลสารในเนื้อดินปั้นในขณะทำการเผา เป็นผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกันตลอด

การนำดินเหนียวมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกมีข้อเสีย คือ

1. ในดินเหนียวมักมีสิ่งสกปรก ซึ่งเมื่อเผาแล้วจะทำให้ความขาวของเนื้อผลิตภัณฑ์เสียไป

2. ทำให้ความโปร่งแสงของผลิตภัณฑ์น้อยลง

3. ดินเหนียวมีส่วนประกอบไม่แน่นอน ทำให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมน้ำดินสำหรับเทแบบ

4. ดินเหนียวมีการหดตัวสูง ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังจากเผาแล้วบิดเบี้ยวได้ง่าย

คุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียว

1. ขนาด ดินเหนียวจะมีขนาดของเม็ดดินละเอียดมาก ซึ่งความละเอียดมากน้อยขึ้นอยู่กับแหล่งที่พบ แต่จะละเอียดกว่าดินขาว

2. ความเหนียว โดยทั่วไปแล้วดินเหนียวมีความเหนียวดีกว่าดินขาว การผสมดินเหนียวลงไปในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้การขึ้นรูปได้ดีขึ้น

3. การหดตัวเมื่อแห้ง ดินเหนียวมีการหดตัวมากน้อยแตกต่างไปตามแหล่งที่พบ ถ้าเป็นดินเหนียวที่มีปริมาณซิลิกาสูงแทบจะไม่มีการหดตัวเลย แต่ถ้าเป็นดินเหนียวที่มีอินทรีย์สารสูงจะมีการหดตัวประมาณร้อยละ 15

4. ความแข็งแรงก่อนเผา ปกติดินเหนียวจะมีความแข็งแรงกว่าดินขาว ดินเหนียวที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อผสมในเนื้อดินปั้นจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูงตามด้วย

5. สมบัติหลังเผา ขึ้นอยู่กับว่าหลังเผาแล้วดินมีสีอย่างไร เนื้อดีหรือไม่ ดินเหนียวบางชนิดมีไมกาประกอบอยู่ด้วยเมื่อผสมในเนื้อดินปั้นแล้วเผาไมกาจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาในเนื้อดินปั้นให้เนื้อผลิตภัณฑ์แน่นและเนียนมากขึ้น

ในปัจจุบันดินเหนียวที่ผ่านการย่อยให้เป็นก้อนขนาดเล็กมาแล้ว สามารถหาซื้อได้จากซัพพลายเออร์หลายราย โดยดินที่มีขนาดใหญ่จะถูกนำมาย่อยโดยใช้เครื่องบดย่อยให้มีขนาดเล็กลงเหลือเพียง 0.5-2 นิ้ว ซึ่งไม่เพียงจะช่วยให้การตีดินโดยใช้น้ำทำได้เร็วขึ้นเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบดผสมของดินเหนียวรวมกับวัตถุดิบอื่นๆ ให้ดีขึ้นอีกด้วย เมื่อเร็วๆ นี้ได้มีการผลิตดินเหนียว (Ball Clays) ในรูปของดินท่อนออกมาขาย โดยดินเหนียวจะถูกนำไปรีดเป็นให้ท่อนก่อนแล้วตัดให้ได้ขนาดที่เล็กลง ดินเหนียวที่ซื้อมาเป็นพาเลทในลักษณะนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยทำให้การตีผสมดินในน้ำทำได้ง่ายขึ้นเท่านั้น แต่ยังทำให้การขนย้ายดินทำได้ง่ายกว่าดินที่ซื้อมาเป็นก้อนอีกด้วย

ดินเหนียวที่ซื้อมาเป็นพาเลทดังกล่าวจะนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับกลุ่มผู้ผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ เนื่องจากมีข้อดีหลายข้อที่พอจะสรุปได้ดังนี้

1. ช่วยให้การตีผสมดินทำได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพดีขึ้น
2. ไม่มีปัญหาเรื่องของกากค้างตะแกรง
3. ปริมาณความชื้นต่ำและมีการควบคุมให้คงที่
4. ช่วยให้การหล่อทำได้เร็วขึ้น หากน้ำดินมีค่าการไหลตัวที่สูงขึ้น
5. เพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงาน (Green Strength)
6. สามารถเพิ่มความหนาแน่น (Density) ของน้ำดินได้สูงถึง 1.65 g/ml

นอกจากนี้ ดินเหนียว (Ball Clays) อาจจะถูกผลิตมาในรูปของน้ำโคลน (Slop) หรือสารแขวนลอยก็ได้ ซึ่งถึงแม้ว่าจะทำให้ต้นทุนในการขนส่งเพิ่มขึ้นแต่ก็จะช่วยลดปัญหาให้กับผู้ผลิตในเรื่องของการตีผสมดินได้

1.3 หินฟันม้า (Feld spar)

หินฟันม้าใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกเพื่อเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้น หินฟันม้าจึงเปิดตัวเสริมให้มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแก้ว และช่วยส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติโปร่งแสงดีขึ้น หินฟันม้าไม่เพียงถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสูตรเคลือบทั่วไปเท่านั้น แต่ยังมีการนำมาใช้เป็นสารประกอบในเนื้อดินเซรามิกอีกด้วย

หินฟันม้าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญ โดยเป็นส่วนประกอบร้อยละ 10–50 ในเนื้อดินปั้นและร้อยละ 15–55 ในน้ำเคลือบ หินฟันม้ามีคุณสมบัติช่วยลดจุดหลอมละลายในการเผา ทำให้สามารถเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ที่อุณหภูมิต่ำลง นอกจากนั้นยังช่วยเพิ่มความโปร่งแสงให้แก่ผลิตภัณฑ์อีกด้วย จึงนิยมใช้ผสมในผลิตภัณฑ์พวกพอร์ซเลนซึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงในขั้นตอนการเผา นอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนผสมในน้ำเคลือบอุณหภูมิสูงด้วย

1.4 ปูนปลาสเตอร์ (Plaster of Paris)

ปูนปลาสเตอร์ในงานศิลป์ งานช่าง แบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

- **Industrial Molding Plaster** เรียกอีกอย่างว่าปูนชนิดอ่อน (soft plaster) เป็นปูนปลาสเตอร์ที่อ่อนที่สุด ไม่มีส่วนผสมของสารเคลือบแข็งที่ผิวหน้า (surface hardening additives)
- **Casting Plaster** เป็นปูนชนิดที่ใช้กันทั่วไป ผสมง่ายมีความหนาแน่น และความแข็งแรงของเนื้อปูนมากกว่า Industrial molding plaster เล็กน้อย
- **Art Plaster** มีลักษณะคล้ายกับ Casting plaster แต่ไม่แข็งเท่า

ปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งและมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของแม่พิมพ์ก็คือ การผสมกันของปลาสเตอร์กับน้ำ หรือเรียกว่า อัตราส่วนของปลาสเตอร์ต่อน้ำ (Plaster/Water Ratio) ในทางปฏิบัติคุณสมบัติของแม่พิมพ์อาจมีการเปลี่ยนแปลง อันเนื่องมาจากความเปลี่ยนแปลงหรือไม่สม่ำเสมอของปูนปลาสเตอร์ เมื่อทำการเติมน้ำลงในปูนปลาสเตอร์จะเกิดการดึงน้ำกลับเข้าไปในโครงสร้างอีกครั้ง (Rehydrate) ซึ่งทำให้เกิดการก่อตัวเป็นผลึกยิปซั่มขึ้น เมื่อปูนปลาสเตอร์เกิดการเซ็ทตัวน้ำที่อยู่ภายนอกโครงสร้าง (Uncombined Water) จะเกิดการระเหยออกไป ทำให้ทิ้งรูพรุนเปิด (Open Pore) เอาไว้ในโครงสร้าง ดังนั้นการเติมน้ำมากขึ้นในการผสมปูนปลาสเตอร์กับน้ำก็จะทำให้แม่พิมพ์หลังการแห้งตัวแล้วมีรูพรุนมากยิ่งขึ้น และทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของแม่พิมพ์ในระหว่างกระบวนการหล่อชิ้นงานมากขึ้นตามไปด้วย

แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการหล่อน้ำดิน (Casting Slips) โดยทั่วไปจะมีความพรุนตัวสูงกว่าแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปแบบเนื้อดินปั้น (Plastic Making) หรือเรียกว่า แม่พิมพ์สำหรับภาชนะทรงตื้น (Flatware Moulds)

สภาวะการเก็บรักษาปูนปลาสเตอร์โดยการเปิดหรือไม่เปิดถุงปูนเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของปูนปลาสเตอร์ โดยการเปลี่ยนเป็นปูนปลาสเตอร์ที่เก็บไว้ในถุงที่ปิดสนิท แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าส่วนผสมของปลาสเตอร์กับน้ำมีการไหลตัวมากขึ้น

ปูนปลาสเตอร์ที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

1. ต้องการน้ำผสมในการทำแบบน้อย แต่ได้น้ำปลาสเตอร์ที่มีการไหลตัวดี การผสมกันง่าย

2. ขณะแข็งตัวมีการขยายตัวน้อย

3. ระยะเวลาขณะที่เป็นของเหลวที่มีการไหลตัวดีนานพอที่จะทำงานได้โดยไม่ต้องรีบร้อน

4. เนื้อปลาสเตอร์มีสมบัติสม่ำเสมอโดยไม่ทำให้แบบที่ผลิตขึ้นในเวลาต่างกันมีสมบัติต่างกัน

5. มีการสึกหรออย่างสม่ำเสมอและเป็นไปอย่างช้า

สำหรับแม่พิมพ์หล่อแบบผลิตภัณฑ์เครื่องดินเผาที่ใช้ในโรงงานปัจจุบันนี้ นิยมใช้แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ เพราะสมบัติพิเศษต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. สามารถรักษารายละเอียดของแม่แบบไว้ได้

2. แม่แบบที่ได้จะมีสมรรถภาพการใช้งานดีเป็นเวลานาน

3. สามารถทำแบบให้มีความสามารถในการดูดซึมได้ตามต้องการ รูพรุนในเนื้อแบบไม่ยึดเนื้อดินไว้แน่น ทำให้ผลิตภัณฑ์หลุดจากแบบได้ง่าย

4. แบบที่ได้มีผิวเรียบและคงทน

5. ปูนปลาสเตอร์เมื่อแข็งตัวจะไม่มีเกรน ไม่มีจุดแข็งและจุดอ่อน ดังนั้นจึงเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมในการตัดเฉือน กลึง หรือแกะสลักลวดลายต่าง ๆ

การผสมและการเซ็ทตัวของปูนปลาสเตอร์

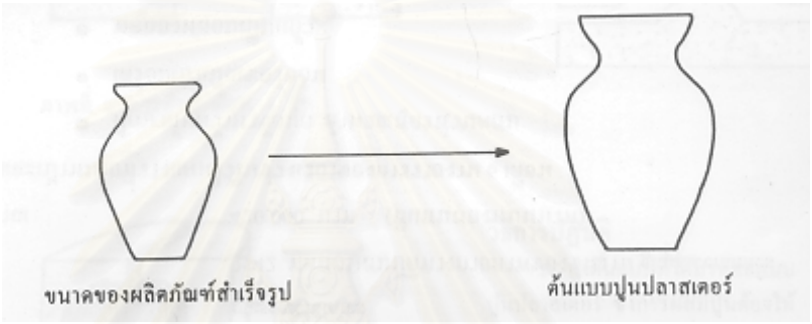
โครงสร้าง (Microstructure) และคุณสมบัติของแม่พิมพ์ปลาสเตอร์จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมระหว่างปูนปลาสเตอร์กับน้ำ โดยอัตราในการผสมและความยาวของช่วงเวลาในการผสมเป็นปัจจัยที่สำคัญมาก ในระหว่างเวลาที่ปลาสเตอร์กำลังเซ็ทตัว ผลึกจะกำลังเจริญเติบโต และถ้าผู้ที่ทำแม่พิมพ์ยังคงกวนผสมต่อเนื่องไป จะทำให้เกิดการทำลายการเจริญเติบโตของผลึกขึ้น นั่น

หมายความว่า แม่พิมพ์จะประกอบไปด้วยผลึกหลายๆ ผลึก ซึ่งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงในขนาดและรูปร่างของผลึกขึ้นอยู่กับกรรมวิธีที่ปลาสเตอร์ได้รับในระหว่างกระบวนการกวนผสม

ขั้นตอนการทำแบบพิมพ์

โดยทั่ว ๆ ไปนั้นจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน และเรียกตามลักษณะของแบบที่จะต้องทำขึ้นมาดังนี้คือ

1.แบบเหมือนหรือต้นแบบ (mold) ส่วนใหญ่แลจะสร้างขึ้นด้วยการปั้นด้วยดินเหนียวหรือดินน้ำมัน การแกะสลักหรือการกลึงด้วยปูนปลาสเตอร์ให้มีรูปร่างเหมือนแบบที่ต้องการโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นแบบของผลิตภัณฑ์เครื่องดินเผาจะต้องขยายสัดส่วนให้มีขนาดใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ต้องการเนื่องจากมีการหดตัวของเนื้อดินในระหว่างการผลิต ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การออกแบบต้นแบบปูนปลาสเตอร์

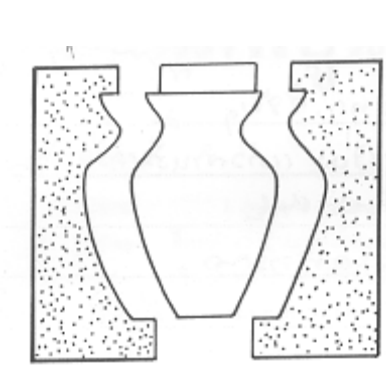
2. แบบพิมพ์สำหรับต้นแบบ (block mold) จากต้นแบบที่สร้างขึ้นแล้วก็จะนำมาพิจารณาแบ่งแนวรอยต่อของแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่เหมาะสม ให้มีชิ้นส่วนของแบบพิมพ์น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

3. การทำแม่พิมพ์ชิ้นเดียว แสดงในรูปที่ 3.4

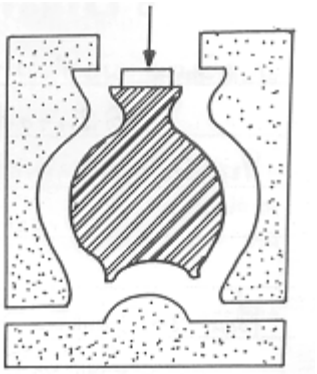
รูปที่ 3.4 การทำแม่พิมพ์ชิ้นเดียว

เมื่อเทปูนปลาสเตอร์ลงในแบบหรือลงบนแบบช่วงที่ปูนขยายตัวจะดันออกด้านข้างทำให้ถอดแบบได้ยาก แต่เมื่อปล่อยให้ปูนเย็นตัวลงจะหดลงทำให้ถอดแบบได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการทำแม่พิมพ์หรือแบบปูนปลาสเตอร์ที่เป็นการถอดแบบเพียงชิ้นเดียวจึงควรออกแบบให้มีรูปร่างง่ายขึ้น

4. การทำแม่พิมพ์มากกว่าหนึ่งชิ้น แสดงในรูปที่ 3.5-3.7



รูปที่ 3.5 การทำแม่พิมพ์ 2 ชิ้น



รูปที่ 3.6 การทำแม่พิมพ์ 3 ชิ้น

รูปที่ 3.7 การทำแม่พิมพ์ 4 ชิ้น

วิธีการปฏิบัติ

1. นำต้นแบบที่ได้มาหล่อปูนปลาสเตอร์ ซึ่งการผสมปูนต้องให้มีความเหลวพอสมควรเพื่อการดันตัวออกของฟองอากาศได้ง่าย ช่วยให้แบบปูนปลาสเตอร์ที่ได้มีผิวงามเรียบ

2. ก่อนหล่อแบบให้ทาน้ำสบู่ให้ทั่วและรอจนแห้งสนิทก่อนเทแบบมิฉะนั้นแล้วน้ำสบู่จะกองอยู่ ทำให้เนื้อปูนไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ จะเกิดเป็นรอยย่นที่ผิวแบบ

3. บริเวณรอยต่อของแบบควรจะต่อกันสนิทเพื่อไม่ให้เป็นจุดเสียในการหล่อชิ้นงาน เพราะบริเวณรอยต่อของแบบ ถ้าห่างมากจะทำให้ชิ้นงานเกิดจุดตัวและผนังไม่เรียบ

4. สร้างตัวล็อก สำหรับล็อกแม่พิมพ์ทุกชิ้น

5. แม่แบบสำหรับผลิตแบบพิมพ์ (case mold) ที่จริงตัวแบบพิมพ์สำหรับต้นแบบนั้นก็คือแบบพิมพ์ปลาสเตอร์ที่จะนำไปใช้ในการผลิตได้ แต่ในการที่ทำแบบพิมพ์ปลาสเตอร์จำนวนมาก ๆ

ได้นั้นจะต้องนำมาสร้างเป็นแบบไว้ก่อนเพื่อที่จะได้นำแม่แบบนี้ไปหล่อกลับเป็นจำนวนมากเท่าที่ต้องการจะใช้งานในการผลิตพร้อมๆ กันได้ แม่แบบนี้อาจจะสร้างขึ้นด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่มีความแข็งที่ผิวค่อนข้างดีและคงทนต่อการใช้งานหล่อปลาสเตอร์ระยะยาว เช่น ใช้ปูนปลาสเตอร์ชนิดแข็งพิเศษ เป็นต้น แต่ทั้งหมดนี้ จะต้องมีการพิจารณาสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดที่ใช้งาน เพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวของแม่แบบอันจะมีผลทำให้แม่แบบปูนปลาสเตอร์ที่ผลิตจากแม่พิมพ์จากวัสดุต่าง ๆเหล่านี้ประกอบกันได้ไม่สนิท มีรอยรั่ว หรือเกิดข้อบกพร่องอื่น ๆ ตามมาได้

6. แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์สำหรับใช้งาน (working mold) เป็นแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่ผลิตออกมาจากแม่แบบและจะเป็นตัวที่นำไปใช้หล่อชิ้นงานได้ทันที

การระวังรักษาแบบปูนปลาสเตอร์

ตามปกติแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์จะใช้งานได้ประมาณ 10 – 120 ครั้ง การระวังรักษามิให้เสื่อมเร็วกว่ากำหนดการระวังรักษาควรทำดังนี้

1. ก่อนที่จะใช้แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ควรตากให้แห้งเสียก่อนอย่านำมาใช้ทั้งที่เปียกอยู่
2. อุณหภูมิสำหรับการตากแห้งหรืออบแห้ง ไม่ควรเกิน 60°C
3. อย่าใช้แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ในขณะที่ยังร้อนอยู่
4. เก็บแบบพิมพ์ในที่แห้ง

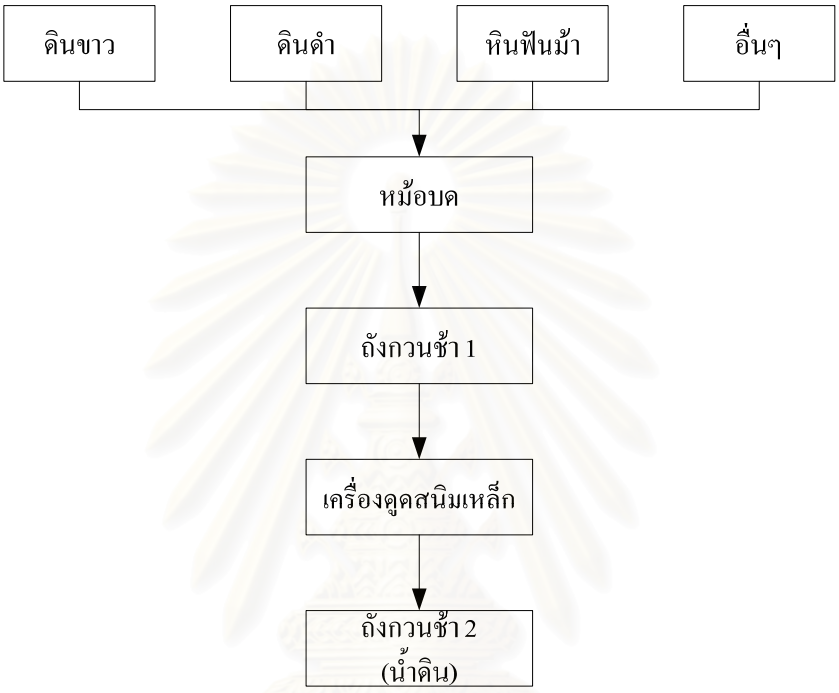
2. การเตรียมวัตถุดิบ

การผสมวัตถุดิบแต่ละชนิดมีเทคนิคอยู่ที่ลำดับก่อนหลังของการเติมวัตถุดิบลงในหม้อบด โดยที่วัตถุดิบที่มีความแข็งมาก เช่น หินฟันม้า ต้องใส่ลงในหม้อบดและบดก่อนเพื่อบดย่อยวัตถุดิบดังกล่าวให้มีความละเอียดในระดับหนึ่งก่อน จากนั้นจึงค่อยเติมดินขาวหรือวัตถุดิบที่บดง่ายตามลงไป สุดท้ายจึงเติมดินเหนียวหรือดินดำเพราะดินตัวนี้มีความละเอียดสูงอยู่แล้วจึงต้องการระยะเวลาการบดผสมไม่มากนัก ส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่า น้ำดินเหลว (Slip) โดยน้ำดินจะใช้ในกระบวนการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน (Casting)

- **น้ำดิน (Slip)**

หมายถึง ส่วนผสมของดินกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสมคือ จำกัดปริมาณของน้ำให้น้อยที่สุด โดยเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อช่วยให้ดินกระจายตัว ไม่ตกตะกอนและทำให้น้ำดินไหลตัวได้ดี สารแขวนลอยของดินหรือวัตถุดิบอื่นกับตัวหล่อลื่น (Lubricating Phase) ซึ่งส่วนมาก คือน้ำ และสารเคมีช่วยกระจายลอยตัว น้ำดินที่ใช้สำหรับขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นใช้กันมาประมาณ 150 ปีแล้ว โดยในสมัยเริ่มต้นยังไม่มีการเติมสารเคมีอะไรลงไปช่วยปรับคุณภาพของน้ำดินจึงมีเพียงดิน

และน้ำในส่วนผสมเท่านั้นทำให้ต้องใช้น้ำในปริมาณมากอาจสูงถึงร้อยละ 60 และมีปัญหาในการปฏิบัติงานค่อนข้างมาก ต่อมาจึงพยายามหาวิธีที่จะลดปริมาณน้ำในส่วนผสมให้น้อยที่สุดแต่สามารถใช้งานได้ดี โดยการใช้สารเคมีเพื่อปรับสมบัติให้เหมาะสม น้ำดินรวมทั้งน้ำเคลือบเป็นของไหลจำพวกหนึ่งประเภทสารแขวนลอย (Rheology) ซึ่งเป็นพวกเดียวกับหมึกพิมพ์และสี โดยต่างจากของไหลพวกน้ำ น้ำมันก๊าดและกลีเซอรีน และจากคำนิยามที่กล่าวว่า ของไหล (Fluid) หมายถึง สสารที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการเตรียมน้ำดิน (Slip)

- **การเตรียมวัตถุดิบสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดดินเหนียว (Plastic Pressing)**

จะเป็นกระบวนการต่อเนื่องจากการเตรียมน้ำดิน เมื่อน้ำดินผสมเข้ากันดี มีความละเอียดตามกำหนด ก็จะถูกถ่ายเทลงในถังกวนช้า (blunger) อีกทอดหนึ่ง เพื่อกวนผสมให้วัตถุดิบทุกชนิดผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงสูบน้ำดินจากถังกวนช้าผ่านเครื่องดูดสนิมเหล็ก เอาสนิมเหล็กที่มีผลต่อความขาวของเนื้อผลิตภัณฑ์เซรามิกออกจากเนื้อดินให้มากที่สุด น้ำดินจะถูกเก็บรวมกันอีกครั้งในถังกวนช้าอีกถังหนึ่งเพื่อสูบน้ำดินส่งไปยังเครื่องอัดรีดน้ำออกจากน้ำดิน (Filter press) ดินที่ได้จะอยู่ในรูปดินแผ่นหรือดินเค้กชื้น (Cake) หลังจากนั้นนำดินแผ่นที่ได้ไปเข้าเครื่องรีดดิน (Extruder) เพื่อปรับให้มีความเหนียวที่เหมาะสม และให้เนื้อดินแน่นตัวเป็นเนื้อเดียว มีการเรียงตัวของเนื้อดินในทิศทางเดียวกันรวมทั้งเพื่อกำจัดฟองอากาศออกจากเนื้อดินจนหมด ดินที่ได้จะถูกรีดออกมาเป็นแท่งทรงกระบอกและไม่มีฟองอากาศในเนื้อดิน จากนั้นเมื่อต้องการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ก็ตัดแบ่งดินไปใช้ตามประเภทของการขึ้นรูปจึงนำไปใช้งานขึ้นรูป

รูปที่ 3.9 เครื่องอัดรีดน้ำดิน (Filter press)

รูปที่ 3.10 ดินแผ่นหรือดินเค้กชื้น (Cake)

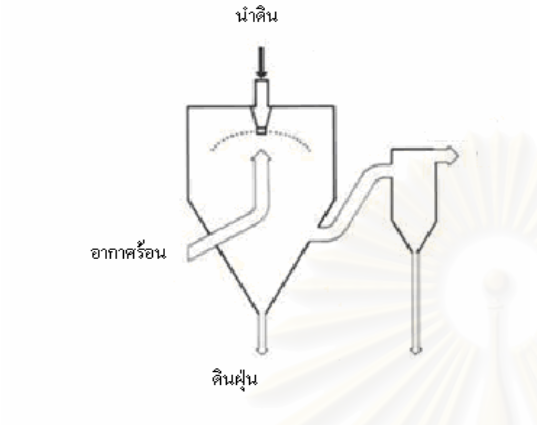
รูปที่ 3.11 เครื่องรีดดิน (Extruder)

รูปที่ 3.12 ดินแท่ง

- **การเตรียมดินผงเพื่อขึ้นรูปด้วยวิธีอัด**

การทำดินผงสำหรับการขึ้นรูปกระเบื้องหรือผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ ด้วยวิธีอัด เช่น อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล เป็นต้น การเตรียมวัตถุดิบเริ่มจากนำวัตถุดิบที่บดละเอียดตามสูตรที่เก็บไว้ในไซโลแต่ละไซโลป้อนลงสู่เครื่องชั่งที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำการชั่งให้ได้ตามสูตรที่กำหนดไว้และลำเลียงไปเก็บรวมกัน หลังจากนั้นนำวัตถุดิบที่ผสมรวมกันนี้ป้อนเข้าสู่หม้อบดแบบต่อเนื่องหรือหม้อบด (Ball Mill) โดยจะต้องปรับน้ำดินให้มีสมบัติเหมาะสมทั้งด้านความถ่วงจำเพาะและความหนืด น้ำดินที่ละเอียดดีแล้วจะไหลออกจากหม้อบดผ่านการกรองและการแยกเหล็กหลังจากนั้นจะถ่ายลงไปเก็บไว้ในบ่อกวน จากนั้นก็นำน้ำดินมาอบให้แห้งโดยน้ำดินจากบ่อกวนจะถูกสูบผ่านไปตามท่อและส่งเข้าไปในเครื่องพ่นแห้ง (Spray Dryer) เพื่อไล่ความชื้นออกจากน้ำดิน โดยน้ำดินจะถูกพ่นให้เป็นฝอยกระจายตัวอยู่ในเครื่องพ่นแห้งซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส น้ำดินเมื่อได้รับความร้อนความชื้นในน้ำดินจะถูกระเหยออกไปและจะรวมตัวกันเป็นฝุ่นหรือผงดินเม็ดเล็ก ๆ มีความชื้นประมาณ 6-7 % ตกลงมาด้านล่างของเครื่องพ่นแห้งซึ่งดินผงที่ได้จะถูกควบคุมขนาดเม็ดดิน (Grain) และปริมาณความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานที่ต้องการก่อนนำไปใช้งานและจะถูกลำเลียงไปตามสายพานแล้วนำไปเก็บไว้ยังถังเก็บผงดิน (Silo) เพื่อเตรียมขึ้นรูปกระเบื้อง ในส่วนผสมของเนื้อดินที่ใช้ทำ

กระเบื้องประกอบด้วยวัตถุดิบที่มีการหดตัวน้อย เนื้อดินที่ใช้ทำกระเบื้องไม่ต้องระวังเรื่องสีภายหลังการเผามากนักเพราะปกติกระเบื้องจะเคลือบด้วยสีทึบแสง การผลิตกระเบื้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตสูงเพื่อควบคุมผิวหน้าเรียบไม่โค้งงอต้องหดตัวเท่ากันทุกแผ่นต้องควบคุมอุณหภูมิการเผาให้เท่ากัน



รูปที่ 3.13 เครื่องพ่นแห้ง (Spray Dryer)

รูปที่ 3.14 การพ่นน้ำดิน

รูปที่ 3.15 ดินฝุ่น

3. กระบวนการขึ้นรูปเซรามิก

1. การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดิน (Casting)

การหล่อน้ำดินเป็นวิธีขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์หรือการอัดพิมพ์ การขึ้นรูปด้วยวิธีน้ำหล่อดินเหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานที่ยาก มีรายละเอียดมาก หรืองานที่ค่อนข้างซับซ้อน เช่น ชิ้นงานแกะสลัก ชิ้นงานที่มีรูปทรงเหลี่ยมหรือทรงอิสระต่างๆ เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ ชิ้นงานประเภทตั้งโต๊ะที่มีรูปทรงภายในกลวง เช่น กาน้ำชา-กาแฟ แจกัน ตุ๊กตาที่ระลึกต่างๆ วิธีการหล่อน้ำดินมีกระบวนการผลิตและตกแต่งผิวให้เรียบช้ากว่าวิธี จิกเกอร์ การขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อน้ำดินจะต้องอาศัยแบบพิมพ์จำนวนมากในการผลิต ถ้าเป็นพิมพ์ขนาดใหญ่หล่อได้วันละ 1 ชิ้นต่อพิมพ์ แต่ถ้าเป็นพิมพ์ขนาดเล็ก 2 ชิ้นต่อพิมพ์ต้องเสียเวลาในการอบแห้งนาน

1.1 การหล่อน้ำดิน (Casting)

หมายถึง การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยการเทน้ำดินเหลวลงในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ เนื้อปูนปลาสเตอร์มีรูเล็กๆ สามารถดูดซึมน้ำได้ดี รอจนกระทั่งแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ดูดซึมน้ำออกจากดินหล่อ เกิดการจับตัวของเนื้อดินที่ผิวปูนด้านในของแบบพิมพ์ จึงเทดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ การหล่อขึ้นรูป มีหลายวิธีที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิด และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงคุณภาพ และคุณสมบัติของชิ้นงาน

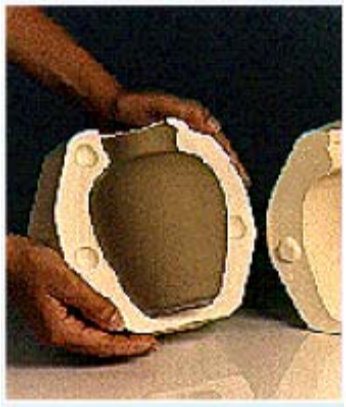
1.2 วิธีการหล่อน้ำดิน

- **การหล่อแบบเทออก (Drain Casting)**

เป็นการหล่อที่จะต้องเทน้ำดินส่วนเกินออกเมื่อหล่อได้ความหนาตามที่ต้องการ ใช้ในการหล่อผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกลวง โดยการเติมน้ำดินลงไปในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่แห้งสนิท บริเวณผิวพิมพ์ และเนื้อปูนปลาสเตอร์จะมีรูเล็กๆ ทำหน้าที่ดูดซับน้ำได้ดี เมื่อเทน้ำดินลงไปในแบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แบบพิมพ์จะดูดซับน้ำดินตรงบริเวณผิวพิมพ์ที่มีน้ำดินเหลวหล่ออยู่ กระบวนการดูดน้ำของแบบพิมพ์เป็นไปอย่างต่อเนื่องและช้าๆ ความชื้นของน้ำจะถูกดูดเก็บไว้ในแบบพิมพ์ขึ้นเรื่อยๆ การจับตัวของชั้นดินตรงบริเวณผิวปูนปลาสเตอร์จะเริ่มขึ้นและชั้นดินจะหนาขึ้นทีละน้อย เมื่อได้ความหนาที่ต้องการจึงเทน้ำดินส่วนที่ไม่แข็งตัวออก ทิ้งผลิตภัณฑ์ไว้ในแบบพิมพ์เพื่อปูนปลาสเตอร์ทำหน้าที่ดูดซับน้ำออกจากเนื้อดินต่อไปจนกระทั่งชั้นของดินเริ่มแข็งตัวหรือหดตัวลงเล็กน้อยรอจนกระทั่งเนื้อดินแข็งตัวพอสมควรสามารถหยิบจับได้โดยไม่ยุบเสียรูปทรงจึงแกะพิมพ์ออก ชิ้นงานจะมีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันตลอด นำผลิตภัณฑ์ออกมาตากลมทิ้งไว้จนแห้งแล้วจึงทำการตกแต่งรอยตะเข็บต่าง ๆ ใช้ฟองน้ำชุบน้ำเช็ดให้สะอาดเพื่อรอนำไปผ่านกระบวนการอื่น ๆ ต่อไป

รูปที่ 3.16 การเทน้ำดินใส่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

รูปที่ 3.17 แสดงการเทน้ำดินส่วนเกินออก



รูปที่ 3.18 การแกะพิมพ์ออกจากแบบ

รูปที่ 3.19 การตกแต่งชิ้นงาน

- **การหล่อน้ำดินแบบหล่อตัน (Solid Casting)**

หมายถึง การหล่อน้ำดินจนเต็มพิมพ์โดยไม่มีการเทน้ำดินส่วนที่เหลือออก ในปัจจุบันพิมพ์หล่อตันที่ใช้การเทหล่อไม่ค่อยนิยมกันมากนักเพราะมีเครื่องมือขึ้นรูปที่ได้ปริมาณมากกว่า พิมพ์ดีกว่า การใช้งานสะดวกกว่าคือ เครื่องอัดผลิตภัณฑ์ด้วยแรงอัดไฮดรอลิค (Ram press) พิมพ์หล่อตันส่วนมากผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้นมาจะไม่เป็นทรงกระบอกถ้าเป็นทรงกระบอกจะใช้วิธีการขึ้นอีกวิธีคือ จิกเกอร์ ซึ่งวิธีการหล่อตันแบบธรรมดามีดังนี้ นำน้ำดินมาเทลงในแบบพิมพ์โดยการเทน้ำดินมีเทคนิคในการเทคือต้องเทรูเดียวส่วนอีกรูเป็นตัวไล่อากาศทำให้น้ำดินเข้าไปทั่วถึงทั้งพิมพ์ เทจนน้ำดินล้นออกมาทางช่องหล่อ เมื่อหล่อได้ซักพักสังเกตดูที่น้ำดินในกรวยยุบตัวจนไม่ยุบอีกแล้วแสดงว่าน้ำดินกลายเป็นดินเต็มพิมพ์แล้วจึงยกกรวยออกและปล่อยทิ้งเอาไว้รอให้พิมพ์ดูน้ำจากน้ำดินจะทำให้ผลิตภัณฑ์หลุดร่อนได้ง่าย เมื่อได้ระยะเวลาจึงทำการแกะพิมพ์ แกะผลิตภัณฑ์ออกจากพิมพ์อาจใช้ค้อนยางเคาะหรือใช้ลมช่วยเป่าจะได้ผลิตภัณฑ์ เมื่อถอดพิมพ์ออกได้แล้วก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาเท่ากันทุกใบและได้ความหนาตามที่เรากำหนดหรือคำนวณเอาไว้

รูปที่ 3.20 การเทน้ำดินหล่อตัน

รูปที่ 3.21 การแกะพิมพ์หล่อตัน

1.3เนื้อดินสำหรับงานหล่อ

ดินที่ใช้ในการเตรียมน้ำดินหล่อ ควรเป็นดินเนื้อละเอียด ที่ล้างเอาเม็ดทราย และมลทินต่างๆ หรือเกลือ ละลายน้ำออกจากดินแล้ว ดินหล่อที่ดีควรมีน้ำผสมในส่วนผสมน้อยที่สุด เพื่อให้ถอดแบบพิมพ์ได้เร็ว และแบบพิมพ์ไม่เปียกชื้นเร็วเกินไป น้ำดินหล่อในอุตสาหกรรมที่ได้มาตรฐาน จะมีน้ำอยู่ประมาณ 25-30% และน้ำยากันดินตกตะกอน ในปริมาณ 0.2%

ปัญหาที่พบในการหล่อน้ำดิน

1. ผลิตภัณฑ์ที่หล่อแตกอยู่ในพิมพ์ก่อนการแกะแบบ
2. ผลิตภัณฑ์ติดแบบพิมพ์ไม่ยอมร่อน
3. ผลิตภัณฑ์บิดเบี้ยวหลังการเผา

2. การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว (Plastic forming)

เป็นวิธีการขึ้นรูปที่เก่าแก่ที่สุด การเตรียมเนื้อดินปั้นจะกระทำโดยการผสมดินกับวัตถุดิบอื่นๆ และนวดให้เข้ากันดีหรืออาจผสมในรูปของน้ำดินแล้วนำไปกรองให้เป็นแผ่นจากนั้นจึงนำไปขึ้นรูป ซึ่งอาจแบ่งได้เป็นอีกหลายวิธีย่อยๆ เช่น

- **การขึ้นรูปโดยอาศัยเครื่องจิกเกอร์ (Jiggering)**

เป็นวิธีที่ใช้ในมากอุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ดัดแปลงมาจากการขึ้นรูปโดยแป้นหมุน คือ เริ่มจากการวางเนื้อดินปั้นบนแบบปลาสเตอร์ซึ่งติดอยู่กับแป้นหมุน ซึ่งมีแม่แบบพิมพ์รูปแบบต่างๆแล้วใช้ใบมีดกดรีดให้เนื้อดินได้รูปร่างตามต้องการจะได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งด้านหนึ่งจะเหมือนแบบปลาสเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเหมือนแม่แบบที่กดลงบนเนื้อดินปั้น

การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีรายละเอียดน้อย ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปกลมและแบน เช่น แก้ว ถ้วย ชาม จานชนิดต่างๆ เป็นต้น การขึ้นรูปด้วยเครื่องจักรจะสามารถผลิตได้อย่างรวดเร็วและปริมาณมาก การขึ้นรูปต้องอาศัยแบบพิมพ์ที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์และใบมีดที่ทำด้วยเหล็ก

รูปที่ 3.22 การขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์

การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ต้องคำนึงถึง

1. แบบปลาสเตอร์ต้องมีสมบัติสม่ำเสมอ
2. เนื้อดินปั้นต้องมีสมบัติสม่ำเสมอ
3. เนื้อดินปั้นต้องวางตรงจุดกึ่งกลางของแบบ
4. ความเร็วของแป้นหมุนต้องพอเหมาะ
5. ปริมาณของน้ำที่ใช้ระหว่างเครื่องทำงานต้องเหมาะสม
6. การตากแห้งต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เพื่อผลิตภัณฑ์จะได้หลุดออกจากแบบได้ง่าย และไม่เกิดการโค้งงอ

- **การขึ้นรูปด้วยเครื่องโรลเลอร์แมชชีน (Roller Machine)**

สามารถขึ้นรูปได้เร็วกว่าวิธีจิกเกอร์ (Jiggering) เนื่องจากแรงกดของเครื่องสูงกว่า และใบมีดที่ดัดแปลงเป็นหัวหมุนโลหะลักษณะเป็นจาน หรือแท่งสามารถหมุนรอบตัวเองได้ในขณะที่กดลงมาที่แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่หมุนไปพร้อมๆกันด้วยความเร็วต่างกัน การทำงานของหัวหมุนดีกว่า ใบมีดแบบจิกเกอร์ (Jiggering) เพราะสามารถกดดินได้สม่ำเสมอกว่าไม้ปาดดินทำให้ดินเกิดแรงเค้น ลดการบิดเบี้ยวหลังการเผา ถ้วยกาแฟ เราใช้เครื่องขึ้นรูปแบบปั้นในชิ้นงานที่ภายในกรวง (Hollow Ware Jiggering) คือแทนที่จะกดพิมพ์จากด้านนอกก็จะใช้เป็นคว้านใน เครื่องโรลเลอร์เฮดมีประสิทธิภาพในการผลิตสูงกว่าเครื่องจิกเกอร์ธรรมดามาก การทำงานง่าย เพราะ ไม่ต้องใช้ช่างฝีมือในการขึ้นรูป สามารถผลิตชิ้นงาน โบนไชน่า และพอร์ซเลน ได้ดีทั้งๆที่เนื้อดินมีความเหนียวน้อย แต่ก็สามารถผลิตได้เร็วเป็น 6 เท่าของเครื่องจิกเกอร์ธรรมดา ดังนั้น จึงใช้เนื้อดินและแบบพิมพ์ในการผลิตต่อวันจำนวนมากต้องมีที่อบแห้งที่เพียงพอ

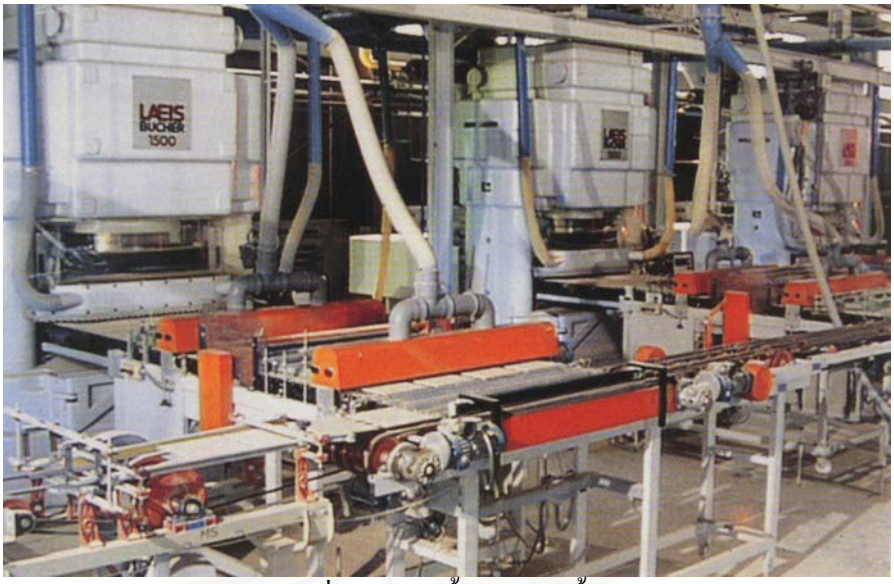
รูปที่ 3.23 การขึ้นรูปด้วยเครื่องโรลเลอร์แมชชีน

เนื้อดินที่ใช้กับเครื่องโรลเลอร์เฮดควรมีความเหนียว และมีความละเอียด ผ่านการบดและนวดด้วยเครื่องอัดสุญญากาศมาแล้วเพื่อเพิ่มความเหนียว ดินที่ใช้ในการขึ้นรูปจะต้องเป็นดินที่ค่อนข้างแข็งหรือเป็นดินเหนียว เนื้อดินที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยโรลเลอร์เฮดใช้ได้กับเนื้อดินทุกประเภท โดยเนื้อดินเอิรท์เทินแวร์และสโตนแวร์ที่มีความเหนียวมากสามารถขึ้นรูปได้เร็วกว่าเนื้อดินที่มีความเหนียวน้อย เช่น ดินปอร์ซเลนและโบนไชน่า

3. การขึ้นรูปด้วยการอัดดินฝุ่น (Semi-Dry Forming)

ใช้กับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้ในงานประยุกต์ทั้งทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า วิธีการขึ้นรูปคือ นำน้ำดินไปผ่านกระบวนการอบให้เกือบแห้งและย่อยเป็นผงหรือเป็นเม็ดขนาดเล็ก หรือใช้วิธีสเปรย์น้ำดินให้เป็นผงฝุ่นดินควบคุมความชื้นของผงดินอยู่ที่ประมาณ 8 - 10 % จากนั้นจึงนำผงดินไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปชนิดไฮดรอลิกส์ (อัดด้วยแบบโลหะด้วยแรงอัดที่สูง) หรือ เครื่องอัดชนิดอื่นๆ ตามแบบพิมพ์ที่ต้องการ ผงเนื้อดินปั้นกลมๆเคลื่อนที่ได้อิสระแต่มีความเหนียวไม่ดีเท่าที่ควร แต่เมื่อถูกแรงอัดจะอัดตัวกันได้หนาแน่นดี

การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นสามารถตัดปัญหาเรื่องเนื้อดินติดแบบพิมพ์ผลิตภัณฑ์หดตัวมากขณะผึ่งแห้งและหลังการเผา การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นนิยมใช้ทำกระเบื้องปูพื้นหรือบุผนังต้องใช้เครื่องอัดที่มีกำลังแรงอัดสูงแต่เครื่องอัดที่มีประสิทธิ์ภาพสูงมีราคาแพง ดังนั้นการผลิตกระเบื้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตสูง เพื่อควบคุมผิวหน้าเรียบไม่โค้งงอ ต้องหดตัวเท่ากันทุกแผ่น ต้องควบคุมอุณหภูมิการเผาให้เท่ากันรวมทั้งเครื่องเตรียมดินฝุ่นเพื่อการผลิตมีราคาแพงมากไม่เหมาะกับการลงทุนในโรงงานขนาดเล็ก



รูปที่ 3.24 การขึ้นรูปกระเบื้อง

4. กระบวนการตกแต่ง อบแห้ง และเผา

1. การตกแต่ง

หมายถึง การแก้ไขชิ้นงานที่มีรอยตะเข็บ ผิวไม่เรียบ หรือการประกอบชิ้นงาน ให้เกิดความสมบูรณ์ เพื่อให้ชิ้นงานเรียบร้อยก่อนที่จะนำไปเผา เนื่องจากเผาแล้วไม่สามารถจะแก้ไขได้อีก การตกแต่งชิ้นงานก่อนเผาสามารถทำได้หลายขั้นตอน

1.1 การตัดขอบและแต่งรอยตะเข็บ (Cutting and Trimming)

ในการหล่อน้ำดินแบบเทออกก่อนที่จะถอดพิมพ์ออกต้องตัดส่วนเกินของชิ้นงาน (Spare) ออกให้เรียบร้อยหลังจากถอดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์แล้ว ทิ้งชิ้นงานให้แห้งก่อนขูดแต่งรอยตะเข็บที่เกิดจากรอยต่อของแบบพิมพ์ออกให้หมด ถ้าพยายามแต่งรอยตะเข็บขณะที่ดินยังเปียกอยู่ แรงกดที่เราพยายามตัดแต่งตะเข็บจะปรากฏเป็นรอยบนผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดรอยนิ้วมือหลังการเผาได้ รอยตะเข็บของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยการหล่ออนุภาคของน้ำดินหล่อเรียงตัวไปตามรอยแหลมของตะเข็บถึงแม้จะแต่งรอยตะเข็บเรียบร้อยก่อนเผา แต่หลังการเผาจะเห็นรอยนูนขึ้นมาอีกได้ ดังนั้นการแต่งรอยตะเข็บของผลิตภัณฑ์บางชนิดจะต้องแต่ง 2 ครั้ง คือ ก่อนการเผาขณะเป็นดินดิบหนึ่งครั้ง และหลังการเผาดิบแล้วอีกหนึ่งครั้งเพื่อแก้ปัญหารอยนูนของตะเข็บภายหลังการเผา

1.2 การขูดแต่งผิวผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีกลึง (Turing)

วิธีนี้ต้องใช้เครื่องมือขูดที่มีความคมและแป้นหมุนช่วยในการแต่งก้นและแต่งผิวชิ้นงานขูดแต่งในขณะที่ชิ้นงานหมาดๆเกือบแข็ง การแต่งผลิตภัณฑ์ทำเพื่อวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ

- แต่งผิวผลิตภัณฑ์ให้เรียบ ขจัดรอยตะเข็บ
- ควบคุมความหนาบางของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอ

ปัจจุบันได้มีการนำเครื่องจักรมาใช้ในการขูดแต่งชิ้นงานและผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความประณีต เช่น โบนไชน่าและปอร์ซเลนจะต้องมีการขูดแต่งก้นและขาถ้วยให้ชัดเจนและสวยงามซึ่งทำขณะที่ดินแห้งตัวแล้ว

1.3 การติดส่วนประกอบของชิ้นงาน (Sticking Up)

การติดส่วนประกอบต่างๆ ของชิ้นงาน เช่น การติดหูถ้วยกาแฟ หูจับเหยือก หรือพวยกา ทำโดยใช้น้ำดินข้นเป็นตัวประสานทำให้ขณะที่ชิ้นงานหมาดๆ ยังมีความชื้นอยู่ ความชื้นจะต้องเท่ากันทั้งตัวและหู ปัจจุบันมีการคิดน้ำดินชนิดพิเศษสามารถติดชิ้นงานได้ในขณะที่แห้ง ในกรณีพื้นที่ในการต่อเชื่อมกว้างมากควรมีการขูดผิวให้เกิดรอยขรุขระก่อนทำการต่อเชื่อมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดติดให้ดีขึ้น ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่การต่อเชื่อมแบบอัตโนมัติด้วยเครื่อง ถูกนำมาใช้แทนคนส่วนใหญ่เป็นการติดหู

1.4 การขัดแต่งผิวด้วยแปรงและฟองน้ำ (Towing and Sponging)

ผลิตภัณฑ์ประเภทจานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีจิกเกอร์หรือโรลเลอร์แมชชีนจะต้องขัดแต่งส่วนเกินออกบริเวณขอบจานที่ติดกับแบบพิมพ์โดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติติดแปรงและแท่นหมุนจานทั้งตั้งประมาณ 10 ใบ โดยมีท่อลมสำหรับดูดฝุ่นซึ่งทำงานตลอดเวลาการตกแต่งขอบจานด้วยเครื่องนี้บางครั้งหลังการเผาดิบแล้ว ส่วนบริเวณภายในจานและด้านนอกลูบด้วยฟองน้ำแต่งผิวให้เรียบ

2. การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการผลิตเซรามิก ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วต้องรอให้แห้งสนิทก่อนนำไปเผาซึ่งการรอให้แห้งเสียเวลานาน กระบวนการผลิตไม่สามารถดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจึงต้องมีห้องอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วโดยใช้ลมความชื้น และอุณหภูมิช่วยในการอบแห้งได้สม่ำเสมอ การอบแห้งมีปัญหากับเนื้อดินที่มีการหดตัวสูงจากเปียกถึงแห้งซึ่งเป็นปัญหาบิดงอแตกร้าวของชิ้นงาน ตามหลักการแล้วการผึ่งแห้งชิ้นงานควรเป็นไปอย่างช้าๆ ค่อยเป็นค่อยไป ไม่ควรเร่งอัตราการอบแห้ง

2.1 ลักษณะของการอบแห้ง

- **การอบแห้งแบบฮอทฟลอร์ดรายเออร์ (Hot Floor Dryers)** การอบแห้งแบบนี้ใช้ห้องอบที่ได้รับความร้อนมาจากเตา ในส่วนของแก๊สที่ผ่านมาทางปล่องระบายความร้อนหรือวิธีอื่นที่จะให้ความร้อนผ่านเข้ามาในห้องอบ ไอน้ำจากผลิตภัณฑ์ที่ระเหยออกมาทำให้บรรยากาศในห้องอบค่อนข้างชื้น จำเป็นต้องมีการควบคุมความชื้นในห้องอบให้เหมาะสมและส่วนมากห้องอบแบบนี้ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่มาก
- **การอบแห้งแบบอาศัยความชื้นสัมพัทธ์** การอบแบบนี้อาศัยหลักที่ว่า ของที่เปียกอยู่จะไม่มีการระเหยถ้าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงมากแม้ว่าจะมีการเพิ่มอุณหภูมิก็ตาม
- **การอบแห้งโดยใช้กระแสไฟฟ้า** อาศัยหลักการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านเนื้อดินโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดินที่ขึ้นรูปด้วยจากท่อนดินขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมฉนวนไฟฟ้า ท่อนดินที่ผ่านเครื่องรีดดินจะมีขนาดใหญ่มาก การอบแห้งแบบทั่วไปไม่สามารถทำให้แห้งในเวลาอันสั้น

2.2 วิธีการแก้ปัญหาการแตกร้าวที่เกิดจากการอบแห้งผลิตภัณฑ์

- ให้ความร้อนและความชื้นคงที่ในการอบแห้งเพื่อป้องกันการแตกร้าว

- ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์หนาๆ ให้ทาไขบริเวณที่แห้งเร็วหรือบริเวณที่ชอบเกิดการแตกร้าว เพื่อยืดเวลาให้แห้งช้าลง

- วางผลิตภัณฑ์บนแผ่นรองรับที่มีผิวเรียบไม่โค้งงอ

- เพิ่มวัตถุดิบที่มีความเหนียวเพิ่มขึ้น เช่น ดินเหนียวคุณภาพดีในกรณีที่ผลิตภัณฑ์แตกหักได้ง่าย

สรุปการอบแห้งผลิตภัณฑ์

- เนื้อดินที่มีปัญหามากต้องคอยระวังให้แห้งช้าๆ
- ชิ้นงานในระหว่างการอบแห้งจะต้องไม่บิดเบี้ยวหรือมีรอยแตกร้าวก่อนเผาเพราะหลังการเผาจะเห็นการเบี้ยวมากขึ้นและแตกร้าวมากขึ้น
- ไม่ควรวางชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ไว้กลางแจ้ง โดนแดดข้างเดียวหรือโดนลมด้านเดียว เพราะชิ้นงานอาจเกิดการหดตัวไม่เท่ากัน ดังนั้นควรนำไปเก็บไว้ในห้องอบแห้งที่ควบคุมลม ความร้อน และความชื้น เพื่อลดปัญหาบิดเบี้ยวแตกร้าวก่อนเผา
- ผลิตภัณฑ์ที่มีหูควรให้หูแห้งพร้อมตัวชิ้นงาน ถ้าหูแห้งก่อนจะเกิดการหดตัวดีดออกจากตัวชิ้นงาน แตกร้าวได้ง่าย ควรใช้พลาสติกหุ้มบริเวณหูไว้หรือนำไปอบแห้งในห้องที่ควบคุมความชื้นให้แห้งช้าๆพร้อมๆกัน

3. การเผา (Firing)

การเผาในทางเซรามิก คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์เซรามิกในเตาภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้เป็นถาวรวัตถุที่มีความแข็งแกร่งเหมือนหินช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวรและสวยงาม

3.1 บรรยากาศที่ใช้ในการเผาเตาโดยทั่วไป

- บรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Firing) เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ และใช้ออกซิเจนมากเกินพอ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีออกซิเจนเหลืออยู่ การปรับสภาวะของเตาเผาโดยการเปิดปล่องไฟให้กว้างขึ้นเพื่อให้อากาศภายนอกเตาถูกดูดเข้าสู่ภายในเตาทางช่องเผาไหม้หรือการเพิ่มปริมาณอากาศที่ผสมลงในเชื้อเพลิง อาจสังเกตเชื้อเพลิงมีการเผาไหม้ดีและรวดเร็ว ไม่มีควัน

-บรรยากาศรีดักชัน (Reduction Firing) เป็นการเผาที่มีการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ เป็นการเผาผลิตภัณฑ์ในเตาเผาที่ลดปริมาณก๊าซออกซิเจนที่เข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้แล้วจะมีคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เหลืออยู่ ซึ้งที่อุณหภูมิสูงก๊าซนี้จะมีคุณสมบัติไวต่อการจับตัวของก๊าซออกซิเจนที่มีอยู่ในสารประกอบตัวอื่นในน้ำเคลือบและเนื้อดิน เพื่อให้ตัวเองกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในที่สุด ปฏิกิริยานี้จะเป็นผลทำให้สีของน้ำเคลือบและเนื้อดินเปลี่ยนไป ในเตาเผามีออกซิเจนไม่เพียงพอ

-บรรยากาศนิวทรัล (Neutral Firing) เป็นการเผาไหม้ที่สภาวะการเผาเป็นกลางระหว่างการเผาไหม้สมบูรณ์และการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อาจสังเกตได้จากการที่ภายในเตามีเปลวไฟน้อยมากสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ภายในค่อนข้างชัดเจน

3.2 การเผาเซรามิก

การเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกมี 3 ขั้นตอนดังนี้

1. การเผาดิบ (Biscuit Firing)
2. การเผาเคลือบ (Glost Firing)
3. การเผาตกแต่ง (Decoration Firing)

1. การเผาดิบ (Biscuit Firing)

ชิ้นงานที่ผ่านการอบแล้วยังคงมีความชื้นและสารอินทรีย์อยู่ในชิ้นงาน การเผาไล่ความชื้น และสารอินทรีย์ก่อนนำไปชุบเคลือบเป็นสิ่งที่จำเป็นเนื่องจากช่วยลดปริมาณน้ำในชิ้นงานซึ่งเป็นตัวการ

ทำให้เกิดแรงดันจนชิ้นงานอาจระเบิด ในการเผาเคลือบถ้าชิ้นงานถูกเผาดิบมาก่อนการเผาในช่วงแรกเร่งไฟเร็วขึ้นได้ การชุบเคลือบจะชุบได้ง่ายกว่าชิ้นงานที่ยังไม่ได้เผาดิบ บรรยากาศของการเผาดิบ คือ บรรยากาศออกซิเดชัน (Oxidation Firing: OF) ที่เผาบรรยากาศนี้ เพื่อเปลี่ยนเหล็กออกไซด์ในชิ้นงานให้อยู่ในรูปของสารประกอบของเฟอร์ริกออกไซด์

การเผาดิบ คือการเผาครั้งที่หนึ่งโดยยังไม่ได้ชุบน้ำเคลือบสามารถที่จะเผาในอุณหภูมิต่ำ หรืออุณหภูมิสูงก็ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบแล้วจะมีความพรุนตัวสูงเนื่องจากการเผาดิบจะเผาในอุณหภูมิต่ำ 750-800 องศาเซลเซียสทำให้ผลิตภัณฑ์สามารถดูดซึมน้ำเคลือบได้ดีเหมาะสำหรับผู้ไม่ชำนาญในการชุบเคลือบ เมื่อชุบเสียสามารถนำผลิตภัณฑ์ไปล้างเคลือบออกผึ่งให้แห้งแล้วนำมาเคลือบใหม่

สรุปการเผาดิบจะต้องเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ (Fully Oxidation) ตั้งแต่ต้นจนจบ 24-750 องศาเซลเซียสใช้เวลาประมาณ 6-7 ชั่งโมงระวังไม่ให้เกิดเขม่าหรือควันสีดำจับผลิตภัณฑ์ และเตาเผาถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ควรอุ่นที่อุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-4 ชั่วโมง ผึ่งในแสงแดดร้อนจัดอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปผลิตภัณฑ์อาจแตกได้ เผาเสร็จแล้วทิ้งให้เตาเย็นลงเท่ากับเวลาที่ทำการเผาห้ามเปิดเตาก่อนอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์กระทบอากาศเย็นนอกเตาจะแตกได้

2. การเผาเคลือบ (Glost Firing)

ชิ้นงานที่เผาดิบถูกนำมาชุบเคลือบแล้วเผาเพื่อให้เคลือบหลอมเป็นแก้วติดแน่นอยู่บนผิวชิ้นงาน การเผาเคลือบจะเผาที่อุณหภูมิเท่าใด ภายในบรรยากาศใดขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น การเผาผลิตภัณฑ์ปอร์ซเลน เริ่มต้นเผา ภายใต้บรรยากาศออกซิเดชัน ตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มจุดเตาจนถึงอุณหภูมิประมาณ 950 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเผาภายใต้บรรยากาศรีดักชัน (Reduction Firing : RF) จนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ ภาชนะที่ชุบเคลือบแล้วทุกชิ้นต้องเช็ดก้นผลิตภัณฑ์ให้หมดเคลือบเพื่อป้องกันการหลอมละลายของเคลือบติดบนแผ่นรองเตาเผา ผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจะต้องวางห่างกันเล็กน้อยไม่ให้น้ำเคลือบสัมผัสกันเพราะเคลือบจะหลอมติดกันเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง

ผลิตภัณฑ์ในเตาแก๊สควรวางห่างจากบริเวณหัวพ่นเล็กน้อย ถ้าผลิตภัณฑ์โดนเปลวไฟเลียเคลือบจะด่าง ในเตาไฟฟ้าอย่าวางผลิตภัณฑ์ชิดขดลวดมากเกินไปเคลือบจะไหลติดขดลวดเสียหายได้ ผลิตภัณฑ์ใหญ่ควรวางไว้กลางๆเตาให้ได้รับความร้อนสม่ำเสมอลดความบิดเบี้ยวหลังการเผา

วงจรในการเผาเคลือบ

ช่วงที่ 1 อุณหภูมิห้อง 24-950 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5-6 ชั่วโมง

ช่วงที่2 อุณหภูมิ950-1250 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง

หรือ 950-1250 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4-5 ชั่วโมง

ช่วงที่3 เผาแช่อุณหภูมิคงที่ (Soaking) 1250 องศาเซลเซียส = 15 นาที

การเผาในบรรยากาศสันดาปไม่สมบูรณ์ ต้องใช้เวลาในการเผา นานกว่าเตาไฟฟ้าเล็กน้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจุของเตาเผา เตามีขนาดใหญ่ จะต้องใช้เวลาในการเผานานขึ้น และแช่อุณหภูมิคงที่ไว้นาน 20-30 นาที โดยปกติเตาเผาทุกเตาบริเวณชั้นบนจะร้อนกว่าด้านล่าง 20-30 องศาเซลเซียส ผู้ใช้เตาควรสังเกตผลการเผาทุกครั้งเพื่อให้ทราบความแตกต่างของเตาเผาแต่ละเตา

3. การเผาตกแต่ง (Decoration Firing)

การตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความสวยงาม เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และเพิ่มความดึงดูดใจแก่ผู้พบเห็น การตกแต่งเซรามิกทำได้หลากหลายรูปแบบ เช่น การเขียนลวดลายด้วยสีเซรามิก การใช้สติกเกอร์หรือรูปลอกสำเร็จรูป การขูด ขีด เจาะฉลุลวดลายลงบนผลิตภัณฑ์เซรามิก แต่ทั่วไปแล้วแบ่งการตกแต่งผลิตภัณฑ์เซรามิกออกเป็น 2 แบบ คือ

3.1) การตกแต่งบนเคลือบ (Overglaze decoration)

ลวดลายทุกอย่างจะถูกตกแต่งบนผิวเคลือบที่ผ่านการเผาเคลือบแล้วจากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ที่ตกแต่งแล้วไปอบที่อุณหภูมิที่ต้องการ เช่น ประมาณ 600- 800 0C และลวดลายที่เกิดขึ้นจะปรากฏบนผิวเคลือบ การตกแต่งบนเคลือบ (Overglaze Firing) อุณหภูมิที่ใช้เผาตกแต่งบนจะขึ้นอยู่กับชนิดสี (Pigment) หรือประเภทวัตถุดิบที่นำมาทำสีว่าจะสุกที่อุณหภูมิใด

3.2) การตกแต่งใต้เคลือบ (Underglaze decoration)

การตกแต่งลวดลายจะทำลงบนผิวชิ้นงานที่เผาบิสกิตแล้ว จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ตกแต่งเขียนลายแล้วไปชุบเคลือบและเผาเคลือบที่อุณหภูมิที่เคลือบสุกตัวจะได้ลวดลายที่ตกแต่งแล้วปรากฏอยู่ใต้เคลือบ หรือชิ้นงานที่เผาเคลือบแล้วนิยมตกแต่งด้วยสีหรือติดรูปลอก (Decal) ที่ทำขึ้นสำหรับตกแต่งสีโดยเฉพาะติดลงไปบนภาชนะที่เคลือบแล้วนำไปเผาเพื่อให้สิ่งตกแต่งติดทน

การเผาสีตกแต่งลอกและสีเงินสีทองจะต้องเผาในบรรยากาศสันดาปสมบรูณ์ตลอดการเผาจากอุณหภูมิห้องถึง 750 องศาเซลเซียสในเตาเผาไม่ควรมีความชื้นอยู่ ถ้าเตาเผามีความชื้นจากการเผาดิบ เมื่อนำสีทองเผาต่อจากเตาเผาดิบสีทองจะหมองเพราะไม่ชอบความชื้นสีเขียนก็จะพองเพราะมีความชื้นในเตาเผามากเกินไป ดังนั้น ถึงแม้ว่าอุณหภูมิในการเผาดิบที่ 750 องศาเซลเซียสใกล้เคียงกับการเผาสีตกแต่งก็ไม่ควรเอาชิ้นงานเขียนสีและติดรูปลอกเข้าเตาเผาในการเผาดิบเพราะชิ้นงานที่ออกมาจะมีตำหนิ ไม่ได้มาตรฐาน สีหมองคล้ำ หรือเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

4. การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์เซรามิก การบรรจุ และการจำหน่าย

4.1) การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์

จุดประสงค์ของผลิตเซรามิกในระบบอุตสาหกรรมคือ การทำผิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพหรือคุณสมบัติตรงตามความต้องการในการนำมาใช้ประโยชน์ ต้นทุนการผลิตต่ำ และสูญเสียน้อย ผลิตภัณฑ์ที่เผาเสร็จแล้วจะต้องได้ขนาด รูปร่าง สี และผิวตามที่ต้องการ การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตก่อนนำสินค้าออกสู่ตลาด การทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็นดังนี้ คือ

- ขนาด (Dimension) ผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องมีขนาดได้มาตรฐานเท่ากันทุกชิ้น เช่น กระเบื้องบุผนังและกระเบื้องปูพื้น ความเที่ยงตรงของขนาดกระเบื้องกำหนดไว้เป็นมาตรฐานไม่มากกว่าและไม่น้อยกว่าบวกลบ 0.25 % และขนาดความเที่ยงตรงของเครื่องสุขภัณฑ์กำหนดไว้ที่บวกลบ 2% การกำหนดมาตรฐานนี้เพื่อให้ทางโรงานตั้งเป็นเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพการผลิต

- ความพรุนตัวของเนื้อผลิตภัณฑ์ (Porosity) ผลิตภัณฑ์ที่ต้องใช้ในการชำระล้าง ซึ่งเปียกน้ำอยู่ตลอดเวลา หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความสะอาดปราศจากเชื้อโรคจะต้องมีผิวเคลือบเรียบ เนื้อดินไม่ดูดซึมน้ำ ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ ได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ อ่างล้างหน้า และภาชนะถ้วยชาม ต้องควบคุมให้เนื้อดินมีความพรุนตัวน้อยที่สุด หรือมีเนื้อหลอมคล้ายแก้ววิทเทรียส (Vitreous)

- ความแข็งแกร่งของผลิตภัณฑ์ (Strength) ผลิตภัณฑ์พวกโถส้วมและกระเบื้อง ต้องมีความแกร่งพอในการใช้งานได้ดี แต่ผลิตภัณฑ์ประเภท ถ้วยชามที่มีความบางและใช้งานหนักโดนน้ำหนักกระแทกจากการใช้งานบ่อยครั้งอาจเกิดปัญหาแตกร้าวได้ง่ายขณะใช้งาน ในการปรับปรุงความแข็งแกร่งของผลิตภัณฑ์ถ้วยชามต้องควบคุมวัตถุดิบทุกชนิด ควบคุมความแกร่งของเนื้อดินหลังการเผา และควบคุมน้ำเคลือบที่นำมาใช้เคลือบผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการเผาจะถูกลำเลียงออกจากเตาทางประตูเตา และคัดแยกโดยการตรวจดูสภาพ เป็นกระบวนการคัดสันผลิตภัณฑ์เซรามิกให้ได้มาตรฐานตรงตามที่ลูกค้าต้องการ เช่น รูปทรง ขนาด ความสวยงาม การไม่มีร่องรอยตำหนิ หรือ ความเสียหายใดๆ ซึ่งราคาจำหน่ายขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โรงงานอุตสาหกรรมมักจะคัดแยกผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยจะแบ่งออกเป็น 3 เกรด ดังนี้

เกรดเอ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาสวยงามไม่มีตำหนิ ซึ่งเป็นที่ต้องการของผู้ผลิตและลูกค้า
เกรดบี คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความเสียหายเล็กน้อยและสามารถซ่อมแซมได้
เกรดซี คือ ผลิตภัณฑ์ที่เสียหายมากและสามารถซ่อมแซมได้

4.2) การบรรจุหีบห่อ

เป็นการป้องกันความเสียหายในเบื้องต้นให้กับผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ต้องการขนส่งหรือจัดส่งให้กับลูกค้า ซึ่งรูปแบบของบรรจุภัณฑ์มีหลากหลายรูปแบบ เช่น เข่ง ลัง และกล่องกระดาษ

4.3) การจำหน่าย

มีทั้งจำหน่ายหน้าโรงงานหรือการส่งออก (Outlet) การจำหน่ายให้กับลูกค้าของตนเองโดยตรงและการจำหน่ายผ่านคนกลาง (Trader)

3.3 ประเภทของเตาเผา

เตาเผาจำแนกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ เตาที่ใช้เป็นครั้งคราวไม่ต่อเนื่อง และ เตาประเภทใช้งานต่อเนื่อง ซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับกำลังการผลิตของโรงงาน ในกรณีที่โรงงานมีกำลังการผลิตมากทำงาน 24 ชั่วโมง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้เตาเผาแบบต่อเนื่องในมุมตรงข้ามถ้ากำลังการผลิตมีจำกัด ก็ต้องใช้เตาแบบไม่ต่อเนื่อง

1. เตาเผาแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch Type)

เตาชนิดนี้มีวงจรการทำงาน คือ เรียงผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาให้เต็มเตาก่อนแล้วจึงเริ่มเผาจนถึงจุดสุกตัวของผลิตภัณฑ์แล้วจึงดับไฟและปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว จากนั้นจึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตา เตาชนิดนี้มีหลายแบบ

- **เตาชัทเทิ่ล (Shuttle Kiln)**

ตัวเตาจะติดตั้งอยู่กับที่และสร้างบนฐานที่แข็งแรงมีประตูเตาที่สามารถยกขึ้นลงหรือเลื่อนเปิดปิดได้ทางด้านหน้าเตาหรือทั้งด้านหน้าและท้ายเตา ผลิตภัณฑ์จะเรียงบนรถที่สามารถเลื่อนเข้าออกเตาตามรางเลื่อน ตามรูปที่ 2

การก่อสร้างเตาชัทเทิ่ล (Shuttle) ผนังและหลังคาเตาหนาประมาณ 7 - 9 นิ้วประกอบด้วยอิฐที่เป็นฉนวนและทนไฟหนา 4 นิ้วอยู่ด้านใน และด้านนอกใช้ฉนวนกรุหนา 3-4นิ้วแล้วรัดตัวเตาด้วยกรอบโลหะ การก่อสร้างแบบนี้เป็นไปอย่างรวดเร็วและช่วยลดพื้นที่ลงได้ อีกทั้งยังสามารถทำให้การเผาและการปล่อยให้เย็นตัวลงเป็นไปได้อย่างรวดเร็วด้วย โดยหากเตามีขนาดที่เหมาะสมแล้วการเผาครั้งหนึ่งๆ ก็อาจใช้เวลาเพียง 24 ชั่วโมง เตาชนิดนี้นิยมเผาด้วยก๊าซโดยใช้หัวพ่นจำนวนหนึ่ง

พ่นไฟเข้าทางส่วนล่างของเตาทั้ง 2 ข้าง ถ้าเผาอุณหภูมิสูงก็อาจติดตั้งหัวพ่นตรงมุมของเตาเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนเร็วขึ้น

รูปที่ 3.25 เตาชัทเทิ่ล (Shuttle Kiln)

รูปที่ 3.26 เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln)

เตาชัทเทิ่ล (Shuttle) จัดเป็นเตาประเภทเผาไม่ต่อเนื่องที่เป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าเตาชนิดอื่น เหมาะกับโรงงานขนาดเล็กและโรงงานขนาดกลาง เตาชัทเทิ่ล (Shuttle) มีประสิทธิภาพในการกระจายความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับเตาอุโมงค์

2. เตาเผาแบบทำงานต่อเนื่อง (Continuous kiln)

- **เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln)**

เป็นเตาเผาที่เหมาะสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีการทำงานแบบต่อเนื่อง ประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาแบบแรก เป็นเตาเผาที่มีรูปร่างยาวเป็นเส้นตรงอยู่ในแนวระดับ ภาคตัดของเตามีขนาดสม่ำเสมอตลอดระยะทางที่ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ไป มีประตูเตาเผาอยู่ที่หัวเตาและท้ายเตา ในเตาอุโมงค์ทุก ๆ จุดจะมีอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลาดังนั้นผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นจะผ่านเส้นทางที่มีอุณหภูมิลักษณะเดียวกันตลอด ความร้อนของเตาจะเริ่มต้นจากปากเตาทีละน้อยจนถึงส่วนกลางเตา ณ อุณหภูมิที่ต้องการเผา เรียกว่า ช่วงเผา (Firing Zone) และค่อย ๆ เย็นลงจนถึงท้ายเตา ผลิตภัณฑ์จะสัมผัสโดยตรงกับก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้หรือผลิตภัณฑ์อาจจะถูกเผาโดยการแผ่รังสีความร้อนและการพาความร้อนก็เป็นได้

เนื่องจากเป็นการเผาตลอดปีไม่มีการหยุด ดังนั้นจึงต้องมีการบำรุงรักษาที่ดี และมีผลิตภัณฑ์ที่จะเผาป้อนให้เตาได้เพียงพอ มิฉะนั้นจะเสียเชื้อเพลิงไปโดยเปล่าประโยชน์

ข้อได้เปรียบของเตาอุโมงค์ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกชั้นดี เทียบกับเตาเผาเป็นครั้งคราว

1. อุณหภูมิภายในเตาคงที่และสม่ำเสมอทุกจุดในเตาและทุกระยะเวลาการเผา
2. ประหยัดเชื้อเพลิง
3. ลดจำนวนคนงานในการเรียงผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาและนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผา
4. วัตถุทนไฟที่ใช้ก่อสร้างเตามีอายุการใช้งานนาน
5. ประสิทธิภาพสูง
6. กำลังผลิตมีความสัมพันธ์กับกระบวนการของกลไกอื่นๆ

ข้อเสียของเตาอุโมงค์

1. ไม่สามารถสร้างในโรงงานสมัยเก่าได้ เพราะเตาอุโมงค์มีความยาวมาก
2. ต้องการการลงทุนสูง
3. เป็นเครื่องมือที่ทำงานเต็มที่ไม่สามารถลดอัตราเร็วลงได้ต่ำกว่าครึ่งของเดิม เตาขนาดใหญ่กว่าจะเผาหรือหยุดเตาได้กินเวลานาน เตาขนาดเล็กอาจหยุดเตาได้ในช่วงวันเสาร์และวันอาทิตย์

- **เตาที่ใช้แกนหมุนเป็นตัวพาผลิตภัณฑ์ผ่านเตาเผา (Roller Herarth kiln)**

เตาอุโมงค์ (Tunnel Kiln) ได้มีการพัฒนาเป็นเตาแบบโรลเลอร์ฮาร์ท (Roller Hearth Kiln) โดยเป็นเตาขนาดเล็กที่มีแกนหมุนซึ่งทำด้วยวัสดุทนไฟเป็นตัวพาผลิตภัณฑ์ลักษณะแบน หรือกระเบื้องผ่านเตาเผาบริเวณที่ร้อนจัด เพื่อให้สามารถพ่นความร้อนเข้าทางใต้ผลิตภัณฑ์ได้ โดยผลิตภัณฑ์จะวิ่งบนล้อเลื่อน (Roller) แทนที่จะวางเรียงบนรถเตา ผลิตภัณฑ์ที่เผาจะวางอยู่ในระดับเดียวกันหมดและมีเพียงชั้นเดียว

เตาชนิดนี้กำลังเป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นเตาเผาเร็ว (Fast firing) และใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมกระเบื้อง

รูปที่ 3.27 เตาแบบโรลเลอร์

รูปที่ 3.28 เตาแบบโรลเลอร์ฮาร์ท

บทที่ 4

การเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก

4.1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงาน (Energy Benchmarking)

การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงาน (Energy Benchmarking) เป็นกระบวนการในการประเมินและตั้งเป้าหมายเพื่อให้เกิดการปรับปรุงและผลสำเร็จ ซึ่งเป็นวิธีการปรับปรุงการทำงานที่ผ่านการพิสูจน์มาแล้วในหลายธุรกิจและใช้ได้ผลดีเป็นอย่างยิ่งในการบริหารจัดการด้านพลังงาน โดยการเปรียบเทียบสมรรถนะนั้นว่าด้วยการตั้งเป้าหมายขึ้นมาเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและปรับปรุงการทำงาน โดยจะเป็นตัวผลักดันในการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต

การเริ่มต้นกระบวนการเปรียบเทียบสมรรถนะจำเป็นต้องประมาณการถึงสภาพความเป็นไปของทั้งภาคอุตสาหกรรมและประมาณการถึงสถานภาพของบริษัทเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งภาคอุตสาหกรรมเป็นการเปิดโอกาสให้บริษัทได้รับรู้ถึงสัดส่วนการบริโภคพลังงานของตนเองโดยเปรียบเทียบกันภายในภาคอุตสาหกรรม

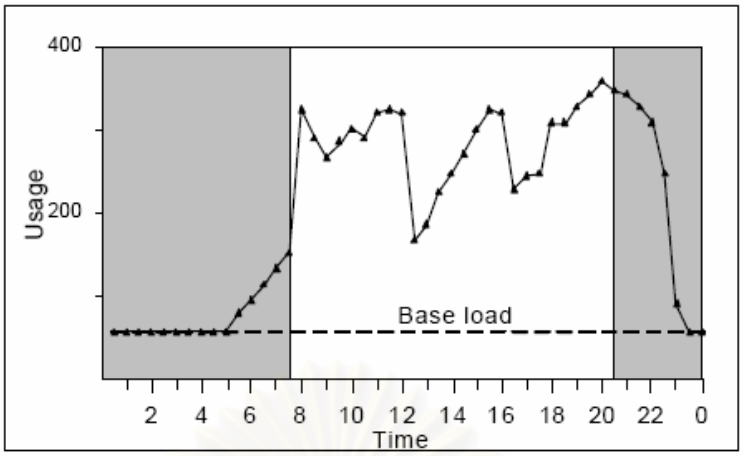
ในการบริหารพลังงานจะต้องมีการจัดตั้งโครงสร้างการบริหารพลังงานซึ่งจะนำไปใช้ตั้งเป้าหมายต่างๆ และนำโครงสร้างดังกล่าวไปใช้งานจริงกับโครงการต่างๆ เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายเหล่านั้นซึ่งในแง่ของการเปรียบเทียบสมรรถนะจะเป็นเป้าหมายในการประหยัดค่าใช้จ่ายเนื่องจากกระบวนการนี้เป็นตัวผลักดันในการลดต้นทุนนั่นเอง โดยสิ่งที่จะนำมาเป็นตัวชี้วัดนั้นจะต้องวัดได้ง่าย รวดเร็ว และแม่นยำ เพื่อความประหยัด ซึ่งจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

พลังงานทั้งหมดที่โรงงานใช้ประกอบด้วย (1) พลังงานส่วนกลางที่ระบบสนับสนุนการผลิตใช้ เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบบริการกลาง เป็นต้น พลังงานส่วนนี้ค่อนข้างคงที่แม้ผลผลิตจะเพิ่มหรือลดลงจะเรียกพลังงานส่วนนี้ว่า ภาระฐาน (Base Load) และ (2) พลังงานส่วนผันแปรกับปริมาณผลผลิต ดังนั้นพลังงานที่โรงงานใช้แสดงได้ด้วยสมการ

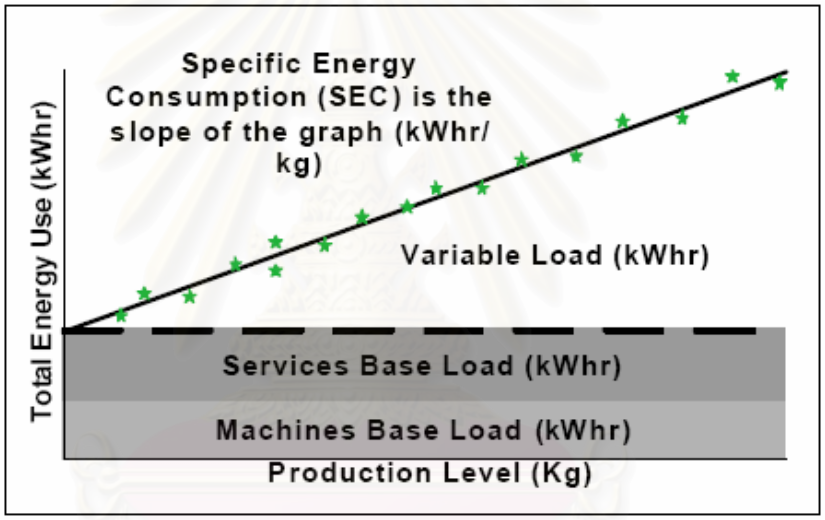
พลังงานทั้งหมดที่ใช้ไป = ภาระฐาน + (ปริมาณการผลิต × ดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ)

หรือ The totals Energy Used = Base Load + (Production volume × SEC)

โดยความหมายของภาระฐาน (Base load) และสมการข้างต้นนี้อธิบายได้ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ณ เวลาต่างๆ ซึ่งจะเพิ่มจากค่าภาระฐานขึ้นไปตามปริมาณการผลิต



รูปที่ 4.2 พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ซึ่งจะเพิ่มจากค่าภาระฐานขึ้นไปตามปริมาณการผลิต

โดยความชันของเส้นกราฟรูปที่ 4.2 คือ ค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม โดยกลยุทธ์ที่จะช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ก็คือ

1. การลดภาระฐาน (Base load) ซึ่งเป็นการลดต้นทุนคงที่ (fixed cost)
2. การลดค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งเป็นการลดต้นทุนแปรผัน (Variable cost)

ค่าที่จะนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดในการวัดเปรียบเทียบสมรรถนะนั้นได้แก่ ภาระของโรงงาน (Site load) ซึ่งรวมภาระฐาน (Base load) และภาระแปรผัน (Variable load) ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิต และค่าดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะของโรงงาน (Site SEC) วิธีปฏิบัติที่จะใช้

ต่อไป ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานหรือ SEC (Specific Energy Consumption) จะหมายความถึงพลังงานรวม (พลังงานใช้ที่ภาระฐานและใช้ที่ภาระผันแปร) หารด้วยผลผลิต

การเปรียบเทียบสมรรถนะสำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย ในปัจจุบันยังไม่มีการจัดทำอย่างเต็มรูปแบบ แต่ก็มีบางหน่วยงานของภาครัฐที่ดำเนินโครงการการเปรียบเทียบสมรรถนะ เช่น การเปรียบเทียบสมรรถนะทางด้านการแข่งขัน(Competitive benchmarking) สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิก ซึ่งจัดทำโดยสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม และสถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติได้จัดทำดัชนีชี้วัดกลางในการประเมินสถานประกอบการเซรามิก เป็นต้น

ปัญหาหลักของการเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงพลังงานของอุตสาหกรรมเซรามิกนั้น แบ่งเป็นหัวข้อหลักได้ดังนี้

1. ขาดศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล
2. ขาดมาตรฐานกลางในการเก็บข้อมูล
3. โรงงานมีจำนวนมาก ซึ่งแต่ละโรงงานมีขนาด ผลิตภัณฑ์ และสภาพเครื่องจักรที่แตกต่างกัน
4. ลักษณะการผลิต ปริมาณการผลิตและมูลค่าของสินค้าที่ผลิตแตกต่างกัน

สำหรับการเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงพลังงานของอุตสาหกรรมเซรามิกจัดว่าเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากโรงงานมีจำนวนมาก อีกทั้งยังมีความหลากหลายของขนาดโรงงาน สภาพแวดล้อม ลักษณะ/เทคนิคการผลิต เครื่องจักร และเทคโนโลยีการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งในส่วนของโรงงานขนาดใหญ่ หรือโรงงานที่อยู่ในเครือบริษัทขนาดใหญ่ไม่มีปัญหาสำหรับการสอบถามข้อมูล เนื่องจากมีมาตรฐานในการเก็บข้อมูลและ มีการเก็บข้อมูลพื้นฐานในส่วนนี้

ส่วนโรงงานขนาดกลางและเล็กนั้น อาจจะต้องเริ่มตั้งแต่การแนะนำวิธีการเก็บข้อมูลที่ถูกต้อง และชนิดของการเก็บข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ ซึ่งก็ต้องการทีมงานที่มีความรู้ความเข้าใจทั้งในเรื่องของการวัดสมรรถนะและการเปรียบเทียบสมรรถนะเป็นอย่างดี (Performance measurement and benchmarking) เนื่องจากผู้บริหารโรงงานขนาดกลางและเล็กส่วนใหญ่ยังมีความเชื่อเรื่องการเก็บข้อมูลต่างๆของบริษัทให้เป็นความลับ เพื่อที่จะไม่เสียเปรียบคู่แข่งขันรายอื่นๆ นอกจากนี้ข้อมูลที่นำมาเปิดเผยบางส่วนอาจทำให้เกิดผลกระทบทางด้านการเสียภาษีของเจ้าของโรงงานอีกด้วย

จากปัญหาที่กล่าวมาจึงจำเป็นต้องมีการจัดแบ่งกลุ่มการเปรียบเทียบสมรรถนะให้เหมาะสม ให้ความรู้ความเข้าใจในกระบวนการเปรียบเทียบสมรรถนะ และประโยชน์ที่จะได้รับจากการให้ความร่วมมือ ซึ่งต้นทุนด้านพลังงานในปัจจุบันก็จัดเป็นต้นทุนที่มีแนวโน้มจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ถ้าหากสามารถมีวิธีการที่จะช่วยให้โรงงานต่างๆลดต้นทุนในส่วนนี้ได้ ทางโรงงานก็น่าที่จะให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

4.2 การวัดค่าตัวชี้วัดที่สามารถทำได้โดยโรงงานเอง

สำหรับการหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน SEC ของโรงงานต้องอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณจัดซื้อวัตถุดิบ ผลผลิต และใบแจ้งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจะนำไปคำนวณหาค่าประมาณขั้นต้นของ SECโดยรวมของโรงงาน (site SEC) ได้ ซึ่งค่านี้จะสูงกว่าค่าของ SEC ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เนื่องจากผลของการใช้พลังงานไปกับการสร้างความร้อน แสงสว่างและสิ่งอื่นๆ ที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิต

ค่าประมาณ SEC โดยรวมของโรงงานที่มีกระบวนการผลิตเดียวจะเท่ากับปริมาณพลังงานโดยรวมรายเดือน หรือรายปีที่โรงงานใช้หารด้วยผลผลิตของช่วงเวลาเดียวกับที่การใช้พลังงาน ในรายโรงงานที่มีหลายกระบวนการผลิตให้จำแนกปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตของแต่ละกระบวนการผลิต แล้วนำผลผลิตไปหารปริมาณพลังงานที่กระบวนการผลิตนั้นใช้ที่ระยะเวลาเดียวกัน จะได้ SEC ของกระบวนการผลิตนั้น

สำหรับการหาค่าสมรรถนะรายเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ สามารถทำได้โดยใช้มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (Power meter) เพื่อทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องจักรนั้นใช้ขณะกำลังผลิตอยู่ กระบวนการขึ้นรูปสามารถทำได้เช่นกันโดยใช้มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (Power meter) เพื่อทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องจักรนั้นใช้ขณะกำลังผลิตอยู่ ภาระหรือกำลังไฟฟ้าของกระบวนการขึ้นรูปนั้นจะมีค่าที่แกว่งมากในแต่ละรอบการทำงาน (Cycle) การประมาณค่าภาระเฉลี่ยให้มีความแม่นยำนั้นจำเป็นต้องใช้ดุลยพินิจของพนักงานที่ควบคุมเครื่องจักรนั้น ซึ่งการวัดค่าแยกในแต่ละส่วนนั้นมักจะวัดที่ตู้ควบคุม ส่วนการวัดค่าโดยรวมของเครื่องนั้นให้วัดที่แผงจ่ายไฟย่อย (Sub-station distribution board) จะทำได้สะดวกกว่า ในส่วนพลังงานที่ใช้ทำความร้อนจะมีค่าเปลี่ยนไปตามการปริมาณที่ใช้แต่ละเตา สามารถที่จะหาได้จากการจดมิเตอร์แก๊สในแต่ละรอบการเผา พลังงานใช้ที่ระบบอากาศอัดโดยปกติจะไม่สามารถวัดแยกได้ว่ามีการจัดสรรการใช้พลังงานให้กับแต่ละกระบวนการผลิตในปริมาณเท่าไร ดังนั้นจึงจัดเป็นพลังงานในส่วนสนับสนุน ดังนั้นเมื่อวัดพลังงานนี่ใช้ในส่วนอื่นของกระบวนการผลิตจนครบรวมเป็นพลังงานรวมที่กระบวนการผลิตใช้ แล้วคำนวณ SEC ของกระบวนการผลิตแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Benchmarking) ของกระบวนการผลิตนั้น

4.3 การประเมินดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก

ด้วยโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งแต่ละประเภทจะมีโครงสร้างการใช้พลังงานที่แตกต่างกันไป ซึ่งจะทำให้โครงสร้างการใช้พลังงานมีความซับซ้อนมากขึ้นไปอีก ซึ่งส่งผลให้การตรวจวัดการใช้พลังงานหรือการเปรียบเทียบการบริโภคพลังงานมีข้อจำกัดและบ่งใช้ค่อนข้างชัดเจน โดยการเปรียบเทียบที่ดีจำเป็นต้อง

เปรียบเทียบกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่ทัดเทียมกัน โดยโรงงานอุตสาหกรรมเองก็ยังไม่มีความพร้อมในข้อมูลส่วนนี้มากนัก เช่นโรงงานที่มีมากกว่าหนึ่งกระบวนการผลิตแม้ว่าจะมีข้อมูลการใช้พลังงานรวมแต่จะไม่มีข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานแยกตามกระบวนการผลิต ข้อมูล ค่า SEC ของโรงงานซึ่งประเมินจากสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานของโรงงานรายวัน หรือรายเดือน หรือรายปีหารด้วยปริมาณผลผลิตของช่วงระยะเวลาเดียวกัน จึงเป็น SEC ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการผลิตหลายกระบวนการ

ดังนั้นเมื่อนำข้อมูล SEC ที่ประเมินโดยวิธีดังกล่าว ไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง (Benchmarking) จึงไม่สามารถประเมินว่ากระบวนการผลิตของโรงงานมีประสิทธิภาพดีหรือแย่กว่าค่าอ้างอิงมากน้อยเท่าใด เนื่องจากค่าเปรียบเทียบอ้างอิงนั้นจัดทำขึ้นจากกระบวนการผลิตประเภทใดประเภทหนึ่งเพียงอย่างเดียวและกำลังการผลิตเฉลี่ยค่าหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นหากโรงงานที่มีกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนในโรงเดียวต้องแยกแยะการใช้พลังงาน ปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานส่วนสนับสนุนการผลิต(Utility)ออกจากกันอย่างชัดเจนเพื่อนำมาคำนวณเป็นค่า SEC ของกระบวนการผลิตนั้นๆเพียงอย่างเดียว แล้วจึงจะสามารถเทียบเคียงสมรรถนะพลังงานได้ ซึ่งการแยกแยะข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิตนั้นสามารถทำได้ไม่ยากโดยการบันทึกและจัดการแยกระบบการจ่ายไฟฟ้า และส่วนสนับสนุนการผลิตต่างๆหรืออาศัยการตรวจวัดและคำนวณทางวิศวกรรมเพื่อประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตก็ได้แต่ต้องอาศัยความเข้าใจทางวิศวกรรมและระบบการผลิตที่ถูกต้อง ส่วนข้อมูลผลผลิตหรือการใช้วัตถุดิบของการผลิตแต่ละประเภทนั้น คาดว่าทางโรงงานมีการบันทึกอย่างละเอียดอยู่แล้วเป็นส่วนมากเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนสินค้า เพียงแต่ยังไม่ได้มีการรวบรวมประมวลผลมาเพื่อการคำนวณในลักษณะการใช้พลังงานอ้างอิงเท่านั้นเอง แต่อย่างไรก็ตามแนวทางการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานก็ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้อยู่ เพียงแต่จะต้องเข้าใจว่าการเปรียบเทียบนั้นต้องเปรียบเทียบบนบรรทัดฐานเดียวกัน ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์และการรวบรวมข้อมูลในระดับอุตสาหกรรมสามารถแสดงค่าดัชนี SEC เบื้องต้นของตามประเภทผลิตภัณฑ์ โดยโรงงานตัวอย่างที่ทำการตรวจวัดประกอบด้วย

โรงงานกระเบื้อง	3	โรงงาน
โรงงานเครื่องสุขภัณฑ์	3	โรงงาน
โรงงานลูกถ้วยไฟฟ้า	3	โรงงาน
โรงงานเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร	6	โรงงาน

โดยโรงงานที่เลือกเป็นตัวแทนของโรงงานขนาดกลางและใหญ่

ตารางที่ 4.1 ค่าดัชนี SECปฐมภูมิของการตรวจวัดในอุตสาหกรรมเซรามิก

ลำดับ	อุตสาหกรรมเซรามิก โดยแบ่งตามประเภทผลิตภัณฑ์	SECปฐมภูมิ ตรวจวัด (GJ/ton)	
		min	max
1	อุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร	24.60	53.16
2	อุตสาหกรรมเครื่องสุขภัณฑ์	14.65	22.88
3	อุตสาหกรรมกระเบื้อง	5.31	8.74
4	อุตสาหกรรมลูกถ้วยไฟฟ้า	25.35	38.61

ตารางที่ 4.2 SEC โรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 1		โรงงานตัวอย่างที่ 2		โรงงานตัวอย่างที่ 3	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	32.83		28.47		56.02	
การทำวัตถุดิบเปียกให้แห้ง (Spray drying)	9.95	-	26.1	0.7		-
การขึ้นรูป(Pressing)และอบ	15.22		42.61	0.61	85.96	
การเคลือบ	3.11		29.43			
การอบ	9.26	-				-
การเผา(เผาครั้งเดียว)	17.02	-	29.75	2.68	14.35	-
อื่นๆ	3.29		9.05		50.29	
SEC รวมทั้งโรงงาน	90.68	-	165.41	3.99	290.24	-

หมายเหตุ SEC, TH ไม่สามารถแยกได้ เพราะบางโรงงานไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์แก๊ส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 SEC โรงงานผลิตเครื่องสุขภัณฑ์

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 4		โรงงานตัวอย่างที่ 5		โรงงานตัวอย่างที่ 6	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ ทำน้ำเคลือบ	124.79		231.04	1.8	115.94	
การขึ้นรูปชิ้นงาน	72.39		74.66		29.60517	
การอบ	55.96	2.01	51.03	2.4		
การเคลือบ	99.7		25.01			
การเผาโดยใช้เตาอุโมงค์แบบดังเดิม	183.9	12.5	69.62	9.36		
หรือใช้เตาชัทเท่ล			90.32	13.13	123.93	11.62
การทำแม่พิมพ์	16.49	2.35		1.79		
Utilities	168.94		236.36		40.63	
อื่นๆ	29.95		24.55			
SEC รวมทั้งโรงงาน	782.12	16.86	716.33	14.29	320.19	11.62

ตารางที่ 4.4 SEC โรงงานผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 7		โรงงานตัวอย่างที่8		โรงงานตัวอย่างที่ 9	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	35.47		5.97		616.5	19.73
การขึ้นรูปชิ้นงาน	169.55				52.6	
การอบ	18.25	-				-
การเคลือบ					13.33	
การเผา	686.61	18.62	218.83	25.88		-
การบรรจุ	8.65					
Utilities	97.58					
SEC รวมทั้งโรงงาน	1122.25	18.62	863.29	25.88	705.2	

หมายเหตุ SEC, TH ไม่สามารถแยกได้ เพราะบางโรงงานไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์แก๊ส

ตารางที่ 4.5 SEC โรงงานผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 10		โรงงานตัวอย่างที่ 11		โรงงานตัวอย่างที่ 12	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	376.41	0.1	109.1		128.39	
การขึ้นรูปชิ้นงาน	179.53		53.79		126.23	
การอบ	30.31	13.99	6.06	1.88	97.85	
การเคลือบ	17.06		10.7		5.63	
การเผา	128.08	23.45	111.57	19.99	186.90	
การพิมพ์สี	385.16	3.44	323.33		61.57	
การทำน้ำเคลือบ						
การทำแม่พิมพ์	36.12	0.84			34.98	
Utilities	264.22		142.26		114.08	
SEC รวม	1416.89	41.82	756.8	21.87	752.17	

ตารางที่ 4.5 SEC โรงงานผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร (ต่อ)

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 13		โรงงานตัวอย่างที่ 14		โรงงานตัวอย่างที่ 15	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	58.15		41.14		53.04	
การขึ้นรูปชิ้นงาน	100.37		168.99	0.93	22.88	
การอบ	14.32		20.66	2.53		
การเคลือบ	17.27				6.77	
การเผา	184.83		115.87	32.57	102.33	
การพิมพ์สี	11.89				22.91	
การทำน้ำเคลือบ						
การทำแม่พิมพ์	34				0.63	
Utilities	167.31		255.84		170.87	
SEC รวม	635.88		837.13	36.03	585.65	

4.3.1 การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

<u>การเตรียมวัตถุดิบ</u>

เริ่มด้วยนำวัตถุดิบมาชั่งน้ำหนักและผสมตามสัดส่วนที่กำหนด หลังจากนั้นนำมาบดย่อยขนาดโดยใช้หม้อบด (Ball mill)และมีการเติมน้ำเพื่อผสมวัตถุดิบให้เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อได้ความละเอียดของน้ำดินตามที่กำหนดก็จะสูบน้ำดินลงบ่อกวน(Blunger) เพื่อเตรียมไว้ใช้ในกระบวนการต่อไป พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนการหมุนมอเตอร์ไฟฟ้าของหม้อบด(Ball mill) และเครื่องปั่นกวนวัตถุดิบ (Blunger) สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของกระบวนการเตรียมวัตถุดิบขึ้นกับชนิดผลิตภัณฑ์เพราะแต่ละชนิดต้องการความละเอียดของน้ำดินไม่เท่ากันทำให้ใช้เวลาในการบดไม่เท่ากัน พลังงานไฟฟ้าอื่นๆได้แก่ระบบแสงสว่าง ลมอัด จะไม่ได้นำมารวมในขั้นตอนนี้ แต่จะแยกเป็นส่วนสนับสนุน เพราะไม่สามารถแยกสัดส่วนได้ว่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเตรียมวัตถุดิบเป็นสัดส่วนเท่าใด

ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การใช้เทคโนโลยีการผลิตที่แตกต่างกันมีผลให้มีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน โดยการใช้พลังงานที่แตกต่างกันไม่ได้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับปริมาณการผลิตด้วย เช่น โรงงานผลิตกระเบื้อง(โรงงานตัวอย่างที่2) จะมีปริมาณการผลิตจำนวนมาก ดังนั้น หม้อบดที่ใช้จะเป็นแบบที่ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง (Continues Ball mill) ทำให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานในปริมาณที่น้อยกว่าโรงงานที่มีปริมาณการผลิตที่น้อย (โรงงานตัวอย่างที่ 6) ซึ่งจะผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้าและหม้อบดที่ใช้จะเป็นแบบธรรมดา คือผลิตเป็นชุดๆ ดังนั้นเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องจะมีการใช้พลังงานมากในช่วงเริ่มต้นเดินเครื่องซึ่งเกิดจากการกระชากไฟฟ้าตอนเริ่มต้น ทำให้เพิ่มค่าความต้องการพลังไฟฟ้าโดยเฉพาะมอเตอร์ที่หม้อบดทำให้เป็นการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็นแทนที่จะผลิตอย่างต่อเนื่อง

ในการเตรียมวัตถุดิบของกลุ่มของกระเบื้องปูพื้น หรือผนังกระเบื้องบุผนัง จะต้องเพิ่มเติมในส่วนของการเตรียมดินฝุ่น โดยเริ่มจากนำน้ำดินไปผ่านกระบวนการอบให้เกือบแห้งและย่อยเป็นผงหรือเป็นเม็ดขนาดเล็ก โดยใช้วิธีสเปรย์น้ำดินให้เป็นผงฝุ่นดินและควบคุมความชื้นของผงดินอยู่ที่ประมาณ 8 - 10 % พลังงานที่ใช้ประกอบด้วย พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งและย่อยน้ำดินให้เป็นผง และพลังงานไฟฟ้าในการขนถ่ายดินผงเพื่อเก็บในไซโลเพื่อรอการขึ้นรูป

<u>การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์</u>

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกที่อยู่ในกลุ่มที่เข้าศึกษา คือ

(1) การขึ้นรูปโดยการหล่อแบบ(Slip Casting) ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่รูปร่างซับซ้อน เช่นเครื่องสุขภัณฑ์

(2) การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว เช่น การขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์ (Jiggering)ใช้กับเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

(3) การขึ้นรูปโดยใช้แรงอัด ใช้กับผลิตภัณฑ์กระเบื้อง

กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์ จะใช้การขึ้นรูปโดยการหล่อน้ำดินแบบเทออก (Drain Casting) โดยน้ำดิน (Slip) จะถูกเทลงในแม่พิมพ์ โดยแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์จะหล่อขึ้นจากปูนปลาสเตอร์ น้ำดินจะถูกปลาสเตอร์ดูดด้วยแรงที่เกิดจากรูพรุนในแม่พิมพ์ เนื้อดินสะสมที่ผิวกลายเป็นผนังของผลิตภัณฑ์ (Cast) จะหนามากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป ซึ่งแม่พิมพ์ (mold) ก็จะชื้นมากขึ้นเช่นกัน ชิ้นงานและแม่พิมพ์จะถูกตั้งทิ้งไว้ตามระยะเวลาที่กำหนดจึงทำการถอดแม่พิมพ์เมื่อได้ความหนาของชิ้นงานตามที่ต้องการ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการหล่อน้ำดินเป็นพลังงานไฟฟ้าใช้เพื่อปั๊มน้ำดิน และพลังงานความร้อนที่ใช้เพื่อกระบวนการอบแม่พิมพ์เพื่อช่วยในการแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และอบแม่พิมพ์ให้แห้งก่อนนำไปใช้ใหม่

กลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารที่รูปทรงที่สมมาตรจะใช้การขึ้นรูปแบบด้วยเครื่องจิกเกอร์ (Jiggering) เช่น แก้วน้ำ ถ้วย เป็นต้น โดยเนื้อดินที่ใช้จะอัดจากเครื่องรีดดินแท่ง (extrusion) ออกเป็นแท่งทรงกระบอกแล้วนำมาตัดออกเป็นชิ้นขนาดที่มีเนื้อดินเพียงพอต่อการนำไปขึ้นรูป เริ่มจากการวางเนื้อดินปั้นบนแบบปลาสเตอร์ซึ่งติดอยู่กับแป้นหมุน ซึ่งมีแม่แบบพิมพ์รูปแบบต่างๆแล้วใช้ใบมีดกดรีดให้เนื้อดินได้รูปร่างตามต้องการจะได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งด้านหนึ่งจะเหมือนแบบปลาสเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเหมือนแม่แบบที่กดลงบนเนื้อดินปั้น พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับหมุนมอเตอร์เครื่องจิกเกอร์ (Jiggering) และพลังงานความร้อนที่ใช้เพื่อช่วยในการแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ส่วนชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมมาตร หรือซับซ้อนก็จะใช้การหล่อน้ำดินลงแม่พิมพ์

การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นนิยมใช้ทำกระเบื้องปูพื้น หรือผนังกระเบื้องบุผนัง การขึ้นรูปเริ่มจากการนำผงดินไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปชนิดไฮดรอลิกส์หรือ เครื่องอัดชนิดอื่นๆ ตามแบบพิมพ์ที่ต้องการ โดยต้องใช้เครื่องอัดที่มีกำลังแรงอัดสูง การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นสามารถตัดปัญหาเรื่องเนื้อดินติดแบบพิมพ์ พลังงานที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องไฮดรอลิกส์

ดังนั้น ในกระบวนการขึ้นรูปกลุ่มผลิตภัณฑ์ จาน ชาม ที่ใช้การขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์ (Jiggering) จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์ และการขึ้นรูปกระเบื้องปูพื้น หรือผนังกระเบื้องบุผนัง เนื่องจากการขึ้นรูปด้วยเครื่องจิกเกอร์ (Jiggering) มีการใช้พลังงานในการหมุนมอเตอร์เครื่องในปริมาณมาก ส่วนการขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดินใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อปั๊มน้ำดิน และการอัดดินฝุ่นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องไฮดรอลิกส์ถูกใช้ในปริมาณน้อยกว่า เพราะว่า สัดส่วนในการผลิตต่อครั้ง

การอบแห้ง(Drying) และการตกแต่งก่อนเผา

การอบแห้งเพื่อขจัดน้ำในผลิตภัณฑ์ก่อนกระบวนการเผา โดยใช้พลังงานความร้อนเพื่อไล่ความชื้นออกจากชิ้นงาน การใช้พลังงานในกระบวนการอบกลุ่มผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์จะมีการใช้พลังงานความร้อนในปริมาณที่มากสุด เพราะชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปยังมีความชื้นมากกว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่น อีกทั้งชิ้นงานยังมีขนาดใหญ่ ส่วนการใช้พลังงานในกระบวนการอบกลุ่มผลิตภัณฑ์กระเบื้องมีการใช้พลังงานความร้อนน้อยสุด เนื่องจากก่อนการขึ้นรูปดินฝุ่นที่มีความชื้นประมาณ 2-7% ดังนั้นชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปจึงมีความชื้นน้อยมาก ทำให้มีการใช้พลังงานความร้อนในการอบกระเบื้องในปริมาณน้อยที่สุด

การเผา(Firing)

การเผาในทางเซรามิก คือ การเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ผลิตภัณฑ์ในเตา ภายใต้บรรยากาศที่เหมาะสม เพื่อเปลี่ยนสภาพดินให้กลายเป็นวัตถุมีความแข็งแกร่งเหมือนหินช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดความคงทนถาวร และสวยงาม เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกมีอุปกรณ์หลักที่สำคัญที่มีการบริโภคพลังงานสูงคิดเป็นสัดส่วนกว่า 75% ของปริมาณพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรม คือ เตาเผา ดังนั้นเทคโนโลยีการเผาจึงมีส่วนสำคัญในการทำให้การบริโภคพลังงานมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลง โดยทั่วไปแล้วการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกจะเผาครั้งเดียว ยกเว้นกลุ่มของเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารจะเผา 2-3 ครั้ง ประกอบด้วย การเผาดิบ การเผาเคลือบ การเผาตกแต่ง

การเผาเครื่องสุขภัณฑ์ในโรงงานส่วนใหญ่จะใช้เตาแบบอุโมงค์ (Tunnel kiln) เป็นกระบวนการต่อเนื่อง หลักการคือ ให้ผลิตภัณฑ์วางเรียงบนรถเตา และรถเตาเคลื่อนผ่านไปในอุโมงค์เตา อุณหภูมิภายในเตาจะเป็นไปตามโปรแกรมการเผา (Firing program) โดยเริ่มจากอุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนไปถึงจุดสูงสุด และหลังจากนั้นระดับอุณหภูมิจะลดต่ำลง ระยะเวลานับจากนำชิ้นงานเข้าเตาจนถึงทางออกใช้เวลา 30 – 40 ชั่วโมง

ส่วนกลุ่มลูกถ้วยไฟฟ้าจะใช้เตาเผาแบบเตาชัทเทิล (Shuttle Kiln) โดยการเผาจะเผาเป็นแบบทีละชุด (batch) เนื่องจากลูกถ้วยไฟฟ้ามีขนาดที่หลากหลายและมีความสูงมากทำให้ไม่สามารถเผาด้วยเตาแบบอุโมงค์ (Tunnel kiln) ได้ เมื่อนำชิ้นงานเข้าเตาเผา จะเพิ่มและลดอุณหภูมิภายในตามโปรแกรมการเผา (Firing program) ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน

ส่วนกลุ่มของเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร และกระเบื้องจะใช้เตาแบบโรลเลอร์ฮาร์ท (Roller Hearth Kiln) โดยผลิตภัณฑ์จะวิ่งบนล้อเลื่อน (Roller) แทนที่จะวางเรียงบนรถเตาผลิตภัณฑ์ที่เผาวางอยู่ในระดับเดียวกันหมดมีเพียงชั้นเดียว

ตารางที่ 4.6 Thermal efficiency ในการเผา

Product		Conventional tunnel kiln (kcal/kg)	Roller hearth kiln (kcal/kg)
Table ware	Decoration	2500-4000	1500-2500
	Biscuit firing	2500-4000	1500-2500
	Glost firing	5000-7000	3000-4000
	In-glaze	4000-5000	2000-3000
Tile	Floor	2300-3500	1200-1400
	Wall	1500-2500	500-600
Sanitary ware		5000-7000	3000-4000

การใช้พลังงานในการเผาขึ้นกับประเภทผลิตภัณฑ์ เพราะเวลาในการเผาจะต่างกัน เช่น เครื่องสุขภัณฑ์ (Sanitary Ware) จะใช้พลังงานมากกว่ากระเบื้องปูพื้น (Ceramic Floor Tile) เพราะมีรูปร่างซับซ้อนและขนาดใหญ่กว่า ข้อมูลการใช้พลังงานที่เตาเผาในแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยเตาเผาที่ต่างกัน เตาเผาที่มีระบบการทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous kiln) จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเตาเผาที่มีระบบการทำงานเป็นแบบรอบ (Batch kiln) เนื่องจากมีปริมาณการสูญเสียพลังงานที่น้อยกว่า มีการนำความร้อนหมุนเวียนมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และมีการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการควบคุมการเผาไหม้ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพดีกว่า ด้วยวิธีการขึ้นรูปและการเผาชิ้นงานของแต่ละผลิตภัณฑ์จะต่างกันซึ่งมีผลต่อการใช้พลังงานที่ต่างกันด้วย เช่น รูปแบบของผลิตภัณฑ์เครื่องสุขภัณฑ์ (Sanitary ware) ซับซ้อนและใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น (เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร กระเบื้องปูพื้นและบุผนัง ฯ) ทำให้มีการใช้พลังงานมากกว่าดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อีกทั้งการใช้เทคโนโลยีการเผาที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าว่าเตาแบบโรลเลอร์ฮาร์ท (Roller Hearth Kiln) จะมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด แต่มีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น ขนาด รูปร่างของชิ้นงาน ทำให้ไม่สามารถใช้เตาเผาแบบโรลเลอร์ฮาร์ท (Roller Hearth Kiln)ได้ในทุกผลิตภัณฑ์ ถึงแม้ว่าเตาชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีที่สุดก็ตาม

4.4 การเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงาน (Energy Benchmarking) ในอุตสาหกรรมเซรามิก

การเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงาน (Energy Benchmarking) เป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการกำหนดเป้าหมายในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานและการวางแผนกลยุทธ์ทางด้าน

การจัดการพลังงาน ดังนั้นในประเทศต่าง ๆ โดยเฉพาะประเทศอุตสาหกรรมจึงพยายามหาวิธีการในการกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงาน เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงาน แต่การได้มาซึ่งเกณฑ์ดังกล่าวไม่ใช่เรื่องง่าย ทั้งนี้เพราะการบริโภคพลังงานในแต่ละอุตสาหกรรมมีความผันแปรไปตามกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีมักมีผลต่อผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรม ดังนั้นการปรับเปลี่ยนใด ๆ จะมีข้อจำกัด อาจเนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์จากลูกค้า ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีความพยายามที่จะหาวิธีการกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานที่น่าจะเหมาะสมกับอุตสาหกรรมแต่ละประเภท แต่ละกระบวนการผลิตและแต่ละเทคโนโลยี

สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกเนื่องจากการบริโภคพลังงานโดยประมาณ 80% เกิดขึ้นที่กระบวนการผลิต ดังนั้นกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันย่อมมีเกณฑ์การใช้พลังงานที่ต่างกัน โดยการใช้การจัดกลุ่มที่แยกย่อยลงตามกระบวนการผลิต ก็จะช่วยให้เกิดเกณฑ์การใช้พลังงานที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากประสิทธิภาพพลังงานไม่ได้ผันแปรตามกระบวนการผลิตแต่เพียงอย่างเดียว เทคโนโลยีการผลิตที่ต่างกันยังมีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานด้วย ดังนั้นเพื่อให้มีเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสม และมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่จะช่วยให้อุตสาหกรรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานให้ได้ตามเกณฑ์ จึงเสนอให้ใช้แนวทางดังนี้

- จำแนกกลุ่มอุตสาหกรรมแต่ละกลุ่มออกตามกระบวนการผลิต
- แต่ละกระบวนการผลิตให้กำหนดเกณฑ์อ้างอิง (SEC อ้างอิง)
- กำหนดค่าปรับแก้ (Correction Value) สำหรับแต่ละเทคโนโลยีที่ต่างจากเกณฑ์อ้างอิง
- อุตสาหกรรมแต่ละแห่งจะได้รับค่าเกณฑ์อ้างอิงและค่าปรับแก้ตามเทคโนโลยี เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของตนเอง ตามกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีของตนเอง ว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์หรือไม่

โดยอาศัยแนวทางข้างต้น จึงได้มีการกำหนดเกณฑ์อ้างอิง และค่าปรับแก้สำหรับแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมดังต่อไป

ด้วย SEC ของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดจะขึ้นกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และระยะเวลาของรอบการผลิต (Cycle) การประเมินว่าโรงงานใดมีค่า SEC เหมาะสมหรือไม่ให้เปรียบเทียบค่าSEC ของโรงงานนั้นกับค่าSEC อ้างอิง (Benchmarking) ของอุตสาหกรรมเซรามิกตามกระบวนการผลิต โรงงานสามารถประเมิน SEC ของโรงงานแต่ละกระบวนการแล้วเปรียบเทียบกับ ค่าSEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) ถ้าหาก SEC ของโรงงานใดสูงกว่า หมายถึงโรงงานนั้นมีการบริโภคพลังงานเกินค่ามาตรฐาน จึงสมควรดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

