

### 3.2 ค่า Energy Benchmarking ของอุตสาหกรรมของแก้วและกระจก

ตารางที่ 7 ค่า SEC Benchmarking ของอุตสาหกรรมของแก้วและกระจก

กระบวนการ	กระจกแผ่น		ขวดแก้ว		เครื่องแก้ว		ฉนวนใยแก้ว	
	SEC ไฟฟ้า kWh/ton	SEC เชื้อเพลิง GJ/ton	SEC ไฟฟ้า kWh/ton	SEC เชื้อเพลิง GJ/ton	SEC ไฟฟ้า kWh/ton	SEC เชื้อเพลิง GJ/ton	SEC ไฟฟ้า kWh/ton	SEC เชื้อเพลิง GJ/ton
การเตรียมวัตถุดิบ	15.00	-	3.14	-	7.10	-	12.00	-
การหลอม	15.00	6.75	12.31	4.26	20.00	6.59	28.12	7.17
การขึ้นรูป	142.19	-	176.31	-	270.00	-	206.98	3.88
Post – forming	4.57	0.32	2.40	0.11	117.00	1.58	250.56	0.11
รวม	176.76	7.07	194.16	4.37	414.10	8.17	497.66	11.16
SEC ปฐมภูมิ* GJ/ton	8.48		5.92		11.48		15.14	
% Cullet**	20		70		0		50	
Pull ton/day**	600		300		100		100	

\* การแปลงค่า SEC ไฟฟ้าให้เป็นค่า SEC ความร้อน สำหรับประเทศไทยใช้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าที่ร้อยละ 45

\*\* ค่าร้อยละของเศษแก้ว (% Cullet) และปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวัน ที่นำมาจัดทำเป็นค่าเทียบเคียง

อ้างอิง : Industrial Glass Bandwidth Analysis, Gas Technology Institute USA.

สำหรับอุตสาหกรรมแก้วและกระจก จะพบว่าเตาหลอมเป็นตัวแปรสำคัญในการบริโภคพลังงาน ซึ่งพลังงานที่ใช้คิดเป็นร้อยละ 75 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตทั้งหมด ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการบริโภคพลังงานของเตาหลอมคือ

1. ปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวันของเตาหลอม (Pull ton/Day) โดยเตาที่มีขนาดใหญ่เตาที่มีปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวันมาก จะใช้พลังงานต่อหน่วยต่ำกว่าปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวันน้อยหรือเตาขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4
2. ปริมาณเศษแก้วที่ใช้ในการผสมในวัตถุดิบ (% Cullet) โดยโรงงานที่ใช้ % Cullet สูงจะใช้พลังงานในการหลอมต่ำกว่าโรงงานที่ใช้ % Cullet ต่ำ ดังรูปที่ 4

ดังนั้นเพื่อให้โรงงานมีค่า SEC Benchmarking ตามปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวัน (Pull ton / Day) และ % Cullet ของโรงงานเอง จึงมีการปรับแก้ค่า SEC Benchmarking ดังสมการที่ [1] และแสดงการทดสอบสมการได้ดังกราฟในรูปที่ 5

สมการสำหรับการปรับแก้ค่าปรับแก้ SEC Benchmarking ของเตาหลอมแก้ว

เนื่องจากเตาหลอมของโรงงานที่ต้องการประเมินค่า SEC ในกระบวนการหลอม อาจมีปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวัน (Pull ton / Day) และ % Cullet แตกต่างจาก SEC Benchmarking ดังนั้นจึงต้องมีสมการปรับแก้ค่า SEC Benchmarking เพื่อให้โรงงานมีค่า SEC Benchmarking ตามปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวัน (Pull ton / Day) และ % Cullet ของโรงงานเอง ดังสมการที่ [1]

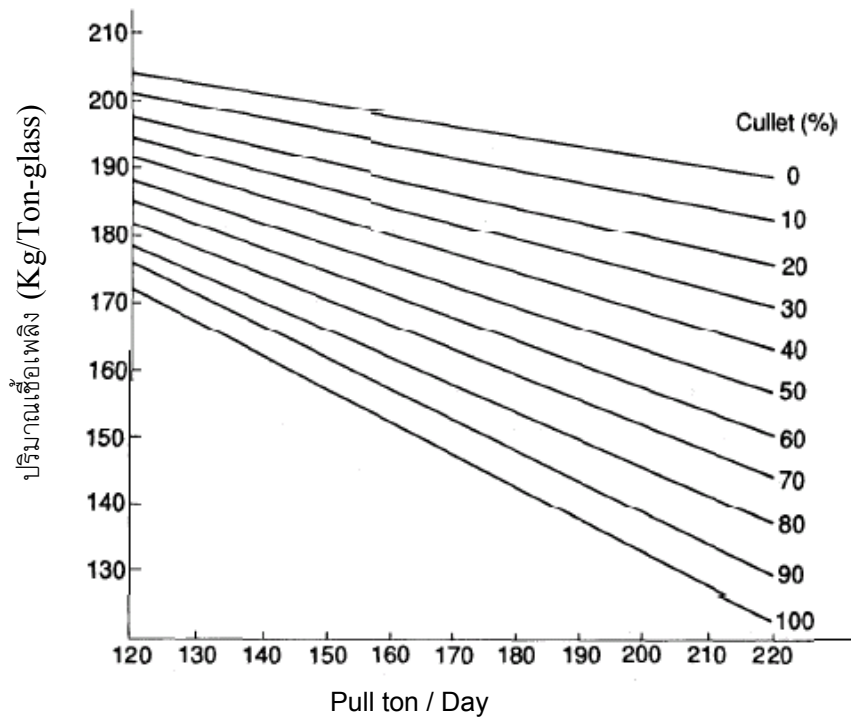
$$y = 4168.53 - 8.52x_2 + 241862x_1^{-1} - 494.02x_2x_1^{-1} \quad (1)$$

เมื่อ  $y$  คือ ดัชนีการใช้พลังงาน (เมกะจูลต่อตัน)

$x_1$  คือ ปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวัน (ตันต่อวัน)

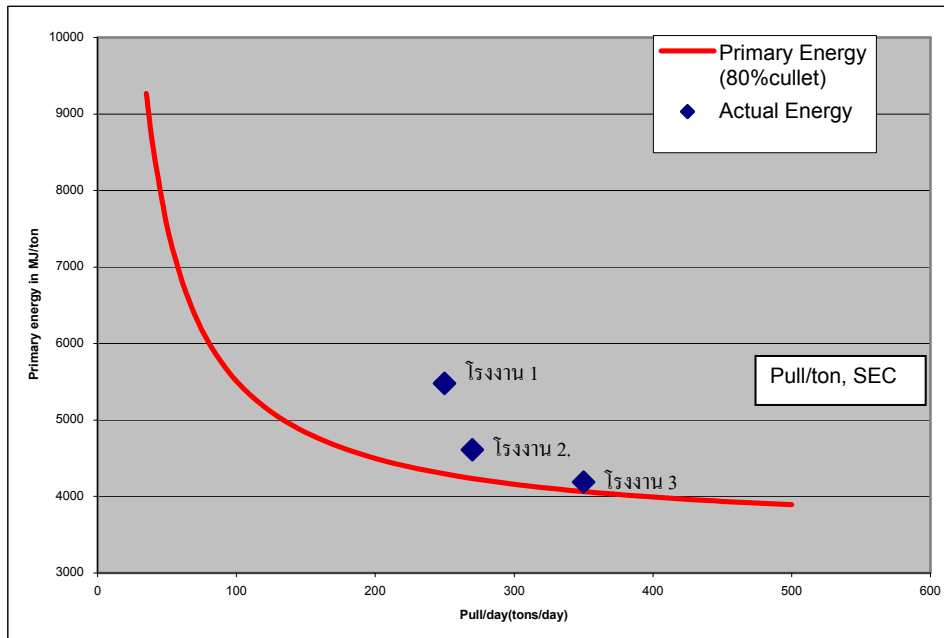
$x_2$  คือ ร้อยละของเศษแก้วที่ใช้ในการผลิต (เปอร์เซ็นต์ Cullet)

หมายเหตุ ค่าปรับแก้สำหรับการหลอมกระจกแผ่นให้คุณค่าที่ได้จากสมการด้วย 1.54



อ้างอิง : Output of a Seminar on Energy Conservation in Glass Industry, Unido and MITI (Japan)

รูปที่ 4 แสดงตัวแปรสำคัญในการบริโภคพลังงานของเตาหลอมคือ ปริมาณการดึงน้ำแก้วต่อวันของเตาหลอม (Pull ton/Day) และ ปริมาณเศษแก้วที่ใช้ในการผสมในวัตต์ดูดิบ (% Cullet) (ค่าความร้อนน้ำมันเชื้อเพลิง = 41.28 MJ/kg)



รูปที่ 5 แสดงการทดสอบสมการปรับแก้ดัชนีการใช้พลังงานของเตาหลอมแก้ว