โรงงานที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่แตกต่างกันจะมีค่าSEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) ต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้โรงงานประเมินสมรรถนะของโรงงานเองอ้างอิงกับเทคโนโลยีที่โรงงานใช้ จึงกำหนดค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) สำหรับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.7 SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามผลิตภัณฑ์เซรามิก

ประเภทเซรามิก	SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking)		
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SECปฐมภูมิ GJ / ton
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Fine and Bone China*	1,336.00	27.2	37.89
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Hotelware*	755.6	25.1	31.14
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Earthware*	443.2	18.8	22.35
เครื่องสุขภัณฑ์	516	9.1	13.23
กระเบื้องบุผนัง	138.8	4.63	5.74
กระเบื้องปูพื้น	118.3	3.13	4.08
ลูกถ้วยไฟฟ้า	705	17.5	23.14
ผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทอื่นๆ	NA	NA	NA

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

กระบวนการผลิต	Fine and Bone China		Hotel Ware		Earth Ware	
	SEC Benchmarking		SEC Benchmarking		SEC Benchmarking	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	376.41		128.39		40.92	
การทำวัตถุดิบเปียกให้แห้ง (Spray drying)						
การขึ้นรูปชิ้นงาน	179.53		126.23		93.27	
การเคลือบ	17.06		5.63			
การอบ						
การเผาโดยใช้เตาอุโมงค์แบบดังเดิม หรือใช้เตาชัทเทิ่ล	102	27.17	186.9	25.08	91.58	
การพิมพ์สี	385.16		61.57		16.04	
การทำน้ำเคลือบ						
การทำแม่พิมพ์	36.12		34.98		5.02	
Utilities	210		114.08		195	

ตารางที่ 4.9 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เมื่อเตาเผาแบบโรลเลอร์ฮาร์ทแทนอุโมงค์

ประเภท	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
Fine and Bone China		20.90
Hotel Ware		16.72
Earth Ware		12.54

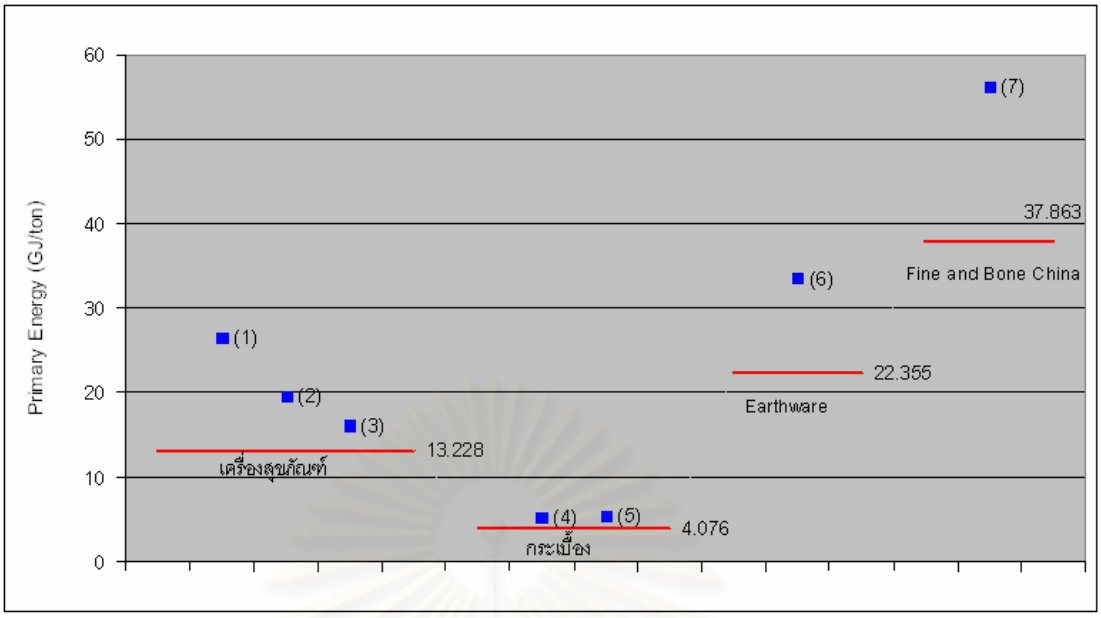
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามกระบวนการผลิตเซรามิก

กระบวนการผลิต	เครื่องสุขภัณฑ์		กระเบื้อง		ลูกถ้วยไฟฟ้า	
	SEC Benchmarking		SEC Benchmarking		SEC Benchmarking	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
เตรียมวัตถุดิบ	115		29.00		616.5	19.734
การทำวัตถุดิบเปียกให้แห้ง (Spray drying)			10.00	0.98		
ขึ้นรูปชิ้นงาน	70		42.00		52.6	
การเคลือบ	25		4.00		13.33	
การอบ			9.30	0.25		
เผา ใช้ Conventional tunnel kiln หรือใช้ Shuttle Kiln	70	9.10*	20.50	1.9		
พิมพ์สี ทำน้ำเคลือบ ทำแม่พิมพ์	16					
Utilities	170					

*ด้วยไม่มีการกำหนดพลังงานความร้อนที่กระบวนการอบชิ้นงานและแม่พิมพ์ในค่า SEC Benchmarking ดังนั้นโรงงานที่ไม่ได้ใช้ความร้อนทิ้งเพื่อกิจกรรมดังกล่าวให้เพิ่มSEC (ความร้อน) กระบวนการนี้ที่ SEC, TH ซึ่งถ้าใช้ Modern Tunnel Kiln SEC, TH=4.2 GJ/ton และถ้าใช้ Modern Shuttle Kiln SEC, TH=8.5 GJ/ton

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ

แสดงค่า SEC Benchmarking เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบของแต่ละอุตสาหกรรม

แสดงค่า SEC ของโรงงานตัวอย่าง

รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ ค่า SEC อ้างอิง กับ SEC โรงงานตัวอย่าง

จากรูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่า SEC อ้างอิง (SEC benchmarking) กับค่า SEC โรงงานตัวอย่างของแต่ละผลิตภัณฑ์ โรงงานตัวอย่างจะให้ค่า SEC สูงกว่าค่า SEC อ้างอิง (SEC benchmarking) ขึ้นกับระดับการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการ หากโรงงานนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามที่นำเสนอในเอกสารไปประยุกต์ใช้เพิ่มเติมในส่วนที่ยังไม่ได้ดำเนินการ จะทำให้ค่า SEC ต่ำลง ซึ่งแนวทางการอนุรักษ์พลังงานจะนำเสนอต่อไป

4.5 การปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

โรงงานในอุตสาหกรรมเซรามิกใช้พลังงานความร้อนที่สัดส่วน70-90 % ขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์ของการใช้พลังงานรวม อุตสาหกรรมมีอุปกรณ์ที่เหมือนกัน คือเตาเผา (Kiln) ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ก๊าซร้อนสะอาด ได้จากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (NG) หรือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) แต่ขนาดและชนิดของเตาต่างกันตามโรงงานเลือก และทุกโรงงานมีระบบผลิตวัตถุดิบโดยการบดที่ใช้อุปกรณ์หม้อบด (Ball Mill) และมีระบบลมอัดใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้า มาตรการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมที่นำเสนอ มีประกอบด้วย 4 อุตสาหกรรม คือ อุตสาหกรรมกระเบื้อง อุตสาหกรรมเครื่องสุขภัณฑ์ อุตสาหกรรมลูกถ้วยไฟฟ้า อุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร โดยโรงงานที่เลือกเป็นตัวแทนของโรงงานขนาดกลางและใหญ่ ดังนี้

อุตสาหกรรมกระเบื้อง

โรงงานตัวอย่างที่ 1

1. มาตรการจัดการให้เครื่องที่มีสมรรถนะสูงเดินเป็นเครื่องหลัก

ถ้าเครื่องอัดอากาศ 2 เครื่องมีระบบการควบคุมที่เชื่อมต่อถึงกัน และถูกกำหนดให้เดินเครื่องสลับกันทุกๆ 24 ชั่วโมง โดยขณะที่ตัวหนึ่งถูกใช้งาน อีกตัวหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นเครื่องอัดอากาศเสริม เพื่อการผลิตลมอัดให้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน ซึ่งเครื่องอัดอากาศแต่ละชุดจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน ดังนั้นโรงงานควรเดินชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก

โรงงานติดตั้งเครื่องอัดอากาศแบบสกรูขนาดพิกัด 6.1 m^3/min จำนวน 2 ชุด โดยเดินสลับไปมาซึ่งเครื่องอัดอากาศแต่ละชุดจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน ดังนั้นโรงงานควรเดินชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นหลัก

เครื่องอัดอากาศ NO. 1 ใช้พลังไฟฟ้าต่อปริมาณลมต่ำกว่า NO. 2 ดังนั้นโรงงานควรมีการใช้ให้มาก

เครื่องอัด	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)		ปริมาณอากาศ	kW / m3 /min
	LOAD	UN LOAD	(m3/ min)	
NO. 1	46.29	16.09	6.81	6.8
NO. 2	37.78	14.68	4.95	7.63

หมายเหตุ : ตรวจวัดที่ Pressure 6.0 บาร์เกจ

ขั้นตอนการดำเนินการและสภาพหลังปรับปรุง

โรงงานทำการเดินเครื่องอัดอากาศ NO. 1 จากเดิมปีละ 300/2 = 150 วัน เป็นเดินสัปดาห์ละ 5 วันคิดเป็นปีละ 260 วัน เพิ่มขึ้นจากเดิม 110 วัน

ระยะเวลาดำเนินการ	25	day/month
เงินลงทุน	-	Baht
ผลประหยัดที่ได้	28,963.79	Baht/year
ระยะเวลาคืนทุน	-	Year

การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ชั่วโมงการใช้งานที่เพิ่มขึ้น = 110 x 24

= 2,640 hr/year

ปริมาณอากาศโดยเฉลี่ย = (6.81 + 4.95) /2

= 5.88 m^3/min

ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น	=	7.63 – 6.80	
	=	0.83	$kW/m^3/min$
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	=	0.83 x 5.88 x 2,640 x 0.8	
	=	10,307.40	kWh/year
ค่าใช้จ่ายลดลง	=	10,307.40 x 2.81	
	=	28,963.79	Baht /year

สรุปได้ว่ามาตรการการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้เครื่องอัดอากาศชุดที่ประสิทธิภาพสูงเป็นหลักจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดเป็น 10,307.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 28,963.79 บาท/ปี และโรงงานควรตรวจสอบประสิทธิภาพอย่างสม่ำเสมอเพื่อจัดการการเดินเครื่องอัดอากาศ

โรงงานตัวอย่างที่ 2

1. มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ระบบลมอัด

การลดลมรั่วในระบบอัดอากาศจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานจากการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ได้ แนวทางการประเมินผลการประหยัดจากมาตรฐานการลดลมรั่วในระบบอัดอากาศ เช่น การปรับปรุงซ่อมแซมปืนลมและจุดรั่วไหลต่างๆของท่อส่ง การลดลมรั่วที่ดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้ 10 – 20% ของการใช้พลังงานของระบบผลิตลมอัด

โดยปกติเครื่องอัดอากาศของโรงงานมีเวลาการใช้งานเฉลี่ย 2,000 ชั่วโมง/ปี การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในเครื่องมือใช้ลมและการเป่าทำความสะอาดชิ้นงาน โดยความดันต้องการใช้งานประมาณ 7 บาร์เกจ

จากการตรวจวัดเครื่องอัดอากาศที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน เมื่อทำการเดินเครื่องอัดอากาศขณะที่ทางโรงงานไม่มีการใช้ลม (No load test) สามารถตรวจวัดพลังไฟฟ้าที่ใช้และจับเวลาการทำงานในแต่ละช่วง ทำให้ทราบว่าเกิดการรั่วไหลของระบบอัดอากาศในจุดใช้งานต่าง ๆ เช่น ข้อต่อลม วาล์วและท่อลมที่เป็นท่ออ่อน

แนวทางและขั้นการดำเนินการปรับปรุง

ทางโรงงานทำการสำรวจจุดที่มีการรั่วไหล หรือรณรงค์ให้เจ้าหน้าที่ที่ใช้เครื่องมือลมได้ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ตนเองใช้งานอยู่ว่ามีการรั่วของลมตรวจจุดใดบ้าง และแจ้งส่วนงานที่ดูแลรับผิดชอบให้ทำการแก้ไขเพื่อลดการรั่วไหลของระบบอัดอากาศ และยกเลิกท่อส่งจ่ายลมในส่วนที่ไม่มีการใช้งาน เนื่องจากหากไม่มีการใช้งานก็จะไม่มีการตรวจสอบการรั่วของลมในจุดนั้น ๆ

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมและแนวทางการขยายผล

โรงงานควรทำการตรวจสอบการรั่วไหลของลมอย่างสม่ำเสมอ โดยทำการเดินเครื่องอัดอากาศขณะที่ทางโรงงานไม่มีการใช้ลม (No load test) อย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง ทั้งนี้ก็เพื่อให้การใช้ลมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับอุปกรณ์ใช้ลมก็ควรมีประสิทธิภาพสูงด้วย ทั้งนี้ควรมีการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ลมว่ามีสภาพพร้อมใช้งานมากน้อยเพียงใดหรือควรซ่อมแซมเพื่อให้มีสภาพพร้อมใช้งาน

โรงงานควรมีการจัดทำแผนการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ตั้งแต่ต้นกำเนิดคือเครื่องอัดอากาศ ระบบส่งจ่ายคือท่อส่งจ่าย วาล์ว ข้อต่อ อุปกรณ์ใช้งานคือ อุปกรณ์นิวแมติกส์ และความเหมาะสมในการใช้งานลมอัด คือความเร็วลมหรือปริมาณลม เป็นต้น

การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากการสำรวจการใช้งานของระบบท่ออากาศอัดของโรงงานแห่งหนึ่ง ได้ข้อมูลดังนี้

ความดันของอากาศอัดในระบบ	=	7	บาร์เกจ
ขนาดรูรั่ว	=	3	มม.
จำนวนรูรั่ว	=	10	จุด
ราคาไฟฟ้าประมาณ	=	3.63	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
เวลาการใช้งาน	=	2,000	ชั่วโมง/ปี

ก่อนปรับปรุง

จากตาราง ที่ความดันอากาศอัด 7.0 บาร์เกจ ขนาดรูรั่ว 3.0 มม. จะได้

ปริมาณอากาศที่รั่ว	=	11.60	ลิตร/วินาที
	=	11.60 x 3	
	=	34.80	ลิตร/วินาที
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดอากาศสูญเสีย	=	0.2856	กิโลวัตต์/ลิตร/วินาทีFree Air

ตารางที่ 4.11 ปริมาณลมที่ปล่อยผ่าน Orifice ขนาดต่าง ๆ (ลิตรต่อวินาที, l/s)

ความดันลม		ขนาด Orifice (มิลลิเมตร , mm)						
กิโลปาสคาล (kPa)	บาร์ (Bar)	0.5	1	2	3	5	10	12.5
50	0.5	0.06	0.22	0.92	2.1	5.7	22.8	35.5
100	1	0.08	0.33	1.33	3	8.4	33.6	52.5
250	2.5	0.14	0.58	2.33	5.5	14.6	58.6	91.4
500	5	0.25	0.97	3.92	8.8	24.4	97.5	152
700	7	0.33	1.31	5.19	11.6	32.5	129	202

ผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุนหลังปรับปรุง

ปรับปรุงระบบโดยอุดรูรั่วทุกจุดจนไม่มีอากาศรั่วไหลออกจากระบบ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากการรั่วของอากาศอัดลดลง 10 %

ปริมาณอากาศที่รั่ว = 34.80 ลิตร/วินาที

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดลดลง = 34.80 x 0.2856 x 2,000

= 19,877.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากการรั่วของอากาศอัดลดลง 10 %

= 19,877.8 x 0.1

= 1,987.78 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 1,987.78 x 3.63

= 7215.65 บาท/ปี

เงินที่ใช้ในการเปลี่ยนอุปกรณ์ = 20,000.00 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = 20,000.00/7215.65

= 2.77 ปี

สรุปได้ว่าการลดลมรั่วในระบบอัดอากาศจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดเป็น 19,877.8 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 7215.65 บาท/ปี และระยะเวลาคืนทุน 2.77 ปี

โรงงานตัวอย่างที่ 3

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

1. ปรับปรุงระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์
2. การเปลี่ยนชนิดเตาเผามาใช้เป็นเตาเผาชนิดที่ประหยัดพลังงาน

3. การปรับปรุงการรั่วของลมอัดในระบบลมอัด

4. การปรับปรุงการเดินเครื่องอัดอากาศในระบบอากาศ

5. การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดการใช้งาน

การคำนวณมาตรการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเผาไหม้ของเตาเผา

ข้อมูลเบื้องต้น	หน่วย	
ชนิดของเชื้อเพลิง		LPG
รหัสเชื้อเพลิง (ใช้ในการคำนวณ)		
ค่าความร้อนเชื้อเพลิง,	kJ/kg	50220

		สถานะปัจจุบัน		ค่ามาตรฐาน	
ข้อมูลจากการตรวจวัด		เตา BK	เตา DK	เตา BK	เตา DK
อุณหภูมิอ้างอิง	^{0}C	30	30	30	30
อุณหภูมิอากาศเผาไหม้	^{0}C	30	30	80	80
อุณหภูมิไอเสีย	^{0}C	136.1	114.2	136.1	114.2
ปริมาณออกซิเจน	%	16.3	17.1	16.3	17.1
ปริมาณ CO	ppm	79	0	79	0
ความร้อนจำเพาะเฉลี่ยของไอเสีย	kJ/m^{3}N-C	1.39	1.39	1.39	1.39
รายการคำนวณ					
อัตราส่วนอากาศ(R)		4.47	5.38	4.47	5.38
อากาศสันดาปทางทฤษฎี(A_0)	m^3_N/kg_f	13.50	13.50	13.50	13.50
ไอเสียทางทฤษฎี(G_0)	m^3_N/kg_f	15.00	15.00	15.00	15.00
อากาศสันดาปจริง(A_0*R)	m^3_N/kg_f	60.33	72.71	60.33	72.71
ไอเสียจริง($G=G_0+A_0(R-1)$)	m^3_N/kg_f	61.83	74.20	61.83	74.20
ความร้อนช่วยเผาไหม้ในอากาศเผาไหม้	kJ/kg f	0	0	4193	5053
ความร้อนช่วยเผาไหม้ในอากาศเผาไหม้	%เชื้อเพลิง	0.00	0.00	8.35	10.06
ความร้อนของLPG ที่ใช้สำหรับเตาเผา	MJ/ปี	66,963,905.94		60,799,265.65	

รายการคำนวณการประหยัดพลังงาน*

ความร้อนในไอเสียที่ลดลง	%เชื้อเพลิง	9.21
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง	kg/ปี	122,752.69
ราคา LPG	kg/บาท	13.74
ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงที่ลดลง	฿ / ปี	1,686,662.31

อุตสาหกรรมเครื่องสุขภัณฑ์

เนื่องด้วยรูปแบบของผลิตภัณฑ์"เครื่องสุขภัณฑ์(Sanitary ware)" ซับซ้อนและใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น(เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร กระเบื้องปูพื้นและบุผนัง ฯ) เครื่องสุขภัณฑ์ใช้การขึ้นรูปแบบการหล่อแบบ เมื่อถอดชิ้นงานจะปล่อยให้แห้ง ตกแต่ง และเคลือบ(Glazing)โดยการพ่นน้ำเคลือบบนชิ้นงาน ปล่อยให้แห้ง นำเข้าเตาเผา การเผาเครื่องสุขภัณฑ์ในโรงงานตัวอย่างจะใช้เตาแบบอุโมงค์(tunnel kiln)ที่กระบวนการต่อเนื่องเป็นหลัก ระยะเวลานับจากนำชิ้นงานเข้าเตาจนถึงทางออกใช้เวลา 30 – 40 ชั่วโมงและเตาแบบชัทเทิ่ลที่ทำงานเป็นชุดๆ เมื่อนำชิ้นงานเข้าตู้ จะเพิ่มและลดอุณหภูมิภายในตามโปรแกรมการเผา ระยะเวลาที่ใช้ประมาณเท่ากับเตาอุโมงค์ ด้วยกระบวนการทำงานเป็นชุดๆ ความร้อนทิ้งในช่วงเวลาหล่อเย็นจะปล่อยทิ้งไม่ได้นำไปอุ่นชิ้นงานเหมือนการทำงานของเตาอุโมงค์ การใช้พลังงานของเตาชัทเทิ่ล จึงให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าเตาอุโมงค์ ดังนั้นมาตรการที่นำเสนอจะมุ่งเน้นที่จะนำเอาความร้อนทิ้งกลับมาใช้อุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเผา ฉะนั้นมาตรการที่นำเสนอแต่ละโรงงาน ประกอบด้วย

โรงงานตัวอย่างที่ 4

มาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่นำเสนอประกอบด้วยมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการและมาตรการอนุรักษ์พลังงานกึ่งเชิงลึก

มาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการ ประกอบด้วย

1. ออกแบบระบบลดความชื้นของแม่พิมพ์ที่มีประสิทธิภาพ ปัจจุบันเป็นแบบระบบเปิด มีการสูญเสียจำนวนมาก
2. ปรับปรุงเซรามิกไฟเบอร์ที่รถขนชิ้นงานเพราะค่อนข้างเสียหาย
3. พิจารณามาตรการอุ่นอากาศเผาไหม้ของเตาชัทเทิ่ล
4. สามารถนำก๊าซร้อนจากช่วงเย็นตัวมาอุ่นชิ้นงานก่อนจะเข้าเผาเหมือนโรงงานอื่น
5. การปรับปรุงการเดินเครื่องอัดอากาศในระบบอากาศ
6. การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานแก่เครื่องชิลเลอร์
7. การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดการใช้งาน

8. การปรับปรุงการรั่วของลมอัดในระบบลมอัด

มาตรการอนุรักษ์พลังงานกึ่งเชิงลึก ประกอบด้วย

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

การคำนวณปริมาณความร้อนของไอเสียที่ทิ้งออกจากเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดเตา	-	-
ชนิดเตา	-	Tunnel
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/m^3	36.04
อัตราการใช้เชื้อเพลิง	m^3/hr	87.60
อัตราการป้อนอากาศ	m^3/hr	1,051.20
อุณหภูมิอากาศเผาไหม้ที่จุดทางเข้าเตาเผา	^oC	30.00
ความหนาแน่นเชื้อเพลิงโดยประมาณ	kg/m^3	0.90
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลเชื้อเพลิงเผาไหม้	kg/hr	78.84
มวลอากาศเผาไหม้	kg/hr	1,187.86
อุณหภูมิอากาศทิ้งที่ปล่องเฉลี่ย	^oC	250.00
อัตราการไหลอากาศโดยมวล	kg/hr	1,266.70
เอนทาลปีอากาศทิ้งที่ปล่อง	kJ/kg	223.51
คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ปล่อยทิ้ง	kJ/hr	283,119.22

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานต่อตันที่โรงงานใช้ **	MJ/Ton	2,100.00
ปริมาณชิ้นงานที่โรงงานใช้	kg/hr	695.83
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานที่โรงงานใช้	kJ/hr	1,461,250.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการ

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ	kJ/hr	283,119.22
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/MMBtu	1,055.00
ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	MMBtu/hr	0.27
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	3.60

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** ค่า SEC waredry ดังกล่าวได้มาจากการเปรียบเทียบกับค่า SEC waredry ของโรงงานอื่นๆ

ดังนั้นการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 283,119.22 kJ/hr ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 3.60 %

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

การคำนวณปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
มวลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	291.67
มวลของอุปกรณ์เสริมอื่นๆที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	291.67
มวลรวมของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	583.33
ค่าความจุความร้อนของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kJ/kg.K	0.85
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อเริ่มเข้าช่วงเย็นตัว	^{o}C	800.00
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อออกจากช่วงเย็นตัว	^{o}C	100.00
ดังนั้นได้ความร้อนที่ต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว	kJ/hr	347,083.33

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้นำพาความร้อนออกจากเตาในช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
นำอากาศมารับความร้อนที่ออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว ไป	kJ/hr	347,083.33
อุณหภูมิของอากาศกระบวนการที่เข้าไปเย็นตัว	^{o}C	35.00
กำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเมื่อออกจากกระบวนการเย็นตัว **	^{o}C	250.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
ดังนั้นปริมาณอากาศสำหรับการเย็นตัว ซึ่งก็คือมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวและถูกนำไปปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ***	kg/hr	1,614.34

การคำนวณอุณหภูมิของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้หลังจากโดนอุ่นโดยอากาศที่ทิ้งจากเตาในช่วงเย็นตัว โดยใช้ Counter - flow Heat Exchanger

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
อัตราการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้	m^3/hr	1,051.20
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้	kg/hr	1,187.86
อุณหภูมิของอากาศจากกระบวนการเย็นตัว (อากาศร้อน)	^{o}C	250.00
อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) ก่อนผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (ก่อนการอุ่น)	^{o}C	35.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวกับมวลของอากาศสำหรับการเผาไหม้	-	0.80
ดังนั้นได้อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) หลังผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (หลังการอุ่น) ****	^{o}C	207.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการ

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
การอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ด้วยวิธีเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้	kJ/hr	204,311.23
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/MMBtu	1,055.00
ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	MMBtu/hr	0.19
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	2.60

ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 204,311.23 kJ/hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 2.60 %

โรงงานตัวอย่าง 5

มาตรการการอนุรักษ์พลังงานที่นำเสนอประกอบด้วยมาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการและมาตรการอนุรักษ์พลังงานกึ่งเชิงลึก

มาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการ

1. การลดการรั่วไหลอากาศอัดในระบบการผลิตเนื่องจากโรงงานยังไม่เคยทดสอบการรั่วไหลในระบบอากาศอัดมาก่อนและระบบอัดอากาศใช้พลังงานประมาณ 15% ของโรงงาน

2. การปรับปรุงการใช้มอเตอร์ใบพัดกวนน้ำดินให้เหมาะสมกับโหลดเพื่อลดกำลังไฟฟ้าและปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์

มาตรการอนุรักษ์พลังงานกึ่งเชิงลึก

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

โดยมีรายละเอียดดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

การคำนวณปริมาณความร้อนของไอเสียที่ทิ้งออกจากเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดเตา	-	-
ชนิดเตา	-	Tunnel
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/m^3	36.04
อัตราการใช้เชื้อเพลิง	m^3/hr	187.48
อัตราการป้อนอากาศ	m^3/hr	1,917.27
อุณหภูมิอากาศเผาไหม้ที่จุดทางเข้าเตาเผา	^oC	41.00
ความหนาแน่นเชื้อเพลิงโดยประมาณ	kg/m^3	0.67
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลเชื้อเพลิงเผาไหม้	kg/hr	125.24
มวลอากาศเผาไหม้	kg/hr	2,166.52
อุณหภูมิอากาศทิ้งที่ปล่องเฉลี่ย	^oC	555.00
อัตราการไหลอากาศโดยมวล	kg/hr	2,291.75
เอนทาลปีอากาศทิ้งที่ปล่อง	kJ/kg	477.99
คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ทิ้ง	kJ/hr	1,095,434.41

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานต่อตันที่โรงงานใช้	MJ/Ton	2,398.73
ปริมาณชิ้นงานที่โรงงานใช้	kg/hr	946.83
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานที่โรงงานใช้	kJ/hr	2,271,180.56

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการ

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
เมื่อนำความร้อนทิ้งมาใช้อุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ	kJ/hr	1,095,434.41
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/MMBtu	1,055.00
ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	MMBtu/hr	1.04
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	8.02

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** ค่า SEC waredry ดังกล่าวได้มาจากการเปรียบเทียบกับค่า SEC waredry ของโรงงานอื่นๆ

ดังนั้นการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 1,095,434.41 kJ/hr ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 8.02 %

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

การคำนวณปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
มวลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	761.24
มวลของอุปกรณ์เสริมอื่นๆที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	761.24
มวลรวมของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	1,522.47
ค่าความจุความร้อนของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kJ/kg.K	0.85
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อเริ่มเข้าช่วงเย็นตัว	^{o}C	800.00
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อออกจากช่วงเย็นตัว	^{o}C	100.00
ดังนั้นได้ความร้อนที่ต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว	kJ/hr	905,869.73

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้นำพาความร้อนออกจากเตาในช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
นำอากาศมารับความร้อนที่ออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว ไป	kJ/hr	905,869.73
อุณหภูมิของอากาศกระบวนการที่เข้าไปเย็นตัว	^{o}C	35.00
กำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเมื่อออกจากกระบวนการเย็นตัว **	^{o}C	250.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
ดังนั้นปริมาณอากาศสำหรับการทำเย็นตัว ซึ่งก็คือมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวและถูกนำไปปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ***	kg/hr	4,213.35

การคำนวณอุณหภูมิของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้หลังจากโดนอุ่นโดยอากาศที่ทิ้งจากเตาในช่วงเย็นตัว โดยใช้ Counter - flow Heat Exchanger

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
อัตราการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้	m^3/hr	1,917.27
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้	kg/hr	2,166.52
อุณหภูมิของอากาศจากกระบวนการเย็นตัว (อากาศร้อน)	^{o}C	250.00
อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) ก่อนผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (ก่อนการอุ่น)	^{o}C	35.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวกับมวลของอากาศสำหรับการเผาไหม้	-	0.80
ดังนั้นได้อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) หลังผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (หลังการอุ่น) ****	^{o}C	207.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการ

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
การอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้เมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้	kJ/hr	372,640.60
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/MMBtu	1,055.00
ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	MMBtu/hr	0.35
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	2.73

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** อุณหภูมิอากาศที่ออกจากปล่องเย็นตัว ได้มาจาก Firing Curve

*** ปริมาณมวลของอากาศร้อนที่ได้จากเย็นตัว นี้ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ถึงจะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณการอุ่นอากาศได้

**** การใช้อากาศร้อนมาอุ่นอากาศเย็นโดยใช้ Heat Exchanger นั้นจะคิดที่มวลของอากาศที่ได้จากเย็นตัว (อากาศร้อน) ใช้เท่ากับปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ (อากาศเย็น)

ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 372,640.60 kJ/hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 2.73 %

โรงงานตัวอย่างที่ 6

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่นำเสนอประกอบด้วย

1. การลดการรั่วไหลอากาศอัดในระบบการผลิตเนื่องจากโรงงานยังไม่เคยทดสอบการรั่วไหลในระบบอากาศอัดมาก่อนซึ่งในวันที่คณะทำงานเข้าตรวจวัดโรงงานมีการหยุดการใช้งานเพื่อบำรุงรักษาเครื่องจักรพอดีจากการตรวจวัดพบว่าระบบอัดอากาศมีเปอร์เซ็นต์การรั่วไหลอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

2. การปรับตั้งความดันใช้งานของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับเครื่องจักรเพื่อลดการใช้พลังงานในการอัดอากาศ

3. การจัดการเดินเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพและชนิดที่ดีกว่าเพื่อประหยัดการใช้พลังงานในระบบอากาศอัดเดิมใช้เครื่อง Hydrovane-AC2 จ่ายให้กับระบบการผลิตในโรงงานแต่จากการทดสอบพบว่าเครื่องเก่ามากประสิทธิภาพไม่ดีและระบบควบคุมความดันทำงานผิดปกติทำให้ในขณะ Unload เครื่องใช้กำลังไฟฟ้ามากแต่ไม่ได้ผลิตอากาศอัดให้ระบบดังนั้นหากทำการเปลี่ยนไปใช้เครื่องชนิดเดียวกันที่มีแต่ประสิทธิภาพดีกว่าก็สามารถประหยัดพลังงานได้

1. การคำนวณการปรับตั้งความดันใช้งานของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับเครื่องจักร

รายการ	No.1	หน่วย
ข้อมูลการตรวจวัด		
ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน	24.00	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันที่ใช้งานต่อปี	300	วัน/ปี
เวลาการเดินของเครื่องใน 1 Cycle หรือช่วง Load	100	วินาที
เวลาการหยุดของเครื่องใน 1 Cycle หรือ Unload	50	วินาที
ค่าคงที่ของอากาศ	0.2871	kJ/kg K
ค่าคงที่ (n)	1.3	-
อุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องอัด	308	K
ความดันอากาศเข้าเครื่องอัด	101.33	kPa
ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดเดิม	700	kPa
ความดันอากาศออกจากเครื่องอัดใหม่	650	kPa
พลังไฟฟ้าใช้กับเครื่องอัดช่วงรับ Load	47	kW
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	3.63	บาท/kWh

การคำนวณ		
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศก่อนลดความดัน	215.37	kJ/kg
พลังงานที่ใช้ในการอัดอากาศหลังจากลดความดัน	205.22	kJ/kg
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์พลังงานในการอัดลดลง	4.71	%
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศก่อนลดความดัน	225,600.00	kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศลดลง	10,631.32	kWh/ปี
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	38,591.70	บาท/ปี

ดังนั้นการปรับตั้งความดันใช้งานของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับเครื่องจักร สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศ 225,600 kWh/ปี คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 38,591 บาท/ปี

2. การเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเป็นเครื่องหลัก

รายการ	ค่า		หน่วย
	เครื่อง 1	เครื่อง 2	
กำลังไฟฟ้าช่วง On Load	49.50	49.00	kW
กำลังไฟฟ้าช่วง Off Load	37.00	16.2	kW
เวลาช่วง On Load	-	-	sec
เวลาช่วง Un Load	29	28	sec
ค่าไฟฟ้า	3.63	3.63	บาท/kWh
ชั่วโมงการทำงาน	6,912	6,912	ชั่วโมง/ปี
การคำนวณ			
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย	17.88	7.56	kWh/hr
คิดเป็นปริมาณไฟฟ้าที่แตกต่าง	10.32		kWh/hr
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดต่อปี	71,355		kWh/yr
คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	259,018.21		บาท/ปี

ดังนั้น การเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเป็นเครื่องหลักสามารถพลังงานประหยัดไฟฟ้า 71,355 kWh/yr คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ 259,018.21 บาท/ปี

อุตสาหกรรมลูกถ้วยไฟฟ้า

กลุ่มลูกถ้วยไฟฟ้าจะใช้เตาเผาแบบเตาซัทเทิ่ล (Shuttle Kiln) โดยการเผาจะเผาเป็นแบบทีละชุด (batch) เนื่องจากลูกถ้วยไฟฟ้ามีขนาดที่หลากหลายและมีความสูงมากทำให้ไม่สามารถเผาด้วยเตาแบบอุโมงค์ (Tunnel kiln) ได้ เมื่อนำชิ้นงานเข้าเตาเผาจะเพิ่มและลดอุณหภูมิภายในตามโปรแกรมการเผา (Firing program) ระยะเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของชิ้นงาน โดยเตาชั่ทเทิ่ลจะไม่มีการนำความร้อนทิ้งในช่วงเย็นตัวมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นความร้อนในช่วงเย็นตัวควรมีการนำกลับมาใช้ประโยชน์

โรงงานตัวอย่างที่ 8

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่นำเสนอประกอบด้วย

1. ปรับปรุงระบบมอเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive: VSD) ควบคุม

การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive, VSD) โดยข้อมูลของ VSD ที่ติดตั้งกับมอเตอร์เป็นVSDสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส 380 V ขนาด 50 HP (37 kW) ราคา 180,000 บาท (ราคาอุปกรณ์รวมค่าติดตั้งและภาษีมูลค่าเพิ่ม)

การคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	(42.3 – 12.6) kW × 2,581 ชั่วโมง/ปี	
	=	76,655.7	kWh/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	76,655.7 kWh/ปี × 3.63 บาท/kWh	
	=	278,260	บาท/ปี

การลงทุนและผลตอบแทนการลงทุน

ราคาอุปกรณ์ทั้งหมด	180,000	บาท
(ค่าอุปกรณ์ ค่าติดตั้งและปรับแต่งรูปแบบการทำงาน รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)		
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ทั้งหมด	278,260	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	0.65	ปี

สรุปได้ว่ามาตรการการใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive: VSD) ควบคุมคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 278,260 บาท/ปี และระยะเวลาคืนทุน 0.65 ปี

โรงงานตัวอย่างที่ 9

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่นำเสนอประกอบด้วย

1. ปรับปรุงระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์โดยใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยน
2. การปรับปรุงการรั่วของลมอัดในระบบลมอัด
3. การปรับปรุงการเดินเครื่องอัดอากาศในระบบอากาศ
4. การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดการใช้งาน

โดยมีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณผลมาตรการการปรับปรุงการรั่วของลมอัดในระบบลมอัด

รายการ	สัญลักษณ์	ค่า	ป้อนข้อมูล	หน่วย
ข้อมูลทั่วไป				
ราคาไฟฟ้าเฉลี่ย	B	3.63		Bath/kWh
เวลาการทำงาน	H	2304.00		h/y
ขนาดถัง	V	0.34		m3
อุณหภูมิอากาศอัด	T	308.00		K
ข้อมูลการตรวจวัด				
ช่วงความดัน on load	P1	7.00		bar
ช่วงความดัน off load	P2	4.00		bar
เวลาช่วงความดัน on load	t1	30.00		s
เวลาช่วงความดัน off load	t2	55.00		s
กำลังไฟฟ้าช่วงความดัน	PW			kW
กำลังไฟฟ้าช่วงความดัน on load	PW1	20.00		kW
กำลังไฟฟ้าช่วงความดัน off load	PW2	0.00		kW
การคำนวณ		ปัจจุบัน	เป้าหมาย	
ปริมาณอากาศอัด	M			kg/s
M=P*V*100/(0.287*T*t)		0.04		
ช่วงความดัน on load	M1	0.09		kg/s
ช่วงความดัน off load	M2	0.03		kg/s
เปอร์เซ็นต์การรั่วของอากาศอัด	L			%
L=(M-M2)/M1*100		16.45		
ค่าเป้าหมายการรั่ว(%)	L1		5	%
พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย	Ploss			kWh
Ploss=L*PW*H/100				
ค่าเป้าหมายการรั่ว(%)	Ploss1	7580.26	2,304.00	kWh
การสูญเสียคิดเป็นเงิน	Bloss			Bath/y
Bloss=Ploss*B				
	Bloss	27519.62	8,364.52	Bath/y
คิดเป็นเงินรวม		27519.62	8,364.52	Bath/y
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้			19,155.11	Bath/y

สรุปได้ว่าการลดลมรั่วในระบบอัดอากาศจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าซึ่งคิดเป็น 2,304.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 19,155.11 บาท/ปี

อุตสาหกรรมเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

โรงงานตัวอย่าง 10

มาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการ

1. ปรับปรุงระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์โดยใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยน
2. การนำลมร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์สำหรับเตาเผาแบบเก่า
3. การเปลี่ยนชนิดเตาเผามาใช้เป็นเตาเผาชนิดที่ประหยัดพลังงาน
4. การปรับปรุงการรั่วของลมอัดในระบบลมอัด
5. การปรับปรุงการเดินเครื่องอัดอากาศในระบบอากาศ
6. การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานแก่เครื่องชิลเลอร์
7. การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดการใช้งาน

มาตรการอนุรักษ์พลังงานกึ่งเชิงลึก

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

โดยมีรายละเอียดดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

การคำนวณปริมาณความร้อนของไอเสียที่ทิ้งออกจากเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดเตา	-	-
ชนิดเตา	-	Tunnel
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/m^3	36.04
อัตราการใช้เชื้อเพลิง	m^3/hr	140.00
อัตราการป้อนอากาศ	m^3/hr	1,680.00
อุณหภูมิอากาศเผาไหม้ที่จุดทางเข้าเตาเผา	^oC	30.00
ความหนาแน่นเชื้อเพลิงโดยประมาณ	kg/m^3	0.90
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลเชื้อเพลิงเผาไหม้	kg/hr	126.00
มวลอากาศเผาไหม้	kg/hr	1,898.40
อุณหภูมิอากาศทิ้งที่ปล่องเฉลี่ย	^oC	300.00
อัตราการไหลอากาศโดยมวล	kg/hr	2,024.40
เอนทาลปีอากาศทิ้งที่ปล่อง	kJ/kg	265.00
คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ทิ้ง	kJ/hr	536,466.00

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้ อุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานต่อตันที่โรงงานใช้ **	MJ/Ton	2,000.00
ปริมาณชิ้นงานที่โรงงานใช้	kg/hr	959.14
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานที่โรงงานใช้	kJ/hr	1,918,271.47

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
เมื่อนำความร้อนทิ้งมาใช้อุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ	kJ/hr	536,466.00
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/MMBtu	1,055.00
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	MMBtu/hr	0.51
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	1.33

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** ค่า SEC waredry ดังกล่าวได้มาจากการเปรียบเทียบกับค่า SEC waredry ของโรงงานอื่นๆ

ดังนั้นการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 536,466.00 kJ/hr ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 1.33 %

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

การคำนวณปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
มวลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	625.00
มวลของอุปกรณ์เสริมอื่นๆที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	625.00
มวลรวมของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	1,250.00
ค่าความจุความร้อนของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kJ/kg.K	0.85
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อเริ่มเข้าช่วงเย็นตัว	^{o}C	800.00
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อออกจากช่วงเย็นตัว	^{o}C	100.00
ดังนั้นได้ความร้อนที่ต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว	kJ/hr	743,750.00

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้นำพาความร้อนออกจากเตาในช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
นำอากาศมารับความร้อนที่ออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัวไป	kJ/hr	743,750.00
อุณหภูมิของอากาศกระบวนการที่เข้าไปเย็นตัว	^{o}C	35.00
กำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเมื่อออกจากกระบวนการเย็นตัว**	^{o}C	250.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
ดังนั้นปริมาณอากาศสำหรับการทำเย็นตัวซึ่งก็คือมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวและถูกนำไปปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ***	kg/hr	3,459.30

การคำนวณอุณหภูมิของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้หลังจากโดนอุ่นโดยอากาศที่ทิ้งจากเตาในช่วงเย็นตัวโดยใช้ Counter - flow Heat Exchanger

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
อัตราการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้	m^3/hr	1,680.00
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้	kg/hr	1,898.40
อุณหภูมิของอากาศจากกระบวนการเย็นตัว (อากาศร้อน)	^{o}C	250.00
อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) ก่อนผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (ก่อนการอุ่น)	^{o}C	35.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวกับมวลของอากาศสำหรับการเผาไหม้	-	0.80
ดังนั้นได้อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) หลังผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (หลังการอุ่น) ****	^{o}C	1,680.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
การอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้เมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้	kJ/hr	326,524.80
ชนิดเชื้อเพลิง	-	NG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/MMBtu	1,055.00
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	MMBtu/hr	0.31
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	0.81

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** อุณหภูมิอากาศที่ออกจากปล่องช่วงการเย็นตัวได้มาจาก Firing Curve

*** ปริมาณมวลของอากาศร้อนที่ได้จากช่วงการเย็นตัวนี้ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ถึงจะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณการอุ่นอากาศได้

**** การใช้อากาศร้อนมาอุ่นอากาศเย็นโดยใช้ Heat Exchanger นั้นจะคิดที่มวลของอากาศที่ได้จากช่วงการเย็นตัว (อากาศร้อน) ใช้เท่ากับปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ (อากาศเย็น)

ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 326,524.80 kJ/hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 0.81 %

โรงงานตัวอย่าง 12

มาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการ

1. รวมเครื่องอัดอากาศให้เป็นจุดเดียว
2. แยกประเภทการใช้ลมอัดตามความดัน
3. ปรับปรุงฉนวนของเตาเผา T4, T2, shuttle
4. เพิ่มอุณหภูมิของอากาศเผาของเตาเผา
5. ปรับปรุงระบบการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์โดยใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยน
6. การนำลมร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์สำหรับเตาเผาแบบเก่า
7. การเปลี่ยนชนิดเตาเผามาใช้เป็นเตาเผาชนิดที่ประหยัดพลังงาน

มาตรการอนุรักษ์พลังงานกึ่งเชิงลึก

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงการเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

โดยมีรายละเอียดดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

การคำนวณปริมาณความร้อนของไอเสียที่ทิ้งออกจากเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดเตา	-	-
ชนิดเตา	-	Tunnel
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
อัตราการใช้เชื้อเพลิง	kg/hr	120.00
อัตราการป้อนอากาศ	kg/hr	1,872.00
อุณหภูมิอากาศเผาไหม้ที่จุดทางเข้าเตาเผา	^{o}C	50.00
ความหนาแน่นเชื้อเพลิงโดยประมาณ	kg/m^3	-
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	-
มวลเชื้อเพลิงเผาไหม้	kg/hr	120.00
มวลอากาศเผาไหม้	kg/hr	1,872.00
อุณหภูมิอากาศทิ้งที่ปล่องเฉลี่ย	^{o}C	300.00
อัตราการไหลอากาศโดยมวล	kg/hr	1,992.00
เอนทาลปีอากาศทิ้งที่ปล่อง	kJ/kg	244.89
คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ทิ้ง	kJ/hr	487,820.88

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานต่อตันที่โรงงานใช้ **	MJ/Ton	2,000.00
ปริมาณชิ้นงานที่โรงงานใช้	kg/hr	204.39
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานที่โรงงานใช้	kJ/hr	408,772.44

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
เมื่อนำความร้อนทิ้งมาใช้อุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ	kJ/hr	408,772.44
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	kg/hr	8.14
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	6.44

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** ค่า SECwaredry ดังกล่าวได้มาจากการเปรียบเทียบกับค่า SECwaredry ของโรงงานอื่นๆ

ดังนั้นการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 408,772.44 kJ/hr ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 6.44 %

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงการเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

การคำนวณปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
มวลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	166.67
มวลของอุปกรณ์เสริมอื่นๆที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	166.67
มวลรวมของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	333.33
ค่าความจุความร้อนของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kJ/kg.K	0.85
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อเริ่มเข้าช่วงเย็นตัว	^{o}C	1,000.00
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อออกจากช่วงเย็นตัว	^{o}C	100.00
ดังนั้นได้ความร้อนที่ต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว	kJ/hr	255,000.00

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้นำพาความร้อนออกจากเตาในช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
นำอากาศมารับความร้อนที่ออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัวไป	kJ/hr	255,000.00
อุณหภูมิของอากาศกระบวนการที่เข้าไปเย็นตัว	^{o}C	35.00
กำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเมื่อออกจากกระบวนการเย็นตัว **	^{o}C	250.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
ดังนั้นปริมาณอากาศสำหรับการทำเย็นตัวซึ่งก็คือมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัว และถูกนำไปปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ***	kg/hr	1,186.05

การคำนวณอุณหภูมิของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้หลังจากโดนอุ่นโดยอากาศที่ทิ้งจากเตาในช่วงการเย็นตัวโดยใช้ Counter - flow Heat Exchanger

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
อัตราการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้	m^3/hr	822.56
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้	kg/hr	929.49
อุณหภูมิของอากาศจากกระบวนการเย็นตัว (อากาศร้อน)	^{o}C	250.00
อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) ก่อนผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (ก่อนการอุ่น)	^{o}C	35.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงการเย็นตัว กับมวลของอากาศสำหรับการเผาไหม้	-	0.80
ดังนั้นได้อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) หลังผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (หลังการอุ่น) ****	^{o}C	207.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
การอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้เมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้	kJ/hr	159,872.76
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	kg/hr	3.18
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	2.52

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบ Tunnel เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** อุณหภูมิอากาศที่ออกจากปล่องการเย็นตัว ได้มาจาก Firing Curve

*** ปริมาณมวลของอากาศร้อนที่ได้จากการเย็นตัวการเย็นตัว นี้ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ถึงจะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณการอุ่นอากาศได้

**** การใช้อากาศร้อนมาอุ่นอากาศเย็นโดยใช้ Heat Exchanger นั้นจะคิดที่มวลของอากาศที่ได้จากการเย็นตัว (อากาศร้อน) ใช้เท่ากับปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ (อากาศเย็น)

ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 159,872.76 kJ/hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 2.52 %

โรงงานตัวอย่างที่ 13

มาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการ

1. นำความร้อนทิ้งจากก๊าซเสียที่ปล่อยทิ้งที่เตามาใช้ในการอบชิ้นงานก่อนเข้าเผาดิบ
2. นำก๊าซเสียทิ้งที่มีออกซิเจนเหลือมากไปใช้เป็นอากาศเผาไหม้ของเตา
3. ลดความดันของเครื่องอัดอากาศจากตั้งความดันที่ 10 bar เป็น 7 bar เนื่องจากอุปกรณ์ใช้ลมอัดต้องการลมอัดที่ 7 bar
4. การปรับปรุงการเดินเครื่องอัดอากาศในระบบอากาศ
5. การเลือกใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลดการใช้งาน

มาตรการอนุรักษ์พลังงานกึ่งเชิงลึก

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงการเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

โดยมีรายละเอียดดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

การคำนวณปริมาณความร้อนของไอเสียที่ทิ้งออกจากเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดเตา	-	-
ชนิดเตา	-	Tunnel
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/m^3	50.22
อัตราการใช้เชื้อเพลิง	kg/hr	98.00
อัตราการป้อนอากาศ	kg/hr	1,528.80
อุณหภูมิอากาศเผาไหม้ที่จุดทางเข้าเตาเผา	^oC	30.00
ความหนาแน่นเชื้อเพลิงโดยประมาณ	kg/m^3	-
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	-
มวลเชื้อเพลิงเผาไหม้	kg/hr	98.00
มวลอากาศเผาไหม้	kg/hr	1,528.80
อุณหภูมิอากาศทิ้งที่ปล่องเฉลี่ย	^oC	300.00
อัตราการไหลอากาศโดยมวล	kg/hr	1,626.80
เอนทาลปีอากาศทิ้งที่ปล่อง	kJ/kg	265.00
คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ทิ้ง	kJ/hr	431,102.00

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานก่อนเข้าเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานต่อตันที่โรงงานใช้ **	MJ/Ton	2,000.00
ปริมาณชิ้นงานที่โรงงานใช้	kg/hr	142.62
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นชิ้นงานที่โรงงานใช้	kJ/hr	285,240.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
เมื่อนำความร้อนทิ้งมาใช้อุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ	kJ/hr	285,240.00
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	kg/hr	5.68
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	5.57

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** ค่า SECwaredry ดังกล่าวได้มาจาการเปรียบเทียบกับค่า SECwaredry ของโรงงานอื่นๆ

ดังนั้นการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 285,240.00 kJ/hr ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 5.57 %

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงการเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

การคำนวณปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
มวลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	141.67
มวลของอุปกรณ์เสริมอื่นๆที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	141.67
มวลรวมของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	283.33
ค่าความจุความร้อนของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kJ/kg.K	0.85
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อเริ่มเข้าช่วงเย็นตัว	^{o}C	850.00
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อออกจากช่วงเย็นตัว	^{o}C	100.00
ดังนั้นได้ความร้อนที่ต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว	kJ/hr	180,625.00

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้นำพาความร้อนออกจากเตาในช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
นำอากาศมารับความร้อนที่ออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัวไป	kJ/hr	180,625.00
อุณหภูมิของอากาศกระบวนการที่เข้าไปเย็นตัว	^{o}C	35.00
กำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเมื่อออกจากกระบวนการเย็นตัว **	^{o}C	250.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
ดังนั้นปริมาณอากาศสำหรับการทำเย็นตัวซึ่งก็คือมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัว และถูกนำไปปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ***	kg/hr	840.12

การคำนวณอุณหภูมิของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้หลังจากโดนอุ่นโดยอากาศที่ทิ้งจากเตาในช่วงเย็นตัว โดยใช้ Counter - flow Heat Exchanger

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
อัตราการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้	m^3/hr	822.56
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้	kg/hr	929.49
อุณหภูมิของอากาศจากกระบวนการเย็นตัว (อากาศร้อน)	^{o}C	250.00
อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) ก่อนผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (ก่อนการอุ่น)	^{o}C	35.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวกับมวลของอากาศสำหรับการเผาไหม้	-	0.80
ดังนั้นได้อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) หลังผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (หลังการอุ่น) ****	^{o}C	207.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
การอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ด้วยวิธีดังกล่าวเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้	kJ/hr	159,872.76
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	kg/hr	3.18
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	3.12

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** อุณหภูมิอากาศที่ออกจากปล่องเย็นตัว ได้มาจาก Firing Curve

*** ปริมาณมวลของอากาศร้อนที่ได้จากช่วงเย็นตัวนี้ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ถึงจะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณการอุ่นอากาศได้

**** การใช้อากาศร้อนมาอุ่นอากาศเย็นโดยใช้ Heat Exchanger นั้นจะคิดที่มวลของอากาศที่ได้จากเย็นตัว (อากาศร้อน) ใช้เท่ากับปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ (อากาศเย็น)

ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 159,872.76 kJ/hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 3.12 %

โรงงานตัวอย่าง 14

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

1. การนำอากาศทิ้งที่ปล่องที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส มาใช้ประโยชน์ เช่น การนำกลับมาอุ่นวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

2. การนำอากาศร้อนจากช่วงการเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา

การคำนวณปริมาณความร้อนของไอเสียที่ทิ้งออกจากเตาเผา

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ขนาดเตา	-	-
ชนิดเตา	-	Tunnel
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
อัตราการใช้เชื้อเพลิง	kg/hr	95.00
อัตราการป้อนอากาศ	kg/hr	1,630.20
อุณหภูมิอากาศเผาไหม้ที่จุดทางเข้าเตาเผา	^{o}C	35.00
ความหนาแน่นเชื้อเพลิงโดยประมาณ	kg/m^3	-
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	-
มวลเชื้อเพลิงเผาไหม้	kg/hr	95.00
มวลอากาศเผาไหม้	kg/hr	1,630.20
อุณหภูมิอากาศทิ้งที่ปล่องเฉลี่ย **	^{o}C	500.00
อัตราการไหลอากาศโดยมวล	kg/hr	1,725.20
เอนทาลปีอากาศทิ้งที่ปล่อง	kJ/kg	477.99
คิดเป็นปริมาณความร้อนที่ทิ้ง	kJ/hr	824,628.35

การคำนวณปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นวัตถุดิบ

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นวัตถุดิบต่อตันที่โรงงานใช้	MJ/Ton	2,528.52
ปริมาณการใช้วัตถุดิบที่โรงงานใช้	kg/hr	240.52
ปริมาณความร้อนที่ใช้อุ่นวัตถุดิบที่โรงงานใช้	kJ/hr	608,164.20

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
เมื่อนำความร้อนทิ้งมาใช้อุ่นวัตถุดิบจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ	kJ/hr	608,164.20
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	kg/hr	12.11
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	6.56

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** ค่าอุณหภูมิอากาศที่ปล่องต้องตรวจวัดเพิ่มเติม

ดังนั้นการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา เมื่อนำความร้อนทิ้งมาอุ่นชิ้นงานจะทำให้ประหยัดปริมาณความร้อนเท่ากับ 608,164.20 kJ/hr ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 6.56 %

2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้

การคำนวณปริมาณความร้อนที่จะต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
มวลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	362.50
มวลของอุปกรณ์เสริมอื่นๆที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	725.00
มวลรวมของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kg/hr	1,087.50
ค่าความจุความร้อนของวัตถุที่ผ่านเข้าเตา	kJ/kg.K	0.85
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อเริ่มเข้าช่วงเย็นตัว	^{o}C	800.00
อุณหภูมิของวัตถุเมื่อออกจากช่วงเย็นตัว	^{o}C	100.00
ดังนั้นได้ความร้อนที่ต้องนำออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัว	kJ/hr	647,062.50

การคำนวณปริมาณอากาศที่ต้องใช้นำพาความร้อนออกจากเตาในช่วงเย็นตัว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
นำอากาศมารับความร้อนที่ออกจากวัตถุที่ผ่านเข้าเตาในช่วงเย็นตัวไป	kJ/hr	647,062.50
อุณหภูมิของอากาศกระบวนการที่เข้าไปเย็นตัว	^{o}C	35.00
กำหนดอุณหภูมิของอากาศที่ต้องการเมื่อออกจากกระบวนการเย็นตัว **	^{o}C	250.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
ดังนั้นปริมาณอากาศสำหรับการทำเย็นตัว ซึ่งก็คือมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัว และถูกนำไปปล่อยทิ้งออกทางปล่อง ***	kg/hr	3,009.59

การคำนวณอุณหภูมิของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้หลังจากโดนอุ่นโดยอากาศที่ทิ้งจากเตาในช่วงเย็นตัวโดยใช้ Counter - flow Heat Exchanger

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
อัตราการป้อนอากาศสำหรับการเผาไหม้	m^3/hr	1,630.20
ความหนาแน่นอากาศ	kg/m^3	1.13
มวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้	kg/hr	1,842.13
อุณหภูมิของอากาศจากกระบวนการเย็นตัว (อากาศร้อน)	^{o}C	250.00
อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) ก่อนผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (ก่อนการอุ่น)	^{o}C	35.00
ค่าความจุความร้อนของอากาศ	kJ/kg.K	1.00
Effectiveness ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างมวลของอากาศที่นำไปรับความร้อนในช่วงเย็นตัวกับมวลของอากาศสำหรับการเผาไหม้	-	0.80
ดังนั้นได้อุณหภูมิของอากาศสำหรับการเผาไหม้ (อากาศเย็น) หลังผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อน (หลังการอุ่น) ****	^{o}C	207.00

การคำนวณเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงของมาตรการดังกล่าว

รายละเอียด	หน่วย	ข้อมูล
การอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้เมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้	kJ/hr	316,845.67
ชนิดเชื้อเพลิง	-	LPG
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	MJ/kg	50.22
ปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการอุ่นอากาศเมื่อเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้	kg/hr	6.31
ดังนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด	%	3.42

หมายเหตุ

* มาตรการดังกล่าวคำนวณให้กับเตาเผาแบบอุโมงค์เพียงเตาเดียวเท่านั้น

** อุณหภูมิอากาศที่ออกจากปล่องช่วงเย็นตัว ต้องอาศัยการตรวจวัดเพิ่มเติม

*** ปริมาณมวลของอากาศร้อนที่ได้จากเย็นตัว นี้ต้องไม่น้อยกว่าปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ถึงจะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณการอุ่นอากาศได้

**** การใช้อากาศร้อนมาอุ่นอากาศเย็นโดยใช้ Heat Exchanger นั้นจะคิดที่มวลของอากาศที่ได้จากเย็นตัว (อากาศร้อน) ใช้เท่ากับปริมาณมวลของอากาศสำหรับใช้ในการเผาไหม้ (อากาศเย็น)

ดังนั้นการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้สามารถการประหยัดเชื้อเพลิงเมื่อเทียบเป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ 316,845.67 kJ/hr คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเชื้อเพลิงเทียบกับปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด 3.42 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิตเซรามิก

การจัดการพลังงาน หมายถึง การจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น ลดความสูญเสียพลังงาน แนวทางเบื้องต้นที่นำเสนอประกอบด้วย หลักการจัดการพลังงานทั่วไป หลักการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก และแนวทางในการกำหนดมาตรการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.1 หลักการจัดการพลังงานทั่วไป ประกอบด้วย

1. การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

โดยทั่วไปแล้ว อุตสาหกรรมเซรามิกมีการใช้พลังงานในการผลิตมากกว่าร้อยละ 80 ของพลังงานทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นตัวเลขที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นหากเราสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานส่วนนี้ลงไปได้ ก็จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กรทั้งในด้านการเงิน และด้านสิ่งแวดล้อมที่จะมีขึ้นในอนาคต

2. การดำเนินการเบื้องต้น

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานถือเป็นค่าใช้จ่ายแปรผันซึ่งจะแปรผันตามกิจกรรมที่เกิดขึ้น ดังนั้นเบื้องต้นผู้จัดการด้านพลังงานควรจะพิจารณาถึงประเด็นสำคัญต่างๆ ต่อไปนี้ก่อนการดำเนินการปรับปรุง

- พลังงานถูกใช้ไปในบริเวณใดบ้าง
- พลังงานถูกใช้ไปเมื่อไร
- เหตุใดจึงมีการใช้พลังงาน
- พลังงานถูกใช้ไปในปริมาณเท่าใด

ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาตามหัวข้อต่างๆ ข้างต้น จะช่วยให้ผู้จัดการด้านพลังงานเข้าใจถึงรูปแบบการใช้พลังงานในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลทำให้การปรับปรุงต่างๆ เป็นไปอย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 พลังงานถูกใช้ไปในบริเวณใดบ้าง

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปในอุตสาหกรรมเซรามิกส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นบนอุปกรณ์ทำความร้อน อุปกรณ์ขับเคลื่อน (พัดลม เครื่องอัดอากาศ)และระบบแสงสว่างเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการติดตั้งมิเตอร์ตรวจวัดการใช้พลังงานแยกจุดจึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพิจารณาว่าจุดใดบริเวณใด มีการใช้พลังงานมากน้อยเพียงไร

ทั้งนี้ผู้ดูแลด้านพลังงานอาจรวบรวมข้อมูลจากมิเตอร์ตรวจวัดย่อย แล้วจัดทำขึ้นเป็นแผนภาพการใช้พลังงานในองค์กร (Energy Map of the Site) เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้นก็เป็นได้

เบื้องต้น เราอาจกล่าวได้ว่าแผนภาพการใช้พลังงานในองค์กรนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในองค์กรก็ว่าได้

2.2 พลังงานถูกใช้ไปเมื่อไร

แผนภาพการใช้พลังงานตามช่วงเวลาต่างๆ จะช่วยให้ผู้จัดการด้านพลังงาน สามารถวิเคราะห์หาข้อมูลสำคัญ 2 ประการ คือ

- ช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงผิดปกติ (Unusual Peak Load)
- ภาระงานพื้นฐาน (Based Load) ได้

ในกรณีที่มีช่วงเวลาที่ใช้พลังงานสูงผิดปกติ ผู้จัดการด้านพลังงานจำเป็นต้องเข้าไปศึกษาเพิ่มเติมว่าเกิดจากสาเหตุใดและสามารถปรับลดได้หรือไม่ ซึ่งส่วนใหญ่เราสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้โดยการจัดตารางการใช้งานเครื่องจักรตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ให้เป็นไปอย่างเหมาะสม

ส่วนภาระงานพื้นฐานนั้น จะบ่งบอกถึงความสูญเปล่าของพลังงานที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากภาระงานพื้นฐานจะเกิดขึ้นในขณะที่ไม่มีกิจกรรมการผลิต ดังนั้นหากพบว่าภาระงานพื้นฐานมีค่าสูง ก็ควรปรับลดให้มีค่าลดต่ำลง เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยอาจใช้การบันทึกข้อมูลระหว่างรอยต่อของช่วงเวลา หรือแผนภาพการใช้พลังงานตามเวลาในการศึกษา

2.3 เหตุใดจึงมีการใช้พลังงาน

พลังงานควรถูกใช้ไปเพื่อการผลิตเท่านั้น ดังนั้นหากพบว่ามีการใช้พลังงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิต และไม่จำเป็น หรือมีการใช้พลังงานในการผลิตที่สูญเปล่า ผู้จัดการด้านพลังงานจำเป็นต้องหาสาเหตุของการใช้พลังงานเหล่านั้นให้จงได้ เพื่อที่จะศึกษา และหาทางตัดลดกิจกรรมเหล่านั้นลง อันจะเป็นผลทำให้ปริมาณการใช้พลังงานลดลงไปในที่สุด

สำหรับแนวทางที่ใช้ในการประเมินว่าเกิดความสูญเปล่าของการใช้พลังงานหรือไม่นั้นอาจประเมินจากคำถามตัวอย่างต่อไปนี้

- มีการเดินเครื่องจักรเปล่าหรือไม่
- มีการใช้อุปกรณ์ความร้อนโดยไม่จำเป็นหรือไม่
- ระบบอากาศอัดมีการรั่วไหลหรือไม่

2.4 พลังงานถูกใช้ไปในปริมาณเท่าใด

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานนั้นมิได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เพียงอย่างเดียว หากแต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น

- ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power)
- ค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Demand)
- ค่า เพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor)
- ค่าตัวประกอบภาระ (Load factor)

ดังนั้นผู้จัดการด้านพลังงานจำเป็นต้องศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยทั้งหลายข้างต้นด้วย

2.5 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ในการชี้วัดความสามารถด้านพลังงานของกระบวนการนั้น เรานิยมใช้ค่า SEC (Specific Energy Consumption) เป็นตัวชี้วัด ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถหาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานปฐมภูมิ (GJ) และปริมาณการผลิต (ตัน) ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยที่ดัชนีการบริโภคพลังงานจำเพาะ (SEC) คือ ความชันของกราฟ (GJ/ตัน)

3. การเพิ่มความตระหนักในการดำเนินการด้านพลังงาน

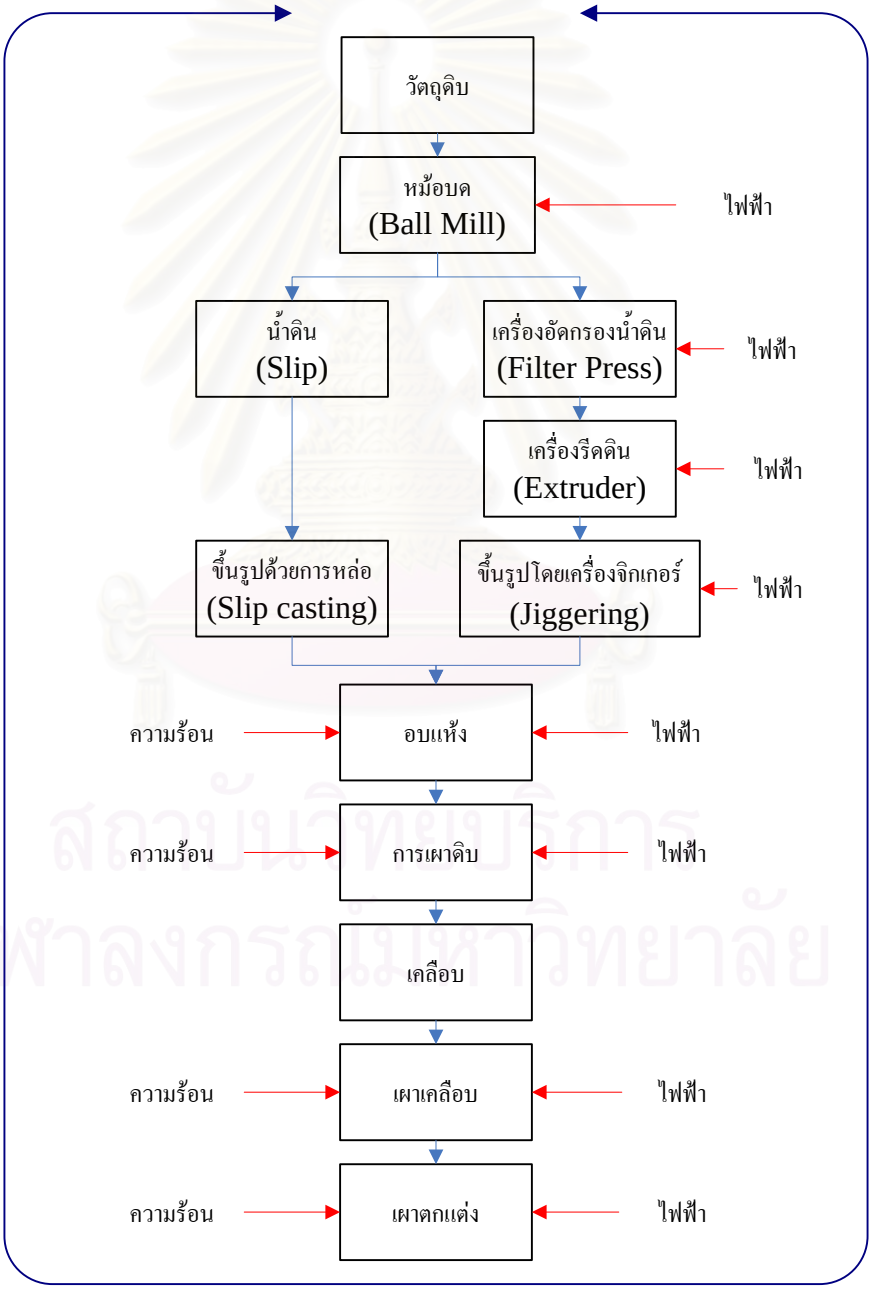
นโยบายที่ชัดเจนของผู้บริหารเกี่ยวกับการดำเนินการด้านพลังงาน ถือเป็นส่วนสำคัญในการผลักดันให้โครงการเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานต่างๆ สามารถดำเนินการไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเบื้องต้นผู้บริหารระดับสูงจึงควรกำหนดให้มีนโยบายด้านพลังงานที่ชัดเจนตลอดจนการกำหนดพันธกิจให้ผูกมัดกับเรื่องดังกล่าวด้วย

นโยบายพลังงานที่กำหนดขึ้นโดยผู้บริหารระดับสูงนั้นต้องระบุถึงหน้าที่ และความรับผิดชอบของผู้จัดการด้านพลังงานที่มีต่อโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพต่างๆ ตลอดจนการระบุรูปแบบของการติดต่อประสานงานเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาปรับปรุงด้วย

4. การสำรวจการใช้พลังงานองค์กรเพื่อหาโอกาสในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

การสำรวจการใช้พลังงานเป็นการตรวจตราการใช้พลังงานตามจุดต่างๆ ว่ามีความสูญเสียเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งการสำรวจนี้สามารถดำเนินการได้โดยการเดินตรวจตราไปตามจุด หรือแหล่งที่มีการใช้พลังงานต่างๆ ในองค์กร

ทั้งนี้การสำรวจการใช้พลังงานในองค์กรอาจดำเนินการควบคู่ไปกับการวิเคราะห์กระบวนการผลิต หรืออาจใช้แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างกระบวนการ และการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเซรามิก ดังรูปที่ 5.1 เป็นแนวทางในการสำรวจการใช้พลังงานในองค์กรก็เป็นได้



รูปที่ 5.1 แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการ และการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

4.1 การสำรวจการใช้พลังงานในองค์กร

เราสามารถเริ่มต้นการสำรวจได้โดยการเดินไปรอบๆ โรงงานในช่วงเวลาการทำงานปกติ โดยไม่มีความจำเป็นต้องประกาศเตือน และหากโรงงานไม่มีการผลิตในรอบดึกก็ควรจะทำการสำรวจในช่วงเวลาดังกล่าวด้วยเช่นกัน

4.2 ประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการสำรวจการใช้พลังงานในองค์กร

ประเด็นต่างๆ ต่อไปนี้ถือเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการสำรวจการใช้พลังงานในองค์กร เพื่อให้มาซึ่งผลสำรวจที่เป็นประโยชน์มากที่สุด

- เราต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดก่อน โดยอาจพิจารณาจากขนาดของเครื่องจักร มอเตอร์ หรืออุปกรณ์ทำความร้อน ซึ่งรวมไปถึงระยะเวลาการเดินเครื่องจักรด้วย มีพื้นที่ใดที่ใช้พลังงานโดยไม่มีการผลิตหรือไม่
- เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ มีฉนวนกันความร้อนหรือไม่ และฉนวนเหล่านั้นยังทำงานเป็นปกติหรือไม่
- ในกรณีที่ไม่มีฉนวนกันความร้อน เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- เครื่องจักร อุปกรณ์ ตลอดจนระบบสนับสนุนการผลิตต่างๆ เช่น ระบบทำความเย็น ระบบอัดอากาศ และปั๊ม ทำงานขณะที่ไม่ได้ทำการผลิตหรือไม่ และเพราะสาเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- มอเตอร์ที่ใช้อยู่มีขนาดเหมาะสมหรือไม่ ตลอดจนมีประสิทธิภาพการทำงานเป็นอย่างไร
- มีคู่มือที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรหรือไม่
- มีเสียงการรั่วไหลของอากาศ หรือไอน้ำหรือไม่ ทั้งนี้เราจำเป็นต้องตระหนักไว้เสมอว่า การรั่วไหลของอากาศ หรือไอน้ำนั้น เป็นความสูญเสียทั้งในรูปแบบของพลังงาน และต้นทุนที่ต้องเสียไป
- ระบบอัดอากาศที่ใช้อยู่นั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ (ความดันของอากาศอัด ขนาดของมอเตอร์ และอื่นๆ)
- ระบบแสงสว่างมีความเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ (ความส่องสว่าง ประเภทของหลอดไฟ และอื่นๆ)
- วิธีการที่ดำเนินอยู่ในปัจจุบันทำให้เกิดการสูญเปล่าของพลังงานหรือไม่ และวิธีการดังกล่าวสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้หรือไม่
- มีการซ่อมบำรุงระบบต่างๆ หรือไม่

4.3 เปลี่ยนผลสำรวจให้อยู่ในรูปแบบของมาตรการการประหยัดพลังงาน

การสำรวจจะสูญเปล่าหากไม่มีการแก้ไขปัญหาที่ตรวจพบ ดังนั้นเราจำเป็นต้องหามาตรการที่จำเป็นต่างๆ มาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยอาจมอบหมายให้ผู้จัดการด้านพลังงานเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดทำรายงานเพื่อนำเสนอผลการสำรวจ ตลอดจนมาตรการที่จำเป็นต่างๆ ต่อกรรมการผู้จัดการ หรือผู้อำนวยการการผลิตเพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป

5. การจัดการมอเตอร์ และอุปกรณ์ขับเคลื่อน

พลังงานประมาณ 1 ใน 5 ของพลังงานทั้งหมดในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกใช้ไปกับมอเตอร์ไฟฟ้า แต่เนื่องจากมอเตอร์นั้นเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรเกือบทุกประเภทในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก ทำให้การปรับปรุงมอเตอร์มักถูกมองข้ามไป แต่อย่างไรก็ตามเราพบว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของการเดินมอเตอร์ 1, 000 ชั่วโมงอาจมีค่าสูงกว่าราคาของเครื่องจักรบางตัวเสียอีก ดังนั้นการเลือกซื้อ และใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

5.1 นโยบายการจัดการมอเตอร์

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่า ต้นทุนในการเดินมอเตอร์นั้นมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นเราจึงควรให้ความสำคัญกับมอเตอร์โดย

- คำนึงถึงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักร และมอเตอร์ (ราคาเครื่องจักร รวมกับค่าซ่อมบำรุง และค่าดำเนินการ) แทนการพิจารณาเพียงเฉพาะราคาเพียงอย่างเดียว
- การซ่อมแซม หรือการทดแทนมอเตอร์ที่มีอยู่ควรอ้างอิงอยู่บนพื้นฐานของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน เพราะถึงแม้ว่า การซ่อมแซมอาจดูเป็นการประหยัดต้นทุน แต่อย่างไรก็ดีการซ่อมแซมอาจทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานลดต่ำลง ซึ่งไม่เป็นผลดีในระยะยาว ดังนั้นเราจึงควรจัดให้มีนโยบายการจัดการเพื่อกำหนดแนวทางสำหรับการตัดสินใจที่เหมาะสม
- ติดตั้งอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ (Variable Speed Dive หรือ VSD) และเลือกมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor หรือ HEM) เป็นสำคัญ

5.2 ขนาดของมอเตอร์

มอเตอร์จะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อขนาดของภาระงานมีความเหมาะสมกับกำลังของมอเตอร์นั้นๆ (Rated Capacity) ดังนั้นการใช้เครื่องจักรที่มีขนาดมอเตอร์เกินความต้องการจะทำให้เราไม่สามารถเดินเครื่องจักรได้เต็มประสิทธิภาพ (อย่างไรก็ตาม เราสามารถเดินมอเตอร์เกินกำลังได้ชั่วขณะ แต่หลังจากนั้นจะต้องเดินมอเตอร์ที่ภาระงานต่ำเพื่อทำให้มอเตอร์เย็นลง)

นอกจากมอเตอร์แล้ว อุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ก็ไม่ควรมีกำลังมากกว่ากำลังในขณะใช้งานด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกัน

ทั้งนี้เราอาจติดตั้งอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ (VSD) เพิ่มเติม เพื่อให้มอเตอร์นั้นทำงานตามภาระงานที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานลงไปได้ หรืออาจปรึกษาผู้เชี่ยวด้านมอเตอร์ในการเปลี่ยน หรือปรับปรุงมอเตอร์ และระบบอุปกรณ์ขับเคลื่อน

5.3 มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

เนื่องด้วยมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนแบ่งของภาระทางไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเป็นเป้าหมายที่สำคัญในการลดการใช้พลังงานในภาพรวมของภาคอุตสาหกรรมและวิธีการที่นำมาใช้แล้วเห็นผลการลดการใช้พลังงานอย่างชัดเจนวิธีหนึ่งก็คือการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

โดยปกติแล้วเมื่อมีการบอกถึงขนาดของมอเตอร์ค่าของพิกัดที่บอกไว้ในป้าย (Nameplate) ของมอเตอร์นั้น เป็นค่าของกำลังขาออก หรือพูดง่าย ๆ ก็คือมอเตอร์สามารถนำไปใช้งานได้สูงสุดตามค่าดังกล่าวแล้วสิ่งที่เราต้องจ่ายกำลังให้มอเตอร์จะมีค่าเป็นเท่าไร คำตอบคือกำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้มอเตอร์คือ กำลังขาออกรวมกับการสูญเสียในมอเตอร์ ถ้าเราต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์เราจึงต้องลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงก็คือมอเตอร์ที่มีกำลังขาออกเท่ากับมอเตอร์ธรรมดา แต่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยกว่ามอเตอร์ธรรมดา จึงทำให้เราสามารถใช้งานมอเตอร์ได้กำลังเท่าเดิม แต่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้มอเตอร์ลดลง ซึ่งกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือประสิทธิภาพของมอเตอร์สูงขึ้นนั่นเองจึงทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ โดยที่มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเหมะสมกับงานทุกประเภท มีการรับภาระและมีชั่วโมงการทำงานสูงๆ

การสูญเสียในมอเตอร์ว่าประกอบด้วย 5 ประเภทคือ

1. ค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์ (Stator I^2R)
2. ค่าความสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core Loss)
3. ค่าความสูญเสียที่โรเตอร์ (Rotor I^2R)

4. ค่าความสูญเสียทางกล (Windage & Friction)

5. ค่าความสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray load loss)

ดั้งนั้นสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากมอเตอร์ได้ โดยการพยายามหาทางลดการสูญเสียในมอเตอร์ในแต่ละประเภทซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ปรับปรุงคุณภาพของแกนเหล็ก โดยใช้แผ่นเหล็กซิลิกอนคุณภาพสูง

2. ใช้แผ่นเหล็กที่บางกว่าทั้งในสเตเตอร์และโรเตอร์

3. ลดช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์

4. เพิ่มปริมาณของตัวนำ โดยที่สเตเตอร์จะใช้ตัวนำที่มีขนาดใหญ่กว่ามอเตอร์ธรรมดาประมาณ 35 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในโรเตอร์จะมีการออกแบบให้ตัวนำในโรเตอร์และวงแหวนปิดหัวท้ายมีขนาดใหญ่ขึ้น

5. ออกแบบร่องสล็อตใหม่และทำให้แกนเหล็กที่สเตเตอร์ยาวขึ้น เพื่อที่จะรองรับลวดตัวนำที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งขยายความยาวของแกนเหล็กออกไปเพื่อรองรับและลดความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

6. ออกแบบรูปร่างของพัดลมระบายความร้อนใหม่ เพิ่มอัตราการไหลของลมให้ระบายความร้อน ได้ดีขึ้น

7. ใช้ตลับลูกปืนที่ดีขึ้น เพื่อลดแรงเสียดทานให้น้อยลงจากการปรับปรุงการออกแบบดังกล่าว ทำให้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง มีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ธรรมดาประมาณ 2 -4 เปอร์เซ็นต์สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ และ 4 - 7 เปอร์เซ็นต์สำหรับมอเตอร์ขนาดที่ต่ำกว่า 5.5 กิโลวัตต์

ข้อควรระวังในการเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

เมื่อไรที่เราควรตัดสินใจเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการพิจารณาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อต้องการมอเตอร์สำหรับโครงการใหม่ เราสามารถพิจารณาเปรียบเทียบการใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนมอเตอร์แบบธรรมดาได้ โดยข้อดีของการเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงนั้น จะมีทั้งการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ลดต้นทุนจากค่าบำรุงรักษา

2. เมื่อมอเตอร์เก่าชำรุดเสียหาย แล้วมีมูลค่าการซ่อมแซมที่สูงกว่า 65 % ของราคามอเตอร์ใหม่การพิจารณาเปรียบเทียบการซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงเป็นทางเลือกที่ดีวิธีหนึ่ง เพราะมอเตอร์ที่พันใหม่ส่วนใหญ่จะมีค่าประสิทธิภาพลดต่ำลง

3. มอเตอร์ที่ใช้อยู่มีขนาดใหญ่กว่าภาระการใช้งานมาก มอเตอร์ที่มีภาระการใช้งานต่ำกว่าขนาดพิกัดมาก ๆ เราสามารถที่จะเลือกซื้อมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงที่มีขนาดเล็กกว่าแทนได้

5.4 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ (VSD)

ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรง นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนขั้ว และความถี่ของกระแสไฟ ซึ่งส่งผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าภาระงานจะไม่คงที่ก็ตาม ทำให้เกิดการสูญเปล่าของพลังงานเป็นจำนวนมาก

การเลือกใช้อุปกรณ์ปรับรอบความเร็วของมอเตอร์จะช่วยให้มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามภาระงานจริงที่เกิดขึ้น อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ที่มีลักษณะงานแปรเปลี่ยนได้ เช่น เครื่องอัดอากาศ ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงไปในที่สุด

แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ภาระงานคงที่ การเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

6. การจัดการระบบอัดอากาศ

อากาศอัดเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตซึ่งมีต้นทุนค่อนข้างสูง จึงไม่ควรใช้อากาศอัดอย่างสิ้นเปลือง และเนื่องจากอากาศอัดจำเป็นต้องใช้พลังงานสูง ดังนั้นเราจำเป็นต้องลดความต้องการใช้ลง ในขณะที่สามารถใช้ได้ตามต้องการ นอกจากการลดความต้องการใช้แล้วยังต้องคำนึงถึงคุณภาพของอากาศอัดด้วย เนื่องจากการผลิตอากาศอัดที่มีคุณภาพสูง จะทำให้เกิดต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้นด้วย

ทั้งนี้เราสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ถึง 30% ด้วยการสร้างความตระหนักถึงคุณค่าของอากาศอัด และการตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบอัดอากาศ

6.1 การลดความต้องการใช้

- **ลดการรั่วไหล**

พลังงานที่สูญเสียไปส่วนหนึ่งมักเกิดจากการรั่วไหล ซึ่งการซ่อมบำรุงจะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่สูญเปล่านี้ลงไปได้อย่างมาก ดังนั้นการสำรวจเพื่อค้นหาจุดที่มีการรั่วไหลเพื่อซ่อมแซม การลดจำนวนท่อส่งที่ไม่จำเป็น และการซ่อมบำรุงจึงถือเป็นสิ่งสำคัญที่ไม่ควรละเลย

- **ลดความต้องการใช้**

อากาศอัดมักถูกใช้ไปในทางที่ผิด เพราะคนส่วนใหญ่มักคิดว่าอากาศอัดนั้นมีราคาถูก ดังนั้นเราจะต้องสร้างความตระหนักถึงคุณค่าของอากาศอัด งดการใช้อากาศอัดเพื่อการระบายอากาศ และการทำความเย็น ตลอดจนการใช้อากาศอัดในการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ และถ้าหากเป็นไปได้ เราควรหาระบบสนับสนุนการผลิตอื่นที่ประหยัดพลังงานมากกว่าระบบอัดอากาศเข้ามาแทนที่

6.2 การใช้อากาศอัดให้เหมาะสม

การใช้อากาศอัดที่มีความดันสูง และมีคุณภาพสูงเกินความจำเป็นจะทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนการผลิตโดยใช่เหตุ (ถ้าเราเพิ่มความดันขึ้น 2 เท่า ต้นทุนจะเพิ่มสูงขึ้นถึง 4 เท่าเลยทีเดียว) นอกจากนี้การขนส่งอากาศอัดที่ไม่มีประสิทธิภาพอาจทำให้ความดันของอากาศลดต่ำลง ดังนั้นเราจำเป็นต้องหาค่าความดันของอากาศอัดที่เหมาะสม และลดคุณภาพของอากาศอัดลงเท่าที่จำเป็น

- ตรวจสอบว่าอากาศอัดที่ได้มีความดันตรงตามต้องการ
- ตรวจสอบตัวกรองเป็นประจำเพื่อให้มั่นใจว่าความดันที่ลดต่ำลงมีค่าไม่เกิน 0.4 บาร์ เพราะหากค่าความดันที่ลดลงสูงกว่า 0.4 บาร์แล้วต้นทุนในการผลิตอากาศอัดจะเพิ่มสูงขึ้น และสูงกว่าค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนตัวกรองเสียอีก
- พยายามใช้ลมเข้าจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอากาศเย็นสามารถอัดได้ง่ายกว่าอากาศร้อน อีกทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานในการอัดอากาศมากกว่าด้วย
- กำหนดสัดส่วนของความต้องการใช้ และใช้เครื่องอัดอากาศย่อย แทนการใช้เครื่องอัดอากาศตัวใหญ่เพียงเครื่องเดียว
- ตรวจสอบลำดับของการทำงานเพื่อลดการใช้งานเครื่องอัดอากาศ
- ปิดเครื่องอัดอากาศทุกครั้งในช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิต
- ตรวจสอบว่าเครื่องอัดอากาศไม่ได้เดินเปล่าเมื่อไม่ได้ทำงาน
- ลดการใช้ท่อส่งที่มีขนาดยาว และเล็กเกินไป เนื่องจากจะทำให้สูญเสียความดันไประหว่างการขนส่ง
- หลีกเลี่ยงการเดินท่อหักมุมเพราะจะทำให้ความดันลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว
- ดูแลรักษาระบบอากาศอัดอย่างต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ

6.3 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD) ที่ใช้กับเครื่องอัดอากาศ

ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป มีการใช้เครื่องอัดอากาศอย่างแพร่หลายและในบางอุตสาหกรรม พลังงานที่ใช้ในเครื่องอัดอากาศอาจสูงถึง 30-40% ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด หากมีการควบคุมการใช้พลังงานเครื่องอัดอากาศได้ก็จะส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานได้

มาตรการประหยัดพลังงานมาตรฐานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตอากาศอัดของเครื่องอัดอากาศ โดยใช้เครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD) ไปควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เครื่องอัดอากาศ

หลักการทำงานเครื่องควบคุมความเร็วรอบ ของเครื่องอัดอากาศจะถูกต่อเข้ากับตัววัด (Sensor) เพื่อวัดความดันในระบบ ถ้าความดันในระบบลดลงต่ำกว่าระดับที่กำหนด เครื่องควบคุม

ความเร็วรอบจะเพิ่มความเร็วรอบของมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ ในทางกลับกันความเร็วรอบของเครื่องอัดอากาศจะถูกลดลงเมื่อความดันเพิ่มถึงระดับที่กำหนด

เครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ใช้ได้กับเครื่องอัดอากาศทุกแบบ เช่น แบบลูกสูบ สกรู แต่เครื่องอัดอากาศบางรุ่นที่นำเครื่องควบคุมความเร็วไปติดตั้งใช้งานแล้วอาจมีปัญหาคือรุ่นที่ผู้ผลิตติดตั้งเครื่องระบายความร้อน (After Cooler)

อยู่ด้านบนเหนือตัวแยกน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งไอน้ำของอากาศอัดอาจกลั่นตัวไหลลงไปที่ตัวแยกน้ำมันหล่อลื่นได้

ข้อควรระวังขณะเครื่องอัดอากาศใช้งาน

เครื่องอัดอากาศจะดูดอากาศจากภายนอก อัดอากาศโดยลูกสูบ หรือสกรู ได้อากาศอัดความดันสูง เช่น 8 บรรยากาศ (ความดันอากาศอัดเป็น 8 เท่าของความดันอากาศในห้อง) อุณหภูมิอากาศอัดจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 120 ^{0}C ซึ่งจะส่งผ่านเข้า หม้อแยกน้ำและอากาศ (Oil Separator). เพื่อแยกน้ำมันที่ไหลไปกับอากาศออก แล้วไหลเข้า เครื่องระบายความร้อน (After Cooler) เพื่อทำให้อุณหภูมิอากาศอัดลดลง ที่ เครื่องระบายความร้อน (After Cooler) อากาศอัดจะมีอุณหภูมิลดลง ไอน้ำในอากาศอัดอาจกลั่นตัวเป็นน้ำได้ ผู้ใช้งานเครื่องอัดอากาศจึงควรสังเกตไอน้ำที่อาจกลั่นตัวไหลกลับเข้าในหม้อแยกน้ำและอากาศ (Oil Separator) ในกรณีที่เครื่องอัดอากาศไม่ติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD)ความเร็วลมของอากาศอัดจะมีพลังงานจลน์สูงพอที่จะพาไอน้ำกลั่นตัวไหลออกจากเครื่องอัดอากาศไม่ไหลย้อนกลับมาที่ หม้อแยกน้ำและอากาศ (Oil Separator) ได้ แต่เมื่อติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD) นอกจากจะต้องระวังปัญหาการเกิดไอน้ำกลั่นตัวโดยต้องปรับอุณหภูมิ เครื่องระบายความร้อน (After Cooler) ให้เหมาะสมแล้ว ควรตรวจสอบการปรับตั้งความถี่ที่เหมาะสมด้วย

ประเทศไทยมีความชื้นสัมพัทธ์สูงเฉลี่ยตลอดปีสูงกว่า 50% ไอน้ำกลั่นตัวในเครื่องอัดอากาศโดยเฉพาะที่ เครื่องระบายความร้อน (After Cooler) ซึ่งอาจเกิดได้สูงมาก

ข้อควรระวังก่อนการจัดซื้อ

1. เครื่องควบคุมความเร็วรอบที่นำมาใช้ในเครื่องอัดอากาศ แบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ ในกรณีที่ซื้อโดยผู้ผลิตติดตั้งมาตั้งแต่แรก และกรณีที่จะติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบให้เครื่องอัดอากาศเดิม ให้โรงงานและอาคารปรึกษาผู้แทนจำหน่ายเครื่องอัดอากาศเดิมด้วยว่า เมื่อติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบแล้วยังรับประกันส่วนใดบ้าง และให้อ่านคู่มือเรื่องนี้ทางเทคนิคให้เข้าใจอย่างดีเสียก่อน

2. ปัจจุบันผู้จำหน่ายแข่งขันกันมาก บางรายนำเครื่องควบคุมความเร็วรอบไปติดตั้งทดสอบให้โรงงานโดยตรง เพื่อทดสอบให้เห็นประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานจริง แต่จะเป็น

การทดสอบระยะสั้นประมาณ 1 สัปดาห์ ผลที่ได้เป็นการยืนยันประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมความเร็วรอบ แต่ผลข้างเคียงของเครื่องอัดอากาศยังไม่ปรากฏก็ได้

ข้อควรระวังภายหลังติดตั้งใช้งานเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD) กับเครื่องอัดอากาศ

ผู้ใช้งานเครื่องอัดอากาศมักจะติดตั้งเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่กว่าการใช้งานปกติเพื่อรองรับการขยายงานในอนาคต เมื่อโรงงานติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD) ที่จะควบคุมมอเตอร์ให้ต่ำเพียงแค่พอเพียงผลิตอากาศอัดใช้งาน เช่น บางโรงงานลดความเร็วรอบมอเตอร์ลงระดับที่ผลิตอากาศอัดลง 50% ของการผลิตเดิมก็ยังพอเพียงต่อการใช้งานของโรงงาน

เมื่ออากาศอัดถูกผลิตที่อัตราลดลงอาจทำให้อัตราการไหลอากาศอัดผ่าน เครื่องระบายความร้อน (After Cooler) ลดลงเป็นผลให้ พลังงานจลน์เนื่องจากอากาศไม่เพียงพอต่อการผลักดันไอน้ำที่กลั่นตัวออกจาก เครื่องระบายความร้อน (After Cooler) ไอน้ำกลั่นตัวจึงไหลกลับมาที่ หม้อแยกน้ำและอากาศ (Oil Separator). ทำความเสียหายให้ระบบหล่อลื่นเครื่องอัดอากาศ สำหรับเครื่องอัดอากาศรุ่นที่ เครื่องระบายความร้อน (After Cooler) ไม่ได้อยู่บนตัวแยกน้ำมันหล่อลื่น น้ำที่กลั่นตัวจะไม่ไหลกลับมาที่ตัวแยกน้ำมันหล่อลื่น ปัญหาดังกล่าวข้างต้นจะไม่เกิดขึ้น

ดังนั้นภายหลังติดตั้งเครื่องควบคุมความเร็วรอบ (VSD) กับเครื่องอัดอากาศ ผู้บริหารจึงควรสั่งการให้ช่างเทคนิคสังเกตหยดน้ำกลั่นตัวที่อาจเกิดขึ้นในระบบอากาศอัด ถ้าพบน้ำกลั่นตัวลงผสมกับน้ำมันหล่อลื่น ให้หยุดการใช้งานเครื่องอัดอากาศ และหาสาเหตุให้พบก่อนการใช้งานเครื่องอัดอากาศใหม่

7. การปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในระบบแสงสว่าง

ถึงแม้ว่าระบบแสงสว่างจะเป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบสนับสนุนการผลิตที่ใช้พลังงานไม่สูงมากนัก แต่เราก็สามารถลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นในระบบดังกล่าวได้โดย

- ติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับ หรือติดตั้งตัวตั้งเวลาเปิด – ปิดระบบแสงสว่างในพื้นที่ที่มีการใช้แสงสว่างสูง และต่อเนื่อง
- ติดตั้งโคมสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการให้แสงสว่างของหลอดไฟ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวอาจช่วยลดจำนวนของหลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบันด้วย
- ออกแบบระบบแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงซึ่งมีสาระสำคัญ ดังนี้
- ปรึกษาบริษัทผู้ผลิตหลอดไฟ และระบบติดตั้งระบบแสงสว่างเกี่ยวกับการดำเนินการด้านแสงสว่าง
- เปลี่ยนหลอดไฟแบบใช้ไส้ (Incandescent) มาเป็นหลอดแบบคอมแพคฟลูโอเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) ซึ่งแม้ว่าหลอดแบบคอมแพคฟลูโอเรสเซนต์นั้นจะ

มีราคาแพงกว่า แต่เมื่อเทียบปริมาณการใช้พลังงานกับระยะเวลาการใช้งานแล้ว หลอดไฟแบบคอมแพคฟลูโอเรสเซนต์ใช้พลังงานเพียง 1 ใน 4 ของหลอดไฟแบบใช้ไส้ ในขณะที่มีอายุการใช้งานนานกว่าถึง 10 เท่า

- การใช้หลอดความดันสูงแบบโซเดียมแทนที่หลอดความถี่สูงแบบไตรฟอสฟอร์ T8 เมื่อไม่จำเป็นต้องใช้แสงที่มีคุณภาพสูง
- การใช้แสงธรรมชาติแทนการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟ

7.1 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลักการและเหตุผล

การใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่างในอาคารและโรงงานโดยที่ยังคงให้แสงสว่างคงเดิมหรือมากกว่า โดยการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงในระบบแสงสว่าง

บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ทำหน้าที่เช่นเดียวกันกับบัลลาสต์แกนเหล็กร่วมกับสตาร์ตเตอร์ แต่บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงจะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์ เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่มีค่าระหว่าง 25 – 50 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อป้อนให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์การใช้ความถี่สูงป้อนให้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ทำให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอด (light efficiency) เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 นอกจากนี้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงโดยทั่วไปจะมีวงจรที่ทำหน้าที่ จุดหลอดให้ติดสว่างและควบคุมกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดอยู่ในตัว

ข้อควรระวังในการคัดเลือก

1. มีบัลลาสต์ความถี่สูงจำหน่ายในตลาดหลายยี่ห้อ ราคาจะแตกต่างกันที่ค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) โดยแยกเป็นแบบ P.F.ระดับมาตรฐาน (PF. $\approx$ 0.95) และแบบ P.F.ระดับสูง (PF. > 0.95)

2. ต้องพิจารณาในเรื่องของสัญญาณความถี่ของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์อาจจะรบกวนอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตได้ เช่น กระบวนผลิตที่มีอุปกรณ์ PLC ควบคุมการผลิตเป็นต้น

3. สอบถามและต่อรองราคากับผู้จำหน่าย โดยเลือกอุปกรณ์ที่มีการรับรองการทดสอบคุณภาพจาก มอก. รวมทั้งสอบถามราคากลางจาก พพ.

4. เลือกอุปกรณ์บัลลาสต์ให้เข้ากับหลอดไฟ เช่น หลอด 36 W ต้องใช้บัลลาสต์ชนิดควบคุมหลอดขนาด 36 W และหลอด 18 W ต้องใช้ บัลลาสต์ควบคุมหลอดขนาด 18 W เป็นต้น

5. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ความถี่สูงอาจเสียหายได้หากนำไปติดตั้งในระบบไฟฟ้าที่มีการ Surge (แรงดันไฟฟ้ากระโชก) ของแรงดันไฟฟ้าบ่อยๆ เนื่องจากบัลลาสต์ถูกผลิตมาให้ใช้กับแรงดัน ≈ 220 V

6. มีข้อจำกัดในการใช้งานในสถานที่หรือบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง มีละอองไอน้ำสูง ไอน้ำมัน หรือฝุ่นผงสูงเป็นพิเศษ มักจะทำให้บัลลาสต์มีอายุการใช้งานที่สั้นลง

7. มีราคาที่แพงกว่าบัลลาสต์แบบธรรมดาประมาณ 3-5 เท่า โดยราคาจะเริ่มโดยประมาณตั้งแต่ 280 ถึง 450 บาท จึงทำให้มีต้นทุนในการลงทุนที่เบื้องต้นสูงกว่า

7.2 แผ่นสะท้อนแสงและโคมฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูง

หลักการและเหตุผล

มาตรการประหยัดพลังงานมาตรฐานนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารและโรงงานโดยการใช้แนวทาง 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1: การติดตั้งหรือเปลี่ยนแผ่นสะท้อนแสงในโคมเก่า โดยใช้บัลลาสต์ของเดิม

กรณีที่ 2: การเปลี่ยนโคมไฟโดยใช้โคมใหม่ที่ติดบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

กรณีที่ 3: การเปลี่ยนโคมไฟโดยใช้โคมใหม่ที่ติดบัลลาสต์โลว์ลอส

เนื่องจากโคมไฟเก่าอาจไม่มีแผ่นสะท้อนแสง หรือมีแผ่นสะท้อนแสงที่มีประสิทธิภาพต่ำ หรือในบางพื้นที่ เช่น ทางเดินมีการให้แสงสว่างมากเกินไป ดังนั้น เราอาจสามารถประหยัดพลังงานได้โดยการถอดหลอดออก หรือลดจำนวนหลอดไฟลงมา แล้วติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงประสิทธิภาพสูงเข้าไป ปัจจุบันเทคโนโลยีของแผ่นสะท้อนแสงได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูง และโคมไฟมีการพัฒนาออกแบบพับมุมขึ้นรูป และใช้แผ่นสะท้อนแสงคุณภาพสูงทำให้การลดจำนวนหลอดไฟลง สามารถทำได้โดยยังคงระดับความส่องสว่างใกล้เคียงของเดิม และการใช้บัลลาสต์ประหยัดพลังงาน เช่น บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ (HFEB) หรือบัลลาสต์โลว์ลอส (LB) ก็สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้เพิ่มมากขึ้น

การเลือกใช้โคมแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับว่าต้องการนำไปใช้งานอะไรบ้าง ต้องการคุณภาพแสงมากน้อยเพียงใด หรือเน้นในเรื่องของปริมาณแสงแต่เพียงอย่างเดียว ต้องมีการป้องกันน้ำ ฝุ่นผงมากน้อยเพียงใด

ข้อควรระวังในการเลือกแบบและชนิดวัสดุที่ประกอบเป็นโคมสะท้อนแสง

1. ถ้าเป็นอุปกรณ์สำเร็จรูป จะมีข้อกำหนดมาตรฐานตามสเปกของผู้ผลิต และมีราคากลางที่ พพ. จัดทำขึ้น สามารถดูข้อมูลได้ที่ เวปไซต์ : http://www.dede.go.th แต่ก่อนจัดซื้อขอให้มีการ

ทดลองติดตั้งกับสถานที่จริง โดยเฉพาะบริเวณที่เน้นการใช้แสง เช่น QC, จุดประกอบ โดยใช้ Lux Meter วัดด้วย

2. โรงงานที่ดำเนินการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงด้วยตนเองโดยการจัดซื้อแผ่นสะท้อนแสงสำเร็จรูปมาติดตั้งซึ่งทำให้ประหยัดต้นทุน แต่อย่างไรก็ตามให้ทดสอบโดยใช้ Lux Meter วัดแสงก่อนและหลังติดตั้งด้วย เพราะหลักการในการติดแผ่นสะท้อนแสง คือการลดหลอดเดิมลง แต่แสงสว่างยังเท่าเดิม

3. การปรับปรุงเฉพาะโคมไฟฟ้ามี 2 วิธี คือติดตั้งเฉพาะแผ่นสะท้อนแสงร่วมกับโคมเดิม และการติดตั้งโคมฟลูออเรสเซนต์ประสิทธิภาพสูงแทนโคมเดิมโดยต้องพิจารณาตามลักษณะงานปรับปรุงนั้นๆ

4. วัสดุที่ใช้สะท้อนแสงควรมีประสิทธิภาพการสะท้อนแสงที่ดี เช่น มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของตัวสะท้อนแสงไม่ต่ำกว่า 95%

5. โคมประหยัดพลังงานที่ดีควรพิจารณาจากประสิทธิภาพโดยรวมของโคมไฟฟ้า (η): ปริมาณแสงที่ออกจากโคม / ปริมาณแสงที่ออกจากหลอดเป็นเกณฑ์ รวมทั้งพิจารณาแสงบาดตาและกราฟกระจายแสงของโคมที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่

6. สำนักงานที่มีเพดานสูงควรใช้โคมที่มีการกระจายแสงด้านข้างน้อยทั้งนี้เพื่อประหยัดพลังงานและจำนวนโคม

7. การเลือกโคมไฟฟ้าให้มีแสงบาดตาน้อยเป็นเรื่องสำคัญไม่น้อยกว่าการคำนวณการส่องสว่างให้เพียงพอต่อการมองเห็น

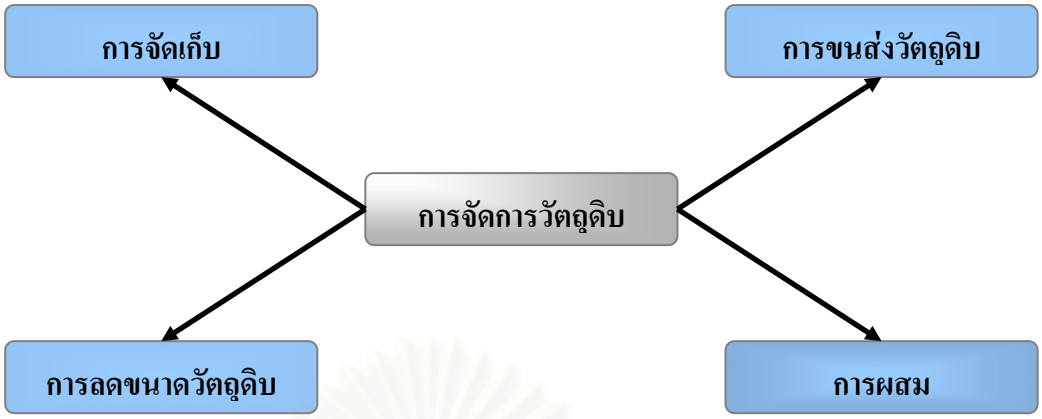
8. โคมไฟส่องลงสะท้อนแสงมี 2 อย่าง คือ สีทองและสีเงิน ตัวสะท้อนแสงสีทองใช้เมื่อต้องการความอบอุ่นเป็นกันเอง ตัวสะท้อนแสงสีเงินใช้เมื่อต้องการความสว่างเพื่อการใช้งาน

9. โคมไฟฟ้าที่มีการสะท้อนแสงดีมาก ๆ ควรระมัดระวังในการติดตั้งเพราะเมื่อถูกรอยนิ้วมือแล้วจะเช็ดออกได้ยาก

5.2 หลักการจัดการในอุตสาหกรรมเซรามิก ประกอบด้วย

1. การจัดการวัตถุดิบ

การจัดการวัตถุดิบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานมักถูกมองข้ามไป ทั้งที่จริงๆ แล้วเราสามารถลดการใช้พลังงาน และเพิ่มผลผลิตในกระบวนการดังกล่าวได้ผ่านทางการดำเนินการต่างๆ ดังจะกล่าวต่อไป ในรายละเอียด



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน และการจัดการวัตถุดิบ

1.1 การจัดซื้อ

การจัดซื้อวัตถุดิบควรพิจารณาถึงข้อกำหนดต่างๆ อันประกอบไปด้วย

- ขนาดของวัตถุดิบ
- ปริมาณสารปนเปื้อนในวัตถุดิบ

การเลือกใช้วัตถุดิบที่เหมาะสมจะช่วยลดปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตลงไปได้อย่างมีนัยสำคัญ

1.2 การจัดเก็บ

พัสดุคงคลังนั้นก่อให้เกิดต้นทุน ดังนั้นการจัดการวัตถุดิบในคลังให้เป็นไปอย่างเหมาะสมจะช่วยลดปริมาณต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดเก็บลงไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 การขนส่งวัตถุดิบ

การขนส่งวัตถุดิบจากสถานที่จัดเก็บไปยังหน่วยผลิตนั้น มักใช้สายพานลำเลียงเป็นอุปกรณ์ในการขนส่งหลัก ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า บ่อยครั้งที่สายพานลำเลียงทำงานโดยไม่มีวัตถุดิบอยู่ ทั้งนี้การเดินสายพานลำเลียงเปล่านั้นก่อให้เกิดต้นทุนโดยไม่จำเป็น ดังนั้นควรทำการปรับปรุงระบบการลำเลียงไม่ให้เกิดความสูญเปล่าขึ้น โดยอาจติดตั้งเซ็นเซอร์ทำงานที่เชื่อมต่อระหว่างสายพานลำเลียง และเครื่องจักรเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างสัมพันธ์กัน

1.4 การลดขนาดวัตถุดิบ

ขนาดของวัตถุดิบนั้นถือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก ซึ่งโรงงานผู้ผลิตทุกแห่งจะมีการติดตั้งเครื่องบดเพื่อบดวัตถุดิบให้มีขนาดตามต้องการ เครื่องบดเหล่านี้มักมีขนาดใหญ่และมีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก ดังนั้นการเดินเครื่องบดเปล่าอาจก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมหาศาลได้

นอกจากการเดินเครื่องบดเปล่าแล้ว เราอาจทำการสั่งซื้อวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดเวลาในการบด หรืออาจติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนที่มอเตอร์ที่ใช้อยู่เพื่อลดปริมาณพลังงานที่เครื่องบดใช้ก็เป็นได้

1.5 การผสม

การผสมวัตถุดิบนั้นอาจดำเนินการได้หลายรูปแบบ แต่โดยส่วนใหญ่วัตถุดิบหลังการผสมจะต้องผ่านกระบวนการไล่ความชื้นก่อนการเผาขึ้นรูปเสมอ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถือเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานค่อนข้างมาก และส่วนใหญ่ก็สามารถปรับปรุงได้ด้วยการเปลี่ยนรูปแบบของการดำเนินการ

1.6 การขึ้นรูป

กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นก็ถือเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้พลังงาน และสามารถปรับปรุงได้ โดยการปรับปรุงกระบวนการรีดดิน (Extrusion)

- ปรับตั้งเครื่องรีดดิน (Extruder) และมอเตอร์ให้ทำงานในอัตราที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ติดตั้งมอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมกับแรงบิดของเครื่อง

1.7 การลดปริมาณวัตถุดิบ

การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบลง ในขณะที่ยังคงคุณภาพของสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ถือเป็นการดำเนินการที่เป็นประโยชน์ทั้งในแง่ของต้นทุนการผลิต และการใช้พลังงานที่ลดลง ซึ่งสามารถดำเนินการได้ผ่านทางการศึกษาวิจัย และการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม

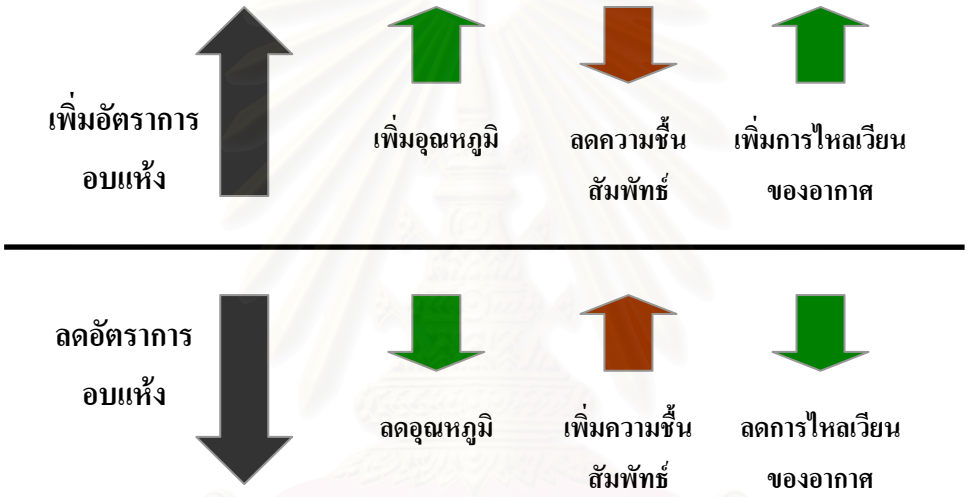
2. การจัดการในกระบวนการอบแห้ง (Drying)

2.1 คุณลักษณะของการอบแห้ง

การอบแห้งส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิยิ่งสูง ผลิตภัณฑ์ก็จะแห้งเร็วขึ้น
- ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความชื้นสัมพัทธ์ยิ่งต่ำ ผลิตภัณฑ์ยิ่งแห้งเร็วขึ้น
- การไหลเวียนของอากาศ (Air Flow) การไหลเวียนของอากาศยิ่งมาก ผลิตภัณฑ์ยิ่งแห้งเร็วขึ้น
- ตัวผลิตภัณฑ์ (Product Features) พื้นที่ผิว และความหนาของผลิตภัณฑ์จะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

ปัจจัยต่างๆ ข้างต้นนี้เป็นส่วนสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาหาขนาด และเทคโนโลยีของเครื่องอบที่จะนำมาใช้ในการผลิต



รูปที่ 5.3 ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่ออัตราการอบแห้ง

นอกจากปัจจัยต่างๆ ข้างต้นแล้ว เราสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการอบแห้งได้โดย

1. การจัดการกระบวนการให้มีความเหมาะสม
2. การตรวจติดตามกระบวนการ
3. การซ่อมบำรุง

2.2 การจัดการกระบวนการให้มีความเหมาะสม

ในเครื่องอบแห้งทั่วไป พลังงานประมาณร้อยละ 50 เท่านั้นที่ถูกนำไปใช้ในการทำความร้อน และการควบแน่น ในขณะที่พลังงานส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้ในระบบสนับสนุนอื่นๆ

การจัดการกระบวนการให้มีความเหมาะสมนั้นจะช่วยให้เราสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงไปได้ทั้งส่วนทำความร้อน และส่วนสนับสนุน โดยการจัดการนี้จะมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาการอบแห้ง และพลังงานลง ผ่านทางการดำเนินการต่อไปนี้

- การควบคุมความดัน และอุณหภูมิให้มีความเหมาะสม
- เลือกใช้วิธีการให้ความร้อน และตัวกลางความร้อนที่เหมาะสม
- เลือกใช้วิธีการขนส่งชิ้นงานระหว่างการอบแห้งที่เหมาะสม
- เลือกใช้ระบบสนับสนุนอื่นๆให้เหมาะสม และติดตั้งฉนวนความร้อนเพิ่มเติม เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น

2.2.1 การควบคุมภาระงาน

การควบคุมภาระงานให้มีความเหมาะสม (เช่น หากอัตราการอบแห้งต่ำและต้องการเพิ่ม ก็อาจจำเป็นต้องลดความชื้น เป็นต้น) ก็สามารถลดการใช้พลังงานลงไปได้อย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นกัน

การจัดตารางการผลิตโดยอ้างอิงจากรอบการอบแห้งก็ถือเป็นอีกวิธีหนึ่งในการจัดการภาระงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น

2.2.2 การควบคุมการไหลเวียนของอากาศ

การควบคุมการไหลเวียนของอากาศในเครื่องอบถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องพิจารณา เนื่องจากการไหลเวียนของอากาศส่งผลทั้งต่อคุณภาพของชิ้นงาน และการบริโภคพลังงาน เราจำเป็นต้องควบคุมอัตราการไหล และทิศทางการไหลของอากาศให้มีความเหมาะสมโดย

- เปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง
- เปลี่ยนรูปแบบการไหลเวียนของอากาศเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent) แทนแบบต่อเนื่อง (Continuous) เพื่อลดเวลาในการอบแห้ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้งไปในเวลาเดียวกัน

2.2.3 ผลกระทบเนื่องจากเตาเผา (Kiln)

การควบคุมเครื่องอบแห้งนั้นต้องพิจารณาในภาพรวม โดยไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเผา เนื่องจากกระบวนการเผานั้นเป็นกระบวนการที่สำคัญ และมีการใช้พลังงานในปริมาณสูง

เราจำเป็นต้องออกแบบระบบการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพ โดยไม่ขัดขวางการทำงานของเตาเผา อีกทั้งยังต้องทำให้การเผาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย

2.2.4 การใช้พลังงานความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการอื่น

พลังงานความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการอื่นนั้นอาจนำกลับมาใช้ใหม่ในการอบแห้งได้ โดยส่วนใหญ่มักดำเนินการโดยใช้

- ระบบปั๊มความร้อน
- รีคูเปอเรเตอร์
- ความร้อนช่วงเย็นตัว (Cooling Zone) กลับมาใช้ใหม่

2.3 การตรวจติดตามกระบวนการ

การตรวจติดตามกระบวนการนั้น อาจมุ่งเน้นการดำเนินการไปที่ปัจจัยหลักในการอบแห้ง อันประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียนของอากาศ ความชื้นในชิ้นงาน อัตราการผลิต รอบเวลาผลิต และการบริโภคพลังงานของเครื่องอบแห้ง ซึ่งโดยทั่วไปการตรวจติดตามปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มักก่อให้เกิดการประหยัดได้กว่าร้อยละ 5 – 10

การตรวจติดตามนี้อาจดำเนินการได้โดยการติดตั้งชุดอุปกรณ์เพื่อการตรวจติดตาม แต่อย่างไรก็ตามชุดอุปกรณ์เหล่านี้จะไร้ประโยชน์ หากการตรวจวัดที่เกิดขึ้นไม่มีความแม่นยำ และเที่ยงตรง ดังนั้นพนักงานควรทำการปรับตั้งชุดอุปกรณ์ ตลอดจนเซ็นเซอร์ตรวจวัดต่างๆ ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย

นอกจากนี้ ผู้ผลิตไม่ควรทำให้เกิดการควบแน่นในเครื่องอบแห้งด้วย เนื่องจากวัตถุดิบบางชนิดมีคุณสมบัติในการดูซึมน้ำ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในภายหลังได้

2.4 การซ่อมบำรุง

พนักงานควรทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้มีสภาพดีอยู่เสมอ แต่ก็ไม่ควรปรับตั้งเครื่องจักรใหม่โดยไม่จำเป็น เนื่องจากการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่แต่ละครั้งนั้นจะก่อให้เกิดต้นทุนค่อนข้างมาก

3. การจัดการกระบวนการเผา (Firing)

พลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการเผาขึ้นรูปเซรามิก ดังนั้นหากสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการเผาให้ดีขึ้นก็จะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตในภาพรวมทั้งในแง่ของพลังงาน และต้นทุนการผลิตที่ลดต่ำลง

3.1 การปรับปรุงเตาเผาให้เหมาะสม

เราสามารถปรับปรุงกระบวนการเผาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดย

- **การใช้วัสดุใหม่ในการผลิต**

ปัจจุบันมีการนำเอาวัตถุดิบจำพวก Low Thermal Mass (LTM) และ เซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) เข้ามาใช้ในการผลิต ซึ่ง LTM นั้นมีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ อาศัยความร้อนต่ำ และไม่จำเป็นต้องเผาเป็นเวลานาน จากคุณสมบัติดังกล่าว เราสามารถลดการใช้พลังงานในการเผาด้วย LTM ลงไปได้

สำหรับเซรามิกไฟเบอร์ (Ceramic Fiber) นั้นใช้สำหรับผิวในกรณีที่ต้องการทำการเผาอย่างรวดเร็ว (Fast Firing) ทำให้ลดปริมาณการใช้พลังงานลงไปได้ อีกทั้งยังสามารถป้องกันโครงสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย

- **การเพิ่มระดับความเร็วในการเผาเพื่อให้ได้ผลผลิตมากขึ้น**

เตาเผามักถูกใช้งานเพื่อเผาขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อนมากที่สุด ดังนั้นการแบ่งแยกเตาเผาเพื่อเผาขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความแตกต่างกันมากๆ หรือการแยกเผาชิ้นงานที่เผาซ้ำ จะช่วยให้รอบการทำงานเป็นไปอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นกว่าเดิม

นอกจากนี้การจัดตารางการผลิตให้สัมพันธ์กับการใช้เตาเผาประเภทเผาเป็นครั้งคราว (Intermittent Kiln) ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการทำงานในภาพรวม เนื่องจากจะทำให้สามารถใช้เตาเผาแบบต่อเนื่องได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

การติดตั้งฉนวนกันการสูญเสียความร้อนก็เป็นอีกกิจกรรมหนึ่งซึ่งสามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ อีกทั้งยังช่วยให้อุณหภูมิในเตาเผามีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

- **การนำความร้อนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศกลับมาใช้ใหม่**

การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่นั้น จะดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อเตาเผาทั้งหลายทำงานในสภาพการณ์ที่เหมาะสมที่สุดแล้วเท่านั้น และไม่ควรวางแผนผลิตความร้อนส่วนเกินกลับไปใช้ใหม่

ความร้อนจะนำกลับไปใช้ใหม่ต้องเป็นความร้อนที่สูญเสียจริงๆ จากการศึกษาพบว่าการนำความร้อนจากเตาเผาในช่วงเย็นตัว (Cooling Zone) กลับไปใช้ใหม่ในช่วงอุ่นชิ้นงาน (Preheat) นั้นสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานแต่อย่างใด

- **การควบคุมเตาเผา**

การควบคุมปัจจัยต่างๆ ในเตาเผาให้มีความสม่ำเสมอ และเหมาะสมนั้นถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการเผา แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลายอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของอุณหภูมิภายในเตาเผานั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกด้วย เช่น

- ตำแหน่งของชิ้นงาน
- ความสัมพันธ์ในการทำงานระหว่างหน่วยควบคุม และตัวทำความร้อน
- สภาพ และตำแหน่งของ เทอร์โมคัปเปิล(Thermocouple)

การปรับตั้งเตาเผาให้มีความเหมาะสมนั้นดำเนินการได้ยาก และต้องใช้เวลา เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ก็ต้องปรับแต่งค่าความร้อนแตกต่างกันออกไปด้วย ดังนั้นทุกครั้งที่มีการดำเนินการไม่ควรปรับแต่งเตาเผาโดยไม่จำเป็น

- **ดุลยภาพของพลังงานในเตาเผา**

การเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงให้เป็นพลังงานความร้อน โดยภาพรวมต้องอาศัยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ เชื้อเพลิง, ออกซิเจน และความร้อน ทั้งสามส่วนต้องมีปริมาณที่เหมาะสมกันจึงจะทำให้เกิดการเผาไหม้แล้วให้ความร้อนออกมาใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ฉะนั้นการควบคุมประสิทธิภาพของการเผาไหม้จึงเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นส่วนที่สำคัญ ในอุตสาหกรรมการผลิตจะพบว่าต้องใช้หัวเผาเป็นตัวช่วยในการจ่ายน้ำมันเพื่อทำการเผาไหม้ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงอากาศส่วนที่ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยในการเผาไหม้ในปริมาณมากๆ อีกด้วย อีกทั้งต้องทำการวัดและควบคุมปริมาณไอเสียของแก๊สที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศว่ามีปริมาณของแก๊สอะไรบ้าง สิ่งเหล่านี้เป็นข้อมูลที่บ่งบอกถึงการเผาไหม้ว่าสมบูรณ์เพียงใดหรือมีปัญหาในการควบคุมการเผาไหม้หรือไม่อีกด้วย ดังนั้นอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ช่วยในการวัดและประเมินประสิทธิภาพของการเผาไหม้ มีดังนี้

- เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจน
- เครื่องมือวัดความร้อนในปล่องและเตา
- ตารางแสดงค่าการสูญเสียความร้อนที่ปล่อง โดยจำแนกตามชนิดของเชื้อเพลิง
- ตารางค่าแสดงปริมาณความร้อนที่สูญเสียไปกับการพาและการแผ่รังสีความร้อน

ดังนั้น การควบคุมดุลยภาพของพลังงานในเตาเผานั้นจะช่วยลดความร้อนที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังจะช่วยลดค่า SEC ของการผลิตลงไปได้อย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย

- **การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้**

การเผาไหม้ในเตาเผาต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องจึงจะส่งผลในการเผาไหม้มีประสิทธิภาพสูง อย่างไรก็ตาม หากใช้งานไปนานด้วยอายุการใช้งานที่มากขึ้น การจะทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นให้ใช้เทคนิคพื้นฐาน 3 ประการ กล่าวคือ

1. การปรับปรุงระบบเดิมที่มีการชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพให้กลับมาอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์โดยเร็ว
2. การเปลี่ยนหัวเผาใหม่หากพบว่าอยู่ในข่ายที่ส่งผลต่อการเผาไหม้อย่างชัดเจนหรือไม่สามารถผลิตความร้อนตอบสนองกับกระบวนการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง
3. ใช้ระบบการควบคุมอัตโนมัติ

- **อุปกรณ์ควบคุมอากาศในการเผาไหม้**

หลักการและเหตุผล

อุปกรณ์ที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้เกิดพลังงานความร้อน เช่น หม้อไอน้ำ เตาเผา และหม้อน้ำมันร้อน จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีการป้อนอากาศเข้าไปในกระบวนการเผาไหม้ในสัดส่วนที่เหมาะสมกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิง หากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงมากเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียความร้อนออกไปกับไอเสียมากเกินไป แต่หากอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่ำเกินไป ก็จะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้ความร้อนน้อยลง และเกิดเขม่าควันดำที่เป็นมลภาวะ

การตรวจสอบค่าอัตราอากาศต่อเชื้อเพลิงสามารถทำได้โดยการวัดปริมาณออกซิเจนในไอเสีย เนื่องจากค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรง ทั้งนี้ค่าที่เหมาะสมของปริมาณออกซิเจนในไอเสียคือ ไม่เกิน 4% สำหรับการเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลว และไม่เกิน 7% สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง แต่โดยทั่วไปในหม้อไอน้ำที่ไม่มีการตรวจวัดและควบคุมปริมาณออกซิเจนในไอเสีย มักพบว่ามีการป้อนอากาศมากเกินไป ซึ่งหากสามารถลดปริมาณอากาศลงมาในอัตราที่เหมาะสมได้จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงลงได้ประมาณ 1% - 2.5%

การควบคุมอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงสามารถทำได้โดยใช้คนตรวจวัดและปรับแต่งอย่างสม่ำเสมอแต่อาจขาดความเที่ยงตรงแม่นยำ และไม่สามารถทำได้ตลอดเวลาเมื่อสภาวะการทำงานของอุปกรณ์มีการเปลี่ยนแปลงดังนั้นการใช้อุปกรณ์ควบคุมอากาศในการเผาไหม้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สมควรพิจารณาอุปกรณ์ชุดนี้จะมีเซนเซอร์ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในไอเสีย และ

อุณหภูมิของไอเสีย เพื่อนำมาทำการประมวลผลและส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมตำแหน่งของแดมเปอร์ หรือตัวควบคุมความเร็วรอบของพัดลมเพื่อปรับให้ได้อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่เหมาะสมตลอดเวลา

ข้อควรระวังในการพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอากาศในการเผาไหม้

1. อุปกรณ์ควบคุมอากาศในการเผาไหม้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับหม้อไอน้ำหรือเตาเผาเฉพาะแบบ ดังนั้นจะต้องตรวจสอบให้แน่ชัดว่าอุปกรณ์สามารถติดตั้งกับหม้อไอน้ำหรือเตาเผานั้น ๆ ได้หรือไม่

2. ราคาของอุปกรณ์ควบคุมอากาศในการเผาไหม้ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับผลประหยัด ดังนั้นการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์จึงมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้กับหม้อไอน้ำหรือเตาเผาขนาดใหญ่ที่มีการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมากเท่านั้น โดยทั่วไปควรมีการใช้น้ำมันเตาไม่น้อยกว่า 1,000 ตันต่อปี

3. หม้อไอน้ำหรือเตาเผาที่จะติดตั้งอุปกรณ์นี้ควรมีอายุการใช้งานเหลืออยู่ไม่ต่ำกว่า 7 ปี

4. ในหม้อไอน้ำหรือเตาเผารุ่นใหม่ ๆ หากมีระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนติดตั้งมาอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบเพิ่มเติม

5. เมื่อติดตั้งระบบแล้ว จะต้องมีการบำรุงรักษาและสอบเทียบเซนเซอร์ตรวจวัดออกซิเจนอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ระบบควบคุมทำงานอย่างถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นในการติดตั้งอุปกรณ์จึงควรคำนึงถึงความสะดวกในการบำรุงรักษาด้วย

สรุป

การอนุรักษ์พลังงานในเตาเผาเซรามิกนั้นให้พิจารณาอย่างน้อยในสามส่วน กล่าวคือ ส่วนที่หนึ่งคือ ประสิทธิภาพการเผาไหม้ของหัวเผา ส่วนที่สอง ให้พิจารณาสภาพของผนังเตาและการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้น ส่วนที่สาม การกระจายของความร้อนภายในเตาเผา และส่วนที่สี่ความร้อนของแก๊สที่ปล่อยออกจากปล่องสู่บรรยากาศ ฉะนั้น การวางแผนการดำเนินการจึงเป็นสิ่งที่สำคัญนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อประเมินอันเป็นผลสรุปไปสู่การปรับปรุงการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเป็นระบบ

4. การจัดการการขึ้นรูป

กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นก็ถือเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้พลังงาน และสามารถปรับปรุงได้ โดยมีแนวทาง ดังนี้คือ

- ปรับมอเตอร์ให้ทำงานในอัตราที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

- ติดตั้งมอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมกับแรงบิดของเครื่อง

5.3 แนวทางในการกำหนดมาตรการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

แนวทางในการกำหนดมาตรการในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากเตาเผา โดยคำนึงถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอน ดังนี้

1. การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และลดปริมาณไอเสีย ส่งผลถึงปริมาณการปล่อยสารมลพิษต่าง ๆ ออกมากับไอเสียลดลงตามไปด้วย

2. การลดปริมาณการสูญเสียพลังงานความร้อนจากสาเหตุต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงลดลง ทำให้สารมลพิษต่าง ๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้มีปริมาณลดลงตามไปด้วย

แนวทางในการกำหนดมาตรการในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากเตาเผา มีดังนี้

การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิง

การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิง ด้วยการปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงของคนเตาให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยอาศัยการควบคุมอุณหภูมิโดยเครื่องมือวัดและวัสดุอ้างอิงอุณหภูมิภายในเตา และเครื่องมือวัดองค์ประกอบไอเสียเพื่อให้ทราบถึงลักษณะการเผาไหม้ที่กำลังเกิดขึ้น การปรับปรุงเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณ CO และ HC จากการเผาไหม้ลดลง และจากผลการลดปริมาณพลังงานความร้อนสูญเสียไปกับไอเสีย เมื่อพิจารณาจากปริมาณการเกิดมลพิษต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงจะทำให้ปริมาณมลพิษลดลงด้วย

การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอันสืบเนื่องมาจากมาตรการประหยัดพลังงาน

สืบเนื่องจากการดำเนินการตามมาตรการประหยัดพลังงานต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งในแต่ละมาตรการมีผลทำให้เกิดการประหยัดพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การบุฉนวนที่ผนังเตาทั้งด้านนอกและด้านใน การนำความร้อนในไอเสียกลับมาใช้ใหม่ และการเปลี่ยนระบบการทำงานของเตา เป็นต้น ดังนั้นเมื่อสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ลงได้ก็จะสามารถลดปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ได้อีกทางหนึ่งด้วย

บทที่ 6

สรุปงานวิจัย

6.1 สรุปงานวิจัย

"พลังงาน" เป็นปัจจัยพื้นฐานในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ โดยพลังงานที่ถูกใช้นอกเหนือไปจากงานทางด้านสาธารณูปโภคจะถูกนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตเป็นส่วนใหญ่ ด้วยสัดส่วนของมูลค่าพลังงานร้อยละ 36 ของพลังงานรวมที่ถูกใช้ภายในประเทศ ทั้งนี้หากพลังงานส่วนใหญ่ของประเทศถูกนำใช้ไปอย่างขาดประสิทธิภาพ ก็ย่อมทำให้เกิดความสูญเปล่าและนำมาซึ่งความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงต่อประเทศได้ ดังนั้น ภาคอุตสาหกรรมการผลิตจึงเป็นส่วนอุตสาหกรรมที่ถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นประเด็นในการศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในงานวิจัยนี้

อุตสาหกรรมเซรามิกจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่เชื่องโยงเข้ากับอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ และอุตสาหกรรมยานยนต์ เพื่อตอบสนองความต้องการในประเทศและทดแทนการนำเข้า จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและขยายฐานการผลิตอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งในปัจจุบัน อุตสาหกรรมเซรามิกกลายเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่ สามารถส่งออกและทำรายได้ให้ประเทศสูงถึงปีละประมาณกว่า 20,000 ล้านบาท ในมิติด้านพลังงานอุตสาหกรรมเซรามิกเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงกลุ่มหนึ่ง จากข้อมูลในปี 2548 ระบุว่าโดยรวมมีการใช้พลังงานเทียบเท่า 417 ktoe หรือคิดเป็นร้อยละ 1.84 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในทั้งภาคอุตสาหกรรมและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ดังนั้น งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวซึ่งมีสภาพการใช้พลังงานที่แตกต่างกันตามผลผลิตและกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้มีเกณฑ์การใช้พลังงานมาตรฐานของอุตสาหกรรมเซรามิกในประเทศไทย ซึ่งทำให้ผู้ประกอบการทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเองและเปรียบเทียบกับผู้อื่น อีกทั้งนำเสนอเกี่ยวกับมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะเป็นการช่วยยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศ รวมทั้งสามารถรับมือกับสถานการณ์วิกฤติการณ์ด้านพลังงานทั้งในปัจจุบันและอนาคตได้

1. โครงสร้างของอุตสาหกรรมเซรามิก

1.1 ประเภทของอุตสาหกรรมเซรามิก

การผลิตเซรามิคในประเทศไทยแบ่งเป็น2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เซรามิคแบบดั้งเดิม (Traditional Ceramics) ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 5 ประเภทหลักได้แก่ เครื่องสุขภัณฑ์ กระเบื้องเซรามิค เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของชำร่วยและเครื่องประดับ และลูกถ้วยไฟฟ้า และเซรามิคยุคใหม่ (New Ceramics) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Structural Ceramics เป็นเซรามิคที่ต้องรับน้ำหนักที่อุณหภูมิสูง และ Functional Ceramics เป็นเซรามิคพวกอิเล็กทรอนิกส์ โดยการศึกษาในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะเซรามิคแบบดั้งเดิมเท่านั้น

1.2 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเซรามิก

การเตรียมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบดินขาว ดินดำ หินฟันม้า ทรายแก้ว ไปผ่านกระบวนการย่อยหยาบ ให้ได้ขนาดตามที่กำหนด หลังจากนั้น นำเข้าเครื่องบดละเอียด (Ball mill) และผสมกับน้ำจนละเอียดเป็นน้ำดินข้นๆที่มีส่วนผสมต่างๆเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้น้ำดิน (Slip) เมื่อนำน้ำดินที่ได้มาทำการรีดน้ำออกโดยผ่านเครื่องอัดกรองน้ำดิน (Filter Press) หลังจากนั้นจะได้ดินที่มีลักษณะรูปแผ่นเหมือนเค้ก นำดินที่ได้มาผ่านเครื่องรีดดิน (Extruder) เพื่อเป็นการเพิ่มความเหนียวและกำจัดฟองอากาศในเนื้อดิน จะได้เนื้อดินสำหรับปั้น วัตถุดิบที่ใช้สำหรับงานกระเบื้องจะมีวิธีการเตรียม โดยน้ำดินถูกฉีดเป็นฝอยในเตาเผา Spray Dryer ซึ่งใช้มีอุณหภูมิประมาณ 600 ^{o}C จะได้ดินผงที่มีรูปทรงกลมที่มีความละเอียด (Grain) และความชื้นที่ตามมาตรฐาน

การขึ้นรูป

- การขึ้นรูปโดยการหล่อแบบ (Slip Casting) เป็นการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยการเทน้ำดินเหลวลงใน แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ เนื้อปูนปลาสเตอร์มีรูเล็กๆ สามารถดูดซึมน้ำได้ดี รอจนกระทั่ง แบบพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ดูดซึมน้ำ ออกจากดินหล่อ เกิดการจับตัวของเนื้อดิน ที่ผิวปูนด้านในของแบบพิมพ์ จึงเทดินที่เหลือออกจากแบบพิมพ์ รอจนชิ้นงานแข็งตัว
- การขึ้นรูปโดยอาศัยเครื่องจิกเกอร์ (Jiggering) การขึ้นรูปโดยวิธีนี้ดัดแปลงมาจากการขึ้นรูปโดยแป้นหมุน คือ วางเนื้อดินปั้นบนแบบปลาสเตอร์ซึ่งติดอยู่กับแป้นหมุน แล้วกดแม่แบบอีกด้านหนึ่งลงบนเนื้อดินปั้น ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งด้านหนึ่งจะเหมือนแบบปลาสเตอร์ ส่วนอีกด้านหนึ่งจะเหมือนแม่แบบที่กดลงบนเนื้อดินปั้น
- การขึ้นรูปด้วยการอัดดินฝุ่น (Dry Pressing) สามารถตัดปัญหาเรื่อง เนื้อดินติดแบบพิมพ์ ผลิตภัณฑ์หดตัวมากขณะผึ่งแห้ง และหลังการเผา การขึ้นรูปด้วยดินฝุ่นนิยมใช้ทำกระเบื้องปูพื้น

หรือผนัง โดยนำผงดินไปเข้าเครื่องขึ้นรูปกระเบื้องด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบอัด (Hydraulic press) จะได้แผ่นกระเบื้องดิบที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่

การอบ

เป็นการไล่ความชื้น เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วแห้งและมีความแข็งแรงพอสำหรับนำไปตกแต่ง ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีขนาดและความหนาไม่เท่ากัน จึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของการอบตามชนิดของผลิตภัณฑ์ เพื่อถ้าแห้งเร็วเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกเสียหายได้

การเคลือบ

หลังจากผ่านเตาอบผลิตภัณฑ์ จะถูกนำไปเคลือบและตกแต่งให้สวยงาม

การเผา

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตกแต่งแล้วจะถูกลำเลียงไปเข้าเตาเผาที่มีอุณหภูมิประมาณ 1, 200 ^{o}C จนได้ผลิตภัณฑ์ ที่มีความแข็งแกร่ง

2. ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ในการศึกษา คือ SEC (Specific Energy Consumption) โดยเป็นตัวชี้วัดที่นำเอาหน่วยกายภาพไปใช้ในการกำหนดผลลัพธ์ เช่น ตันของผลิตภัณฑ์ หรือจำนวนชิ้น เป็นต้น ในขณะที่ส่วนนำเข้าใช้หน่วยของพลังงานไฟฟ้าและความร้อน ตัวชี้วัดประเภทนี้เป็นที่นิยมค่อนข้างมากเนื่องจากสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกันได้ ซึ่งมีหน่วยต่างกันออกไปตามแหล่งพลังงาน และรูปแบบการชี้วัดผลลัพธ์ เช่น MJ/Ton, kWh/Ton

โดยสูตรคำนวณดังนี้

$$SEC = \frac{\text{Energy Input (MJ, kWh)}}{\text{Output (ton)}}$$

โดยที่ SEC = ประสิทธิภาพพลังงาน

ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจะมีประโยชน์อย่างมากในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง ข้อดีประการสำคัญของตัวชี้วัดรูปแบบนี้ คือ เราสามารถชี้วัดในประเด็น

ที่ต้องการศึกษาโดยเฉพาะได้ นอกจากนี้ตัวชี้วัดดังกล่าวยังสามารถสื่อให้เห็นถึงแนวโน้ม และความเป็นไปในระยะยาวได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

3. การประเมินสมรรถนะการใช้พลังงาน SEC (Specific Energy Consumption)

โรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามที่ได้กล่าวข้างต้น แต่ละประเภทก็จะมีโครงสร้างการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมจริงๆ นั้น โรงงานอาจจะมีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้โครงสร้างการใช้พลังงานมีความซับซ้อนมากขึ้นไปอีก ซึ่งส่งผลให้การตรวจวัดการใช้พลังงานหรือการเปรียบเทียบการใช้พลังงานต้องมีข้อจำกัดและบ่งใช้ค่อนข้างชัดเจน ดังนั้นการเปรียบเทียบที่ดีจำเป็นต้องเปรียบเทียบกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์ที่ทัดเทียมกัน ซึ่งในโรงงานยังไม่มีข้อมูลส่วนนี้มากนัก เช่น โรงงานที่มีมากกว่าหนึ่งกระบวนการผลิต แม้ว่าจะมีข้อมูลการใช้พลังงานรวม แต่จะไม่มีข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานแยกตามกระบวนการผลิต ข้อมูล SEC ของโรงงานซึ่งประเมินจาก ปริมาณการใช้พลังงานของโรงงานรายวัน หรือรายเดือน หรือรายปี แล้วหารด้วยปริมาณผลผลิตของช่วงเวลาเดียวกัน จึงเป็น SEC ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการผลิตหลายกระบวนการ และ SEC ของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดได้นั้นขึ้นกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ปริมาณพลังงานที่ใช้ ดังตารางที่ 1-4

ตารางที่ 6.1 SEC โรงงานผลิตกระเบื้องเซรามิก

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 1		โรงงานตัวอย่างที่ 2		โรงงานตัวอย่างที่ 3	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	32.83		28.47		56.02	
การทำวัตถุดิบเปียกให้แห้ง (Spray drying)	9.95	-	26.1	0.7		-
การขึ้นรูป(Pressing)และอบ	15.22		42.61	0.61	85.96	
การเคลือบ	3.11		29.43			
การอบ	9.26	-				-
การเผา(เผาครั้งเดียว)	17.02	-	29.75	2.68	14.35	-
อื่นๆ	3.29		9.05		50.29	
SEC รวมทั้งโรงงาน	90.68	-	165.41	3.99	290.24	-

หมายเหตุ SEC, TH ไม่สามารถแยกได้ เพราะบางโรงงานไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์แก๊ส

ตารางที่ 6.2 SEC โรงงานผลิตเครื่องสุขภัณฑ์

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 4		โรงงานตัวอย่างที่ 5		โรงงานตัวอย่างที่ 6	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ ทำน้ำเคลือบ	124.79		231.04	1.8	115.94	
การขึ้นรูปชิ้นงาน	72.39		74.66		29.60517	
การอบ	55.96	2.01	51.03	2.4		
การเคลือบ	99.7		25.01			
การเผาโดยใช้เตาอุโมงค์แบบดังเดิม	183.9	12.5	69.62	9.36		
หรือใช้เตาชัทเทิ่ล			90.32	13.13	123.93	11.62
การทำแม่พิมพ์	16.49	2.35		1.79		
Utilities	168.94		236.36		40.63	
อื่นๆ	29.95		24.55			
SEC รวมทั้งโรงงาน	782.12	16.86	716.33	14.29	320.19	11.62

ตารางที่ 6.3 SEC โรงงานผลิตลูกถ้วยไฟฟ้า

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 7		โรงงานตัวอย่างที่8		โรงงานตัวอย่างที่ 9	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	35.47		5.97		616.5	19.73
การขึ้นรูปชิ้นงาน	169.55				52.6	
การอบ	18.25	-				-
การเคลือบ					13.33	
การเผา	686.61	18.62	218.83	25.88		-
การบรรจุ	8.65					
Utilities	97.58					
SEC รวมทั้งโรงงาน	1122.25	18.62	863.29	25.88	705.2	

หมายเหตุ SEC, TH ไม่สามารถแยกได้ เพราะบางโรงงานไม่ได้ติดตั้งมิเตอร์แก๊ส

ตารางที่ 6.4 SEC โรงงานผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

กระบวนการผลิต	โรงงานตัวอย่างที่ 10		โรงงานตัวอย่างที่ 11		โรงงานตัวอย่างที่ 12	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	376.41	0.1	109.1		128.39	
การขึ้นรูปชิ้นงาน	179.53		53.79		126.23	
การอบ	30.31	13.99	6.06	1.88	97.85	
การเคลือบ	17.06		10.7		5.63	
การเผา	128.08	23.45	111.57	19.99	186.90	
การพิมพ์สี	385.16	3.44	323.33		61.57	
การทำน้ำเคลือบ						
การทำแม่พิมพ์	36.12	0.84			34.98	
Utilities	264.22		142.26		114.08	
SEC รวม	1416.89	41.82	756.8	21.87	752.17	

4. การเปรียบเทียบสมรรถนะพลังงาน (Energy Benchmarking) ในอุตสาหกรรมเซรามิก

สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกเนื่องจากการบริโภคพลังงานโดยประมาณ 80% เกิดขึ้นที่กระบวนการผลิต ดังนั้นกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันย่อมมีเกณฑ์การใช้พลังงานที่ต่างกัน โดยการใช้การจัดกลุ่มที่แยกย่อยลงตามกระบวนการผลิต ก็จะช่วยให้เกิดเกณฑ์การใช้พลังงานที่สามารถเปรียบเทียบกันได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากประสิทธิภาพพลังงานไม่ได้ผันแปรตามกระบวนการผลิตแต่เพียงอย่างเดียว เทคโนโลยีการผลิตที่ต่างกันยังมีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานด้วย ดังนั้นเพื่อให้มีเกณฑ์การใช้พลังงานที่เหมาะสม และมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่จะช่วยให้อุตสาหกรรมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานให้ได้ตามเกณฑ์ จึงเสนอให้ใช้แนวทางดังนี้

- จำแนกกลุ่มอุตสาหกรรมแต่ละกลุ่มออกตามกระบวนการผลิต
- แต่ละกระบวนการผลิตให้กำหนดเกณฑ์อ้างอิง (SEC อ้างอิง)
- กำหนดค่าปรับแก้ (Correction Value) สำหรับแต่ละเทคโนโลยีที่ต่างจากเกณฑ์อ้างอิง
- อุตสาหกรรมแต่ละแห่งจะได้รับค่าเกณฑ์อ้างอิงและค่าปรับแก้ตามเทคโนโลยี เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพพลังงานของตนเอง ตามกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีของตนเอง ว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์หรือไม่

โดยอาศัยแนวทางข้างต้น จึงได้มีการกำหนดเกณฑ์อ้างอิง และค่าปรับแก้สำหรับแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมดังต่อไป

ด้วย SEC ของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดจะขึ้นกับน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และระยะเวลาของรอบการผลิต (Cycle) การประเมินว่าโรงงานใดมีค่า SEC เหมาะสมหรือไม่ให้เปรียบเทียบค่าSEC ของโรงงานนั้นกับค่าSEC อ้างอิง (Benchmarking) ของอุตสาหกรรมเซรามิกตามกระบวนการผลิต โรงงานสามารถประเมิน SEC ของโรงงานแต่ละกระบวนการแล้วเปรียบเทียบกับ ค่าSEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) ถ้าหาก SEC ของโรงงานใดสูงกว่า หมายถึงโรงงานนั้นมีการบริโภคพลังงานเกินค่ามาตรฐาน จึงสมควรดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

โรงงานที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่แตกต่างกันจะมีค่าSEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) ต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้โรงงานประเมินสมรรถนะของโรงงานเองอ้างอิงกับเทคโนโลยีที่โรงงานใช้ จึงกำหนดค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) สำหรับเทคโนโลยีที่เปลี่ยนไปขึ้นดังแสดงในตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.5 SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมเซรามิก

ประเภทเซรามิก	SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking)		
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SECปฐมภูมิ GJ / ton
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Fine and Bone China*	1,336.00	27.2	37.89
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Hotelware*	755.6	25.1	31.14
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Earthware*	443.2	18.8	22.35
เครื่องสุขภัณฑ์	516	9.1	13.23
กระเบื้องบุผนัง	138.8	4.63	5.74
กระเบื้องปูพื้น	118.3	3.13	4.08
ลูกถ้วยไฟฟ้า	705	17.5	23.14
ผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทอื่นๆ	N/A	N/A	N/A

ตารางที่ 6.6 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

กระบวนการผลิต	Fine and Bone China		Hotel Ware		Earth Ware	
	SEC Benchmarking		SEC Benchmarking		SEC Benchmarking	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
เตรียมวัตถุดิบ	376.41		128.39		40.92	
การทำวัตถุดิบเปียกให้แห้ง (Spray drying)						
ขึ้นรูปชิ้นงาน	179.53		126.23		93.27	
การเคลือบ	17.06		5.63			
การอบ						
เผา ใช้ Conventional tunnel kiln หรือใช้ Shuttle Kiln	102	27.17	186.9	25.08	91.58	
พิมพ์สี	385.16		61.57		16.04	
ทำน้ำเคลือบ						
ทำแม่พิมพ์	36.12		34.98		5.02	
Utilities	210		114.08		195	

ตารางที่ 6.7 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) กระบวนการผลิตเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เมื่อเตาเผาแบบโรลเลอร์ฮาร์ท (Roller Hearth Kiln) แทนอุโมงค์ (Tunnel Kiln)

ประเภท	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
Fine and Bone China		20.90
Hotel Ware		16.72
Earth Ware		12.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.8 ค่า SEC อ้างอิง (SEC Benchmarking) แบ่งตามกระบวนการผลิตเซรามิก

กระบวนการผลิต	เครื่องสุขภัณฑ์		กระเบื้อง		ลูกถ้วยไฟฟ้า	
	SEC Benchmarking		SEC Benchmarking		SEC Benchmarking	
	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
เตรียมวัตถุดิบ	115		29.00		616.5	19.734
การทำวัตถุดิบเปียกให้แห้ง (Spray drying)			10.00	0.98		
ขึ้นรูปชิ้นงาน	70		42.00		52.6	
การเคลือบ	25		4.00		13.33	
การอบ			9.30	0.25		
เผา ใช้ Conventional tunnel kiln หรือใช้ Shuttle Kiln	70	9.10*	20.50	1.9		
พิมพ์สี						
ทำน้ำเคลือบ						
ทำแม่พิมพ์	16					
Utilities	170					

*ด้วยไม่มีการกำหนดพลังงานความร้อนที่กระบวนการอบชิ้นงานและแม่พิมพ์ในค่า SEC Benchmarking ดังนั้นโรงงานที่ไม่ได้ใช้ความร้อนทิ้งเพื่อกิจกรรมดังกล่าวให้เพิ่มSEC (ความร้อน) กระบวนการนี้ที่ SEC, TH ซึ่งถ้าใช้ Modern Tunnel Kiln SEC,TH=4.2 GJ/ton และถ้าใช้ Modern Shuttle Kiln SEC,TH=8.5 GJ/ton

5. การปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

โรงงานในอุตสาหกรรมเซรามิกใช้พลังงานความร้อนที่สัดส่วน70-90 % ขึ้นกับประเภทของผลิตภัณฑ์ของการใช้พลังงานรวม อุตสาหกรรมมีอุปกรณ์ที่เหมือนกัน คือเตาเผา (Kiln) ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงที่ก๊าซร้อนสะอาด ได้จากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ หรือ LPG แต่ขนาดและชนิดของเตาต่างกันตามโรงงานเลือก และทุกโรงงานมีระบบผลิตวัตถุดิบโดยการบดที่ใช้อุปกรณ์ Ball Mill และมีระบบลมอัดใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้า มาตรการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมที่นำเสนอ มีดังนี้

ตารางที่ 6.9 มาตรการและผลการอนุรักษ์พลังงาน

มาตรการ	ผลการอนุรักษ์พลังงาน			
	ไฟฟ้า(kWh/yr)	ความร้อน(kJ/hr)	บาท/ปี	% การประหยัด
โรงงานตัวอย่างที่ 1				
1. มาตรการจัดการให้เครื่องที่มีสมรรถนะสูงเดินเป็นเครื่องหลัก	10,307.40		28,963.79	
โรงงานตัวอย่างที่ 2				
1. มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ระบบลมอัด	19,877.80		7215.65	
โรงงานตัวอย่างที่ 3				
1. มาตรการเพิ่มอุณหภูมิอากาศเผาไหม้ของเตาเผา			1,686,662.31	9.21
โรงงานตัวอย่างที่ 4				
1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา		283,119.22		3.6
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้		204,311.23		2.6
โรงงานตัวอย่างที่ 5				
1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา		1,095,434.41		8.02
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้		372,640.60		2.73
โรงงานตัวอย่างที่ 6				
1. มาตรการปรับตั้งความดันใช้งานของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับเครื่องจักร	225,600		38,591	
2. การเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพดีกว่าเป็นเครื่องหลัก	71,355		259,018.21	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

159

ตารางที่ 6.9 มาตรการและผลการอนุรักษ์พลังงาน (ต่อ)

มาตรการ	ผลการอนุรักษ์พลังงาน			
	ไฟฟ้า(kWh/yr)	ความร้อน(kJ/hr)	บาท/ปี	% การประหยัด
โรงงานตัวอย่างที่ 8				
1. ปรับปรุงระบบมอเตอร์โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ควบคุม	76,655.70		278,260	
โรงงานตัวอย่างที่ 9				
1. มาตรการการปรับปรุงการรั่วของลมอัดในระบบลมอัด	2,304.00		19,155.11	
โรงงานตัวอย่างที่ 10				
1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา		536,466.00		1.33
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้		326,524.80		0.81
โรงงานตัวอย่างที่ 12				
1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา		408,772.44		6.44
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้		159,872.76		2.52
โรงงานตัวอย่างที่ 13				
1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา		285,240.00		5.57
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้		159,872.76		3.12
โรงงานตัวอย่างที่ 14				
1. มาตรการนำอากาศร้อนทิ้งจากเตาเผามาอบวัตถุดิบก่อนเข้าเตาเผา		608,164.20		6.56
2. มาตรการนำความร้อนทิ้งจากช่วงช่วงเย็นตัวมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้		316,845.67		3.42

160

6. สรุป

พลังงานจัดว่าเป็นปัจจัยในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่สำคัญตัวหนึ่ง ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สามารถใช้ดัชนีชี้วัดได้ในหลายรูปแบบ แต่สำหรับการศึกษานี้ ได้เลือกใช้ค่า SEC (Specific Energy Consumption) เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานในการศึกษาสมรรถนะการใช้พลังงานในระดับกระบวนการผลิต เพื่อการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน และสามารถใช้เป็นตัวสะท้อนประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง

สำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานนั้น สามารถดำเนินการได้ในหลายแนวทาง อาทิเช่น การใช้เทคนิคในเชิงวิศวกรรมสำหรับการจัดการพลังงาน แต่อย่างไรก็ดี การดำเนินการในด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานดังกล่าว จะไม่สามารถประสบผลสำเร็จได้ หากทุกหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ยังไม่ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาทางด้านพลังงานที่เกิดขึ้น และไม่ริเริ่มการดำเนินโครงการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน รวมทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพการพลังงานของหน่วยงานนั้นๆให้ดียิ่งขึ้น

6.2 ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย

6.2.1 ข้อจำกัดด้านข้อมูล

จากการศึกษาที่ผ่าน ข้อจำกัดส่วนใหญ่ของการศึกษาครั้งนี้อยู่ที่ข้อมูลประกอบการศึกษา ทั้งนี้ในการศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมหนึ่งๆ เราจำเป็นต้องมีข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ อันประกอบไปด้วย ข้อมูลด้านกายภาพ และข้อมูลด้านพลังงานที่เพียงพอ และน่าเชื่อถือ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ข้อมูลเหล่านี้มีอยู่อย่างกระจัดกระจาย และไม่สามารถเชื่อมโยงกันได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบางอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมกระเบื้อง ซึ่งข้อมูลด้านกายภาพมีหน่วยเป็นตารางเมตร แต่ข้อมูลบางอุตสาหกรรมกลับมีหน่วยเป็นชิ้น หรือตันของผลผลิต ซึ่งไม่สามารถแยกแยะประเภท หรือจำนวนในผลผลิตดังกล่าวได้อย่างชัดแจ้ง

ความผิดพลาดของข้อมูลเหล่านี้จะนำไปสู่การวิเคราะห์ที่ผิดพลาด และคลาดเคลื่อนไปจากสภาพความเป็นจริงที่เป็นอยู่ ตลอดจนทำให้เกิดการแก้ไขปัญหาที่ไม่ใช่ปัญหาอย่างแท้จริง

ดังนั้นจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว โดยเราจำเป็นต้องออกแบบใบบันทึกพลังงานของกลุ่มโรงงานตัวอย่างเสียใหม่ ให้ครอบคลุมทั้งแง่ของด้านกายภาพ และพลังงาน และยังจะต้องมีการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าข้อมูลที่ได้มาน่าเชื่อถือ และมีความถูกต้องจริง แต่อย่างไรก็ตามการดำเนินการดังกล่าวอาจทำได้ยาก เพราะข้อมูลบางอย่างอาจเป็นความลับของบริษัท ส่วนข้อมูลด้านพลังงานนั้น เราไม่ถือเป็นข้อมูลที่เป็นความลับแต่อย่างใด เพราะโรงงานที่มีค่าต้นทุนพลังงานต่ำไม่ได้หมายถึงเป็นโรงงานที่มีเครื่องจักรที่ดีเพียงอย่างเดียว หากแต่ต้องมีการจัดการพลังงานที่ดีด้วย

ดังนั้นการลอกเลียนแบบเครื่องจักรเพื่อการประหยัดพลังงานจึงไม่อาจให้ผลที่ดีเท่ากันกับองค์กรที่มีการจัดการด้านพลังงานควบคู่กันไปได้ นอกจากนี้การเปิดเผยข้อมูลด้านพลังงานยังเป็นผลดีต่ออุตสาหกรรมโดยรวมอีกด้วย เนื่องจากประเด็นดังกล่าวจะเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดความพยายามในการลดต้นทุนด้านพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

6.2.1 ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกใช้หน่วยชี้วัดทางกายภาพที่เหมาะสม ทั้งนี้ในการศึกษาบางอุตสาหกรรมอาจมีหน่วยชี้วัดทางกายภาพให้เลือกใช้มากมาย แต่บางหน่วยกายภาพนั้นอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากมีความละเอียด หรือหยาบเกินไปก็เป็นได้ ดังนั้นการเลือกใช้หน่วยกายภาพที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ และไม่ควรละเลย

2. ในการศึกษาระดับมหภาค การเลือกหน่วยกายภาพให้เป็นไปในทำนองเดียวกันนั้นทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากความแตกต่างของกระบวนการ และผลลัพธ์ ดังนั้นจึงควรทำการศึกษาในภาพรวมก่อนที่จะทำการตัดสินใจเลือกตัวชี้วัด เพื่อให้ผลของการศึกษามีความถูกต้อง และแม่นยำมากที่สุด

3. การแยกแยะข้อมูลการใช้พลังงานและการผลิตนั้นสามารถทำได้โดยการบันทึกและจัดการแยกแยะระบบการจ่ายไฟฟ้า และส่วนสนับสนุนการผลิตต่างๆ หรืออาศัยการตรวจวัดและคำนวณทางวิศวกรรม เพื่อประเมินสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต ส่วนข้อมูลวัตถุดิบของการผลิตแต่ละกระบวนการนั้น โรงงานมีการบันทึกอย่างละเอียดอยู่แล้วเนื่องจากเป็นส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนสินค้า เพียงแต่ยังไม่ได้มีการรวบรวมประมวลผลมาเพื่อการคำนวณในลักษณะการใช้พลังงานเพื่ออ้างอิงเท่านั้นเอง แต่อย่างไรก็ตามแนวทางการเปรียบเทียบ SEC ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้ เพียงแต่การเปรียบเทียบนั้นต้องเปรียบเทียบบนบรรทัดฐานเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2545.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัย. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทผลิตภัณฑ์ยาง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2535.

จุลละพงษ์ จุลละโพธิ. การตรวจวิเคราะห์พลังงาน. คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2536.

จุติพรรษ์ อนิวรรตกูล. ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2539.

ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. เซรามิกส์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2535.

พุฒิพล ลิมปโสภณพนิช. ศักยภาพการใช้ความร้อนทิ้งจากเตาอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. สายวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2543.

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, สุวิช พึ่งเจริญ และ มีชัย เรามานะชัย. คู่มือการจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2527.

สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาเซรามิกและแก้ว). รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2545.

สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน. การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2541.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. การเพิ่มโอกาสและศักยภาพในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเซรามิกไทย. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.

ภาษาอังกฤษ

Agrafiotis, C. and Tsoutsos, T. 2001. Energy saving technologies in the European ceramic sector: systematic review. Applied Thermal Engineering.

Atif Z. Khan. Electrical Energy Conservation: An Overview. Proc. of the Second Saudi Symposium on Energy1994.

Maria da Graca Carvalho and Marcos Nogueiraf. IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY IN GLASS-MELTING FURNACES, CEMENT KILNS AND BAKING OVENS. European Communities1997. pp. 922-926.

S. Prasertsan, T. Theppaya, G. Prateepchaikul and P. Kirirat. 1997. Development of an Energy – Efficient Brick Kiln**.** International Journal of Energy Research, Vol. 21. pp. 1363 – 1383.

The Energy Conservation Center (ECC), Japan. 1994. HANDY MANUAL CERAMIC INDUSTRY. Output of a Seminar on Energy Conservation in Ceramic Industry.

United Nations Environment Programme. 2006. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia. Thermal Energy Equipment: Waste Heat Recovery.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
กระบวนการผลิตเซรามิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการผลิตเซรามิก

1. อุตสาหกรรมเครื่องสุขภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในอุตสาหกรรมเครื่องสุขภัณฑ์ แบ่งได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ คือ ส้วมแบบชักโครกและแบบนั่งยอง ที่ปัสสาวะชายและหญิง อ่างล้างหน้าและอ่างล้างจาน ที่ใส่สบู่และที่ใส่กระดาษ โดยกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ประกอบด้วยกระบวนการ

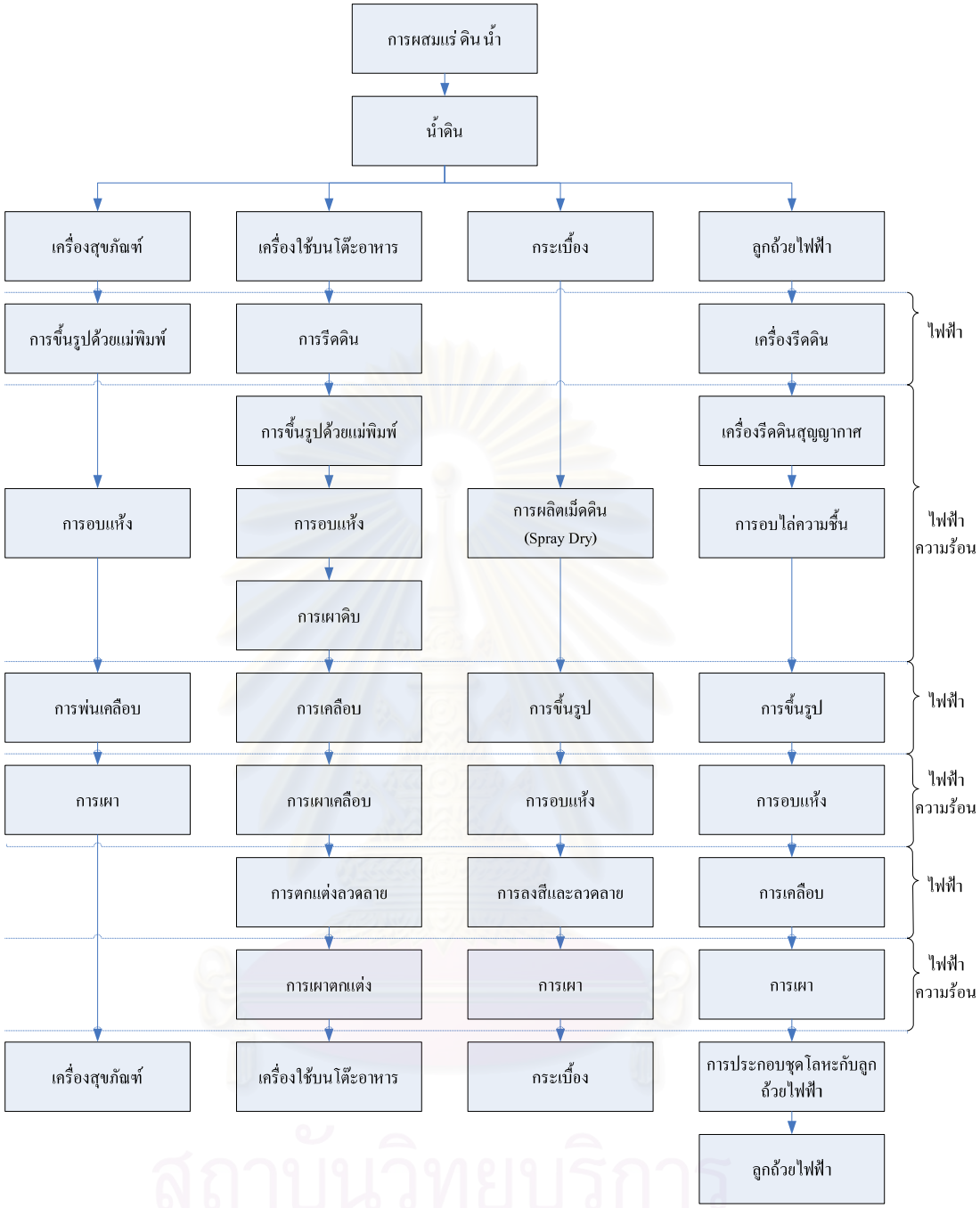
1. การเตรียมวัตถุดิบ นำวัตถุดิบที่เป็นดินขาว ดินดำ หินฟันม้า ทรายแก้ว เคมีภัณฑ์ และน้ำนำมาชั่งและผสมรวมกัน หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องบดละเอียดและผสมกับน้ำ บดละเอียดเป็นน้ำดินข้นๆที่มีส่วนผสมต่างๆเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งไปเก็บไว้ในบ่อพักน้ำดิน
2. การทำแม่แบบ นำปูนปลาสเตอร์ผสมกับน้ำแล้วทำแม่พิมพ์ หลังจากนั้นเข้าตู้อบเพื่ออบแม่พิมพ์ให้แข็งแรง
3. การขึ้นรูป โดยการเทน้ำดินลงในแม่แบบ
4. การอบผลิตภัณฑ์ นำผลผลิตเข้าเตาอบ(Dryer) เพื่อไล่ความชื้น หลังจากนั้นตรวจสอบความเสียหายและการส่งผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบแล้วไปยังกระบวนการเคลือบ
5. การเคลือบ หลังจากผ่านเตาอบ เครื่องสุขภัณฑ์จะถูกนำไปเคลือบและตกแต่งให้สวยงาม
6. การเผาเคลือบ เป็นการนำเครื่องสุขภัณฑ์ที่ผ่านการตกแต่งแล้ว มาลำเลียงไปเข้าเตาเผา (Tunnel kiln) ที่มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส จนได้เครื่องสุขภัณฑ์ที่มีความแข็งแกร่ง
7. ทำการคัดแยก ตรวจสอบและ บรรจุ เครื่องสุขภัณฑ์ที่ได้เพื่อรอส่งให้แก่คลังสินค้า ดังแสดงในรูปที่ ก.1

2. อุตสาหกรรมจานชามและเครื่องประดับเซรามิก

ผลิตภัณฑ์จานชามเซรามิกสามารถแบ่งตามคุณภาพเนื้อดิน ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

(1) กลุ่มเอิร์ทเธนแวร์ (Earthen Ware) เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะหนา เนื้อละเอียดแน่นและเคลือบทึบแสง มีความพรุนตัวสามารถดูดซับน้ำ ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นอาจใช้ดินขาวอย่างดี หรือผสมกับหินควอตซ์ หินฟันม้า และดินขาวเหนียวเพื่อง่ายต่อการปั้นขึ้นรูป เนื้อดินปั้นชนิดนี้มีส่วนผสมของดินขาวมากที่สุดถึงร้อยละ 55 และเผาดิบอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบที่ 1,200 องศาเซลเซียส

(2) กลุ่มสโตนแวร์ (Stone Ware) เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อแข็งแกร่งเคลือบทึบแสงในเนื้อดินมีเนื้อหินผสมมาก โดยใช้หินควอตซ์ หรือดินเชื้อ (Grog) ผสมทำเนื้อดินปั้น โดยมีส่วนผสมของดิน



รูปที่ ก.1 กระบวนการผลิตเซรามิก

ดำและหินฟันม้ามากที่สุดถึงร้อยละ 50 และเผาดิบที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เผาเคลือบที่ 1,200 องศาเซลเซียส

(3) กลุ่มปอร์ซเลน (Porcelain) เป็นผลิตภัณฑ์ชั้นดีมีทั้งแบบเคลือบทึบและแบบเคลือบใส มีลักษณะโปร่งแสง เนื้อบางเคลือบเป็นมัน เนื้อแข็งแรงไม่ดูดซึมน้ำ เกิดจากการผสมของแร่

เฟลด์สปาร์หรือแร่ควอร์ตผสมดินขาว ส่วนผสมของเนื้อดินปั้นต้องมีดินขาวคุณภาพดีมีปริมาณของธาตุเหล็กน้อยที่สุดเพื่อจะได้เนื้อดินปั้นสีขาวและใช้หินฟันม้าหรือหินควอตซ์ผสมด้วย เนื้อดินมีส่วนผสมของดินขาวและหินควอตซ์มากที่สุดถึงร้อยละ 35 ทำการเผาดิบที่ 900 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบที่ 1,250-1,300 องศาเซลเซียส

(4) กลุ่มโบนไชน่า (Bone China) เป็นผลิตภัณฑ์ชั้นดีที่สุด มีราคาแพงที่สุด มีความขาวและวาว เนื้อบางและเบา เคลือบโปร่งแสงมีความแข็งแกร่งดีมาก กระบวนการผลิตยุ่งยากซับซ้อนเพราะผลิตจากกระดูกสัตว์โดยนำกระดูกสัตว์มาล้างจนหมดไขมัน แล้วเผาให้ขาวหลังจากนั้นจึงนำมาผสมกับดินขาว ดินขาวเหนียว โดยใช้หินควอตซ์และหินฟันม้าผสมบ้างเล็กน้อย เนื้อดินปั้นชนิดนี้มีส่วนผสมของเถ้ากระดูกมากที่สุดถึงร้อยละ 40 เผาดิบที่ 1,200 องศาเซลเซียส และเผาเคลือบที่ 1,080 องศาเซลเซียส

กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ต่างกันเฉพาะอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการผลิตประกอบด้วย

1. การเตรียมเนื้อดินปั้น เป็นการเตรียมวัตถุดิบประเภทดินและหินต่างๆ เพื่อนำไปทำเนื้อดินปั้น โดยจะต้องควบคุมคุณภาพในส่วนต่างๆ เช่น ควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ ควบคุมการชั่งน้ำหนัก ควบคุมการบดในเครื่องบด ควบคุมคุณภาพของเนื้อดินปั้น เป็นต้น

2. การขึ้นรูป สามารถทำหลายได้วิธีแล้วแต่ชนิดของเนื้อดินปั้น เมื่อเตรียมเนื้อดินปั้นสำหรับการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆไว้แล้ว ก็จะนำมาขึ้นรูปซึ่งจะต้องควบคุมคุณภาพด้วย การขึ้นรูปมีอยู่ 4 วิธี ประกอบด้วย การปั้นด้วยมือ การปั้นด้วยแป้นหมุน การปั้นอัดลงแบบ และการปั้นหล่อด้วยแบบ เมื่อปั้นเป็นผลิตภัณฑ์แล้วต้องตรวจสอบว่า มีคุณภาพดีพอที่จะนำไปผลิตในขั้นต่อไปหรือไม่ ถ้าเห็นว่าคุณภาพไม่ดีก็จะนำกลับไปสู่กระบวนการเตรียมเนื้อดินใหม่

3. การอบและเผา การอบเป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วแห้งและมีความแข็งแรงพอสำหรับนำไปตกแต่ง ผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีขนาดและความหนาไม่เท่ากันจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของการอบตามชนิดของผลิตภัณฑ์เพื่อถ้าแห้งเร็วเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์แตกเสียหายได้ เมื่ออบเสร็จแล้วก็นำเข้าเตาเผาเพื่อเผาให้เนื้ออบแห้งและแกร่งขึ้นก่อนที่จะนำไปเคลือบ การเผาจะเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 - 1,300 ˚C แล้วแต่ชนิดของวัตถุดิบ

4. การเคลือบและเผาเคลือบ ก่อนเคลือบต้องทำการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งหรือเผาดิบแล้วเพื่อนำไปทำการเคลือบ การคัดเลือกนี้เป็นจุดหนึ่งที่ต้องการควบคุมเพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่ดีเท่านั้นไปใช้ขั้นต่อไป ผลิตภัณฑ์ที่เผาดิบแล้วอาจจะบิ่นหรือมีรอยขีด มีจุดหรือรอยต่อไม่สนิท ซึ่งในช่วงที่มีการปั้นอบยังมองไม่เห็นรอยดังกล่าว แต่หลังจากที่เผาดิบแล้วทำให้หดตัวจึงมีรอยตำหนิเกิดขึ้น

5. การคัดเลือกผลิตภัณฑ์ เป็นการควบคุมคุณภาพในขั้นสุดท้ายก่อนที่จะนำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาด ขั้นตอนนี้ก็นับว่าสำคัญมาก ดังแสดงในรูปที่ ก.1

3. อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก

ผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมนี้ประกอบด้วย กระเบื้องปูพื้น กระเบื้องบุผนัง และกระเบื้องโมเสค สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- กระเบื้องปูพื้น-บุผนัง ชนิดเคลือบ ซึ่งมีความมันวาวใช้ตกแต่งอาคารบ้านเรือน
- กระเบื้องปูพื้น-บุผนัง ชนิดไม่เคลือบ ซึ่งความเสียดทานดีกว่าจึงเหมาะสมสำหรับปูพื้น เพื่อความปลอดภัยไม่เกิดอุบัติเหตุ กรรมวิธีการผลิตกระเบื้องเซรามิกของทั้งสองชนิด มีลักษณะคล้ายกัน แตกต่างกันเฉพาะกรรมวิธีการเผาและจำนวนครั้งของการเผา [6]โดยมีรายละเอียดประกอบด้วย

1. การเตรียมเนื้อดินปั้น นำวัตถุดิบที่เป็นหินไปผ่านกระบวนการย่อยหยาบ ให้ได้ขนาดตามที่กำหนด และนำมาชั่งรวมกับวัตถุดิบอื่นๆ หลังจากนั้น นำเข้าเครื่องบดละเอียดและผสมกับน้ำ บดละเอียดเป็นน้ำดินข้นๆที่มีส่วนผสมต่างๆเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งไปเก็บไว้ในบ่อน้ำดิน (Slip tank)

2. การเผาไล่ความชื้นโดยเตาเผาแบบพ่น (Spray Dryer) เมื่อถึงเวลาใช้งานน้ำดินจะถูกดูดไปผ่านเครื่องกรอง และร่อนกากที่ไม่ต้องการออกด้วยเครื่องเครื่องร่อนกาก น้ำดินที่บริสุทธิ์จะถูกฉีดเป็นฝอยในเตาเผาแบบพ่น (Spray Dryer) ซึ่งใช้มีอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส จะได้เม็ดดินที่มีรูปทรงกลมที่มีความละเอียดและความชื้นที่เหมาะสม จากนั้นเก็บผงดินในถังเก็บผงดินสำรองเพื่อรอการขึ้นรูปต่อไป

3. การขึ้นรูป นำผงดินไปเข้าเครื่องขึ้นรูปกระเบื้อง โดยใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัด (Hydraulic press) จะได้แผ่นกระเบื้องดิบที่ยังมีความชื้นเหลืออยู่ส่งต่อไปยังกระบวนการอบ

4. การอบ จะนำแผ่นกระเบื้องดิบเข้าเตาอบ(Dryer) เพื่อไล่ความชื้น

5. การเคลือบ หลังจากผ่านเตาอบกระเบื้องจะถูกนำไปเคลือบและแต่งลวดลายให้สวยงาม จากนั้นจึงส่งไปเผาอีกครั้ง

6. การเผาเคลือบ กระเบื้องที่ผ่านการตกแต่งลวดลายแล้ว จะถูกลำเลียงไปเข้าเตาเผา (Roller kiln) ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส จนได้กระเบื้องที่มีความแข็งแกร่ง

7. คัดแยก ตรวจสอบและ บรรจุกะเบื้องเพื่อรอส่งไปยังคลังสินค้า ดังแสดงในรูปที่ ก.1

4. อุตสาหกรรมลูกถ้วยไฟฟ้า

อุตสาหกรรมลูกถ้วยไฟฟ้ามักนิยมการขึ้นรูปแบบเปียกด้วยเครื่องมือขึ้นรูปแบบต่างๆ เทคโนโลยีที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากต่างประเทศ โดยที่โรงงานขนาดใหญ่จะมีส่วนพัฒนาและมีการผลิตที่ก้าวหน้า ส่วนโรงงานขนาดกลางและเล็กยังใช้เทคโนโลยีการผลิตแบบเก่าที่มีต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างต่ำและมีของเสียระหว่างกระบวนการมาก

1. การเตรียมเนื้อดินปั้น เป็นการเตรียมวัตถุดิบประเภทดินและหินต่างๆ เพื่อนำไปทำเนื้อดินปั้น โดยจะต้องควบคุมคุณภาพในส่วนต่างๆ เช่น ควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ ควบคุมการชั่งน้ำหนัก ควบคุมการบดในเครื่องบด และควบคุมคุณภาพของเนื้อดินปั้น เป็นต้น

2. การขึ้นรูป จะใช้การขึ้นรูปโดยอาศัยความเหนียว และขึ้นรูปร่างโดยอาศัยแป้นหมุน การทำงานต้องอาศัยความชำนาญเป็นอย่างมาก

3. การอบ นำลูกถ้วยดิบเข้าเตาอบ(Dryer) เพื่อไล่ความชื้น จากนั้นส่งต่อไปทำการเคลือบ

4. การเคลือบ หลังจากผ่านเตาอบ ลูกถ้วยจะถูกนำไปเคลือบและตกแต่ง แล้วส่งไปเผาเคลือบอีกครั้ง

5. การเผาเคลือบ ลูกถ้วยที่ผ่านการการเคลือบแล้ว จะถูกลำเลียงไปเข้าเตาเผา(Shuttle kiln) ที่มีอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสจนได้ลูกถ้วยไฟฟ้าที่มีความแข็งแกร่ง

6. คัดแยก ตรวจสอบและ บรรจุลูกถ้วยไฟฟ้าที่ได้เพื่อรอส่งเข้าคลังสินค้า

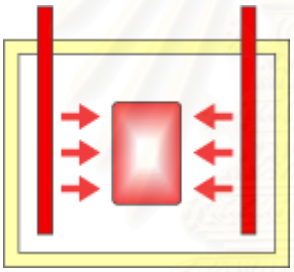
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ระบบช่วยเผาด้วยไมโครเวฟในการเผาเซรามิก

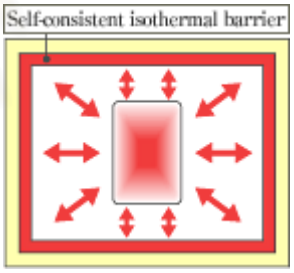
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบช่วยเผาด้วยไมโครเวฟในการเผาเซรามิก
(MICROWAVE-ASSISTED FIRING)

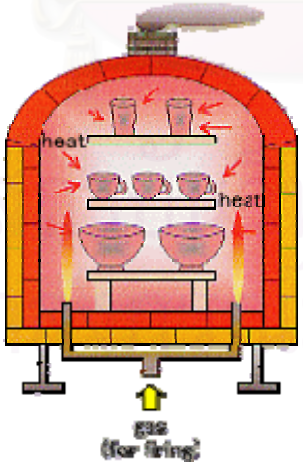
กระบวนการผลิตเซรามิกโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟเป็นการรวมกันของพลังงานไมโครเวฟ (Microwave energy) และการแผ่ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้าหรือแก๊ส โดยพลังงานไมโครเวฟใช้ให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ ส่วนการแผ่ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้าหรือแก๊สเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่ผิวผลิตภัณฑ์ทำให้ความร้อนเกิดทั่วถึงในตัวผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ ข. 2 (เตาเผาแบบดั้งเดิมจะแผ่ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้าหรือแก๊สจากข้างนอกเข้าสู่ข้างใน ดังรูปที่ ข. 1) ปริมาณของพลังงานไมโครเวฟที่ใช้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ประเภทของผลิตภัณฑ์ รอบเวลาการเผา และอุณหภูมิในการเผา โดยปกติปริมาณของพลังงานไมโครเวฟจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 ข้อดีของการใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยในการเผาคือ ประหยัดเวลาและลดอุณหภูมิในกระบวนการผลิต อีกทั้งยังเป็นการให้ความร้อนที่สม่ำเสมอแก่ชิ้นงาน



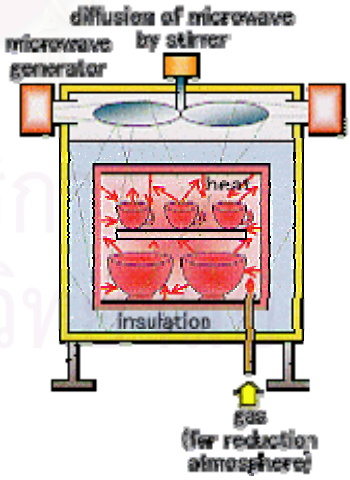
รูปที่ ข. 1 การถ่ายเทความร้อนของระบบการเผาในปัจจุบัน



รูปที่ ข. 2 การถ่ายเทความร้อนของการเผาด้วย microwave assist



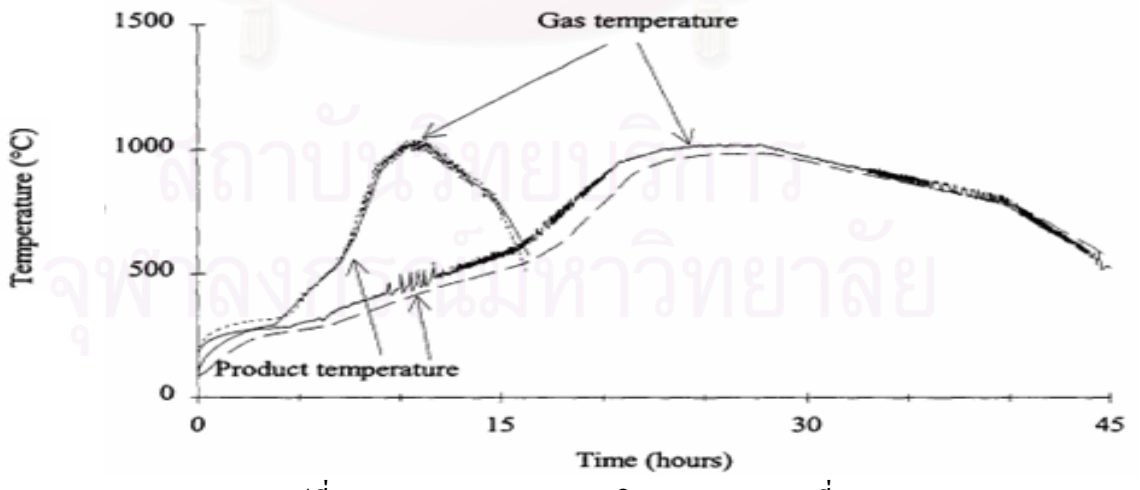
รูปที่ ข. 3 ระบบการเผาในปัจจุบัน



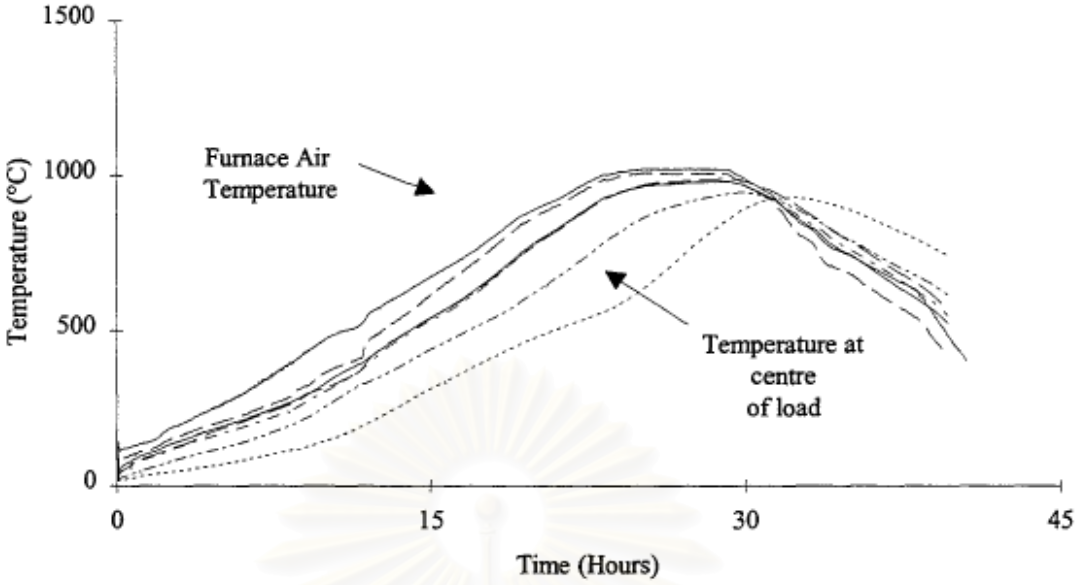
รูปที่ ข. 4 ระบบการเผาด้วย microwave assist

ในการทดลองการใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยในการเผาเซรามิกได้มีการนำไปทดลองใช้ในอุตสาหกรรมจริง โดยทำการทดลองกับเตาเผา 3 ประเภท คือ

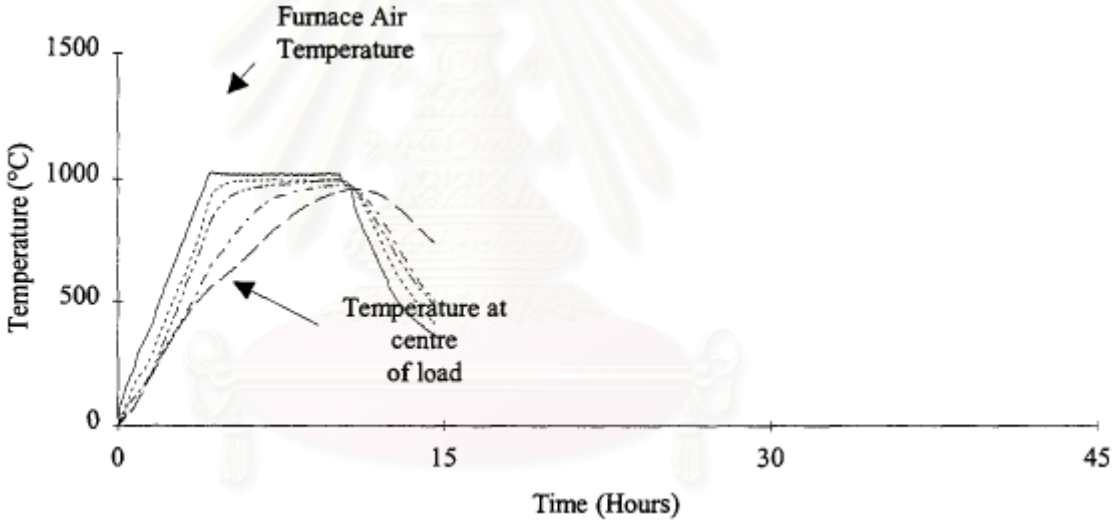
1. เตาที่ 1 ใช้พลังงานไมโครเวฟผสมกับความร้อนจากแก๊ส ผลการทดลองสามารถเผาผลิตภัณฑ์ 10 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 1,650 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ไม่แตกต่างจากการใช้ความร้อนจากแก๊สเพียงอย่างเดียวอีกทั้งยังให้ผลเหมือนกันกับการทดสอบด้วยเตาที่ใช้ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า ผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ ข. 5
2. เตาที่ 2 เตาชัตเติล (Shuttle Kiln) ผลการทดลองสามารถเผาผลิตภัณฑ์ 1 ตัน ที่อุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส ซึ่งผลที่ได้ไม่มีความแตกต่างจากเตาที่ 1 ผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 2 เมื่อไม่ใช้พลังงานไมโครเวฟดังแสดงในรูปที่ ข. 6 และผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 2 เมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟดังแสดงในรูปที่ ข. 7
3. เตาอุโมงค์ (Tunnel kiln) มีความยาว 15 เมตร ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1,600 องศาเซลเซียส ซึ่งเตาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาผลิตภัณฑ์จาก 125 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็น 375 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อเปลี่ยนปัจจัยคือ ใช้ความร้อนจากแก๊สและพลังงานไมโครเวฟช่วยเผาไหม้ ใช้ชุดควบคุมกำลังพลังงานไมโครเวฟและเพิ่มอัตราการป้อนรถเข้าเตา โดยไม่จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนเวลาและอุณหภูมิภายในเตา และผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 3 เมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟแสดงในรูปที่ ข. 8



รูปที่ ข. 5 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 1

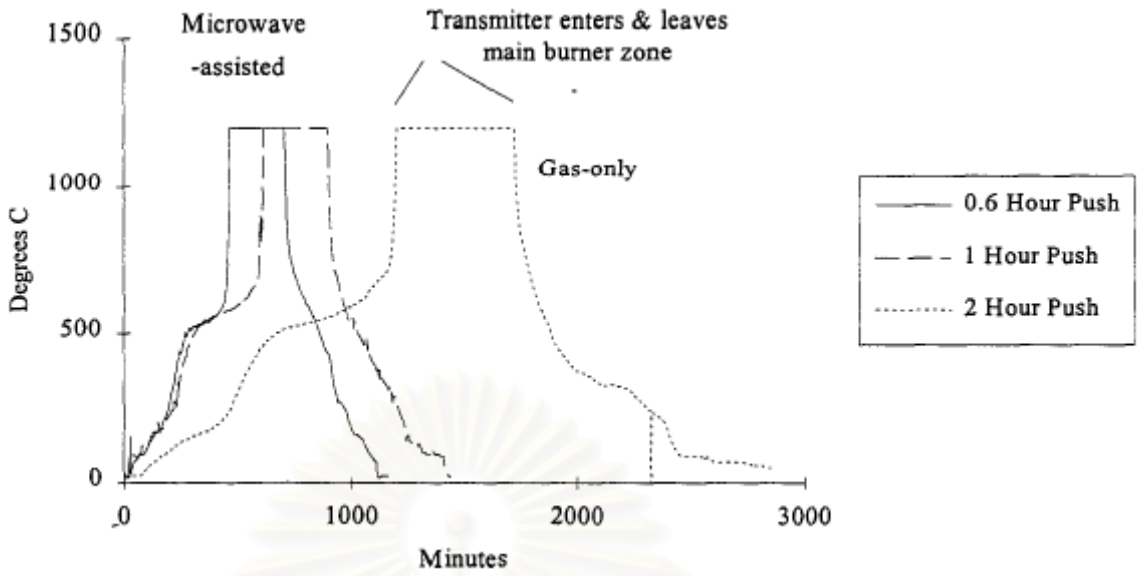


รูปที่ ข. 6 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 2 เมื่อไม่ใช้พลังงานไมโครเวฟ



รูปที่ ข. 7 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 2 เมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข. 8 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาของเตาที่ 3 เมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟ

ได้มีการเปรียบเทียบการเผาด้วยเตาอุโมงค์ที่อัตราการป้อนรถเข้า 2 ชั่วโมงต่อคัน ซึ่งจะได้ได้ผลิตภัณฑ์ 125 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และการป้อนรถเข้าด้วยอัตรา 0.6 ชั่วโมงต่อคัน จะได้ผลิตภัณฑ์ 375 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ ข. 8

ตารางที่ ข. 1 การเปรียบเทียบระหว่างการเผาโดยพลังงานแก๊สกับใช้พลังงานไมโครเวฟ

เตาที่	เวลาในการผลิตของ เตาแบบดั้งเดิม (ชม.)	เวลาในการผลิตของ ระบบช่วยเผาด้วยไมโครเวฟ (ชม.)	การประหยัดพลังงาน (%)
1	46	16	61
2	46	16	63
3	46	16	57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ข. 9 ตัวอย่างเตาที่ใช้พลังงานไมโครเวฟช่วยในการเผา

การเผาเซรามิกโดยอาศัยระบบช่วยเผาด้วยพลังงานไมโครเวฟนี้ นอกจากจะมีอัตราการให้ความร้อนที่รวดเร็วแล้วยังมีข้อดี คือ ความร้อนกระจายสม่ำเสมอในเนื้อวัตถุดิบ ใช้เวลาในการเผาน้อยกว่าวิธีการเผาแบบดั้งเดิม รักษาคุณสมบัติเดิมของผลิตภัณฑ์ มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูง อีกทั้งเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงานมากกว่าวิธีการเผาเซรามิกแบบดั้งเดิม

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

1) Ruth Wroe, MICROWAVE-ASSISTED FIRING OF CERAMICS, EA Technology Ltd, Capenhurst, Chester, CH1 6ES, UK. 1999.
2) Ruth Wroe, Firing on all cylinders, clay TECHNOLOGY, October/November 2006, 2006.
3) EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL JRC JOINT RESEARCH CENTRE Institute for Prospective Technological Studies. 2006. Document on Best Available Techniques in the Ceramic Manufacturing Industry.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฐาปนพงษ์ ลาธุลี เกิดเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2525 ที่ จังหวัดยโสธร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนไตรมิตรวิทยาลัย และเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2547 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย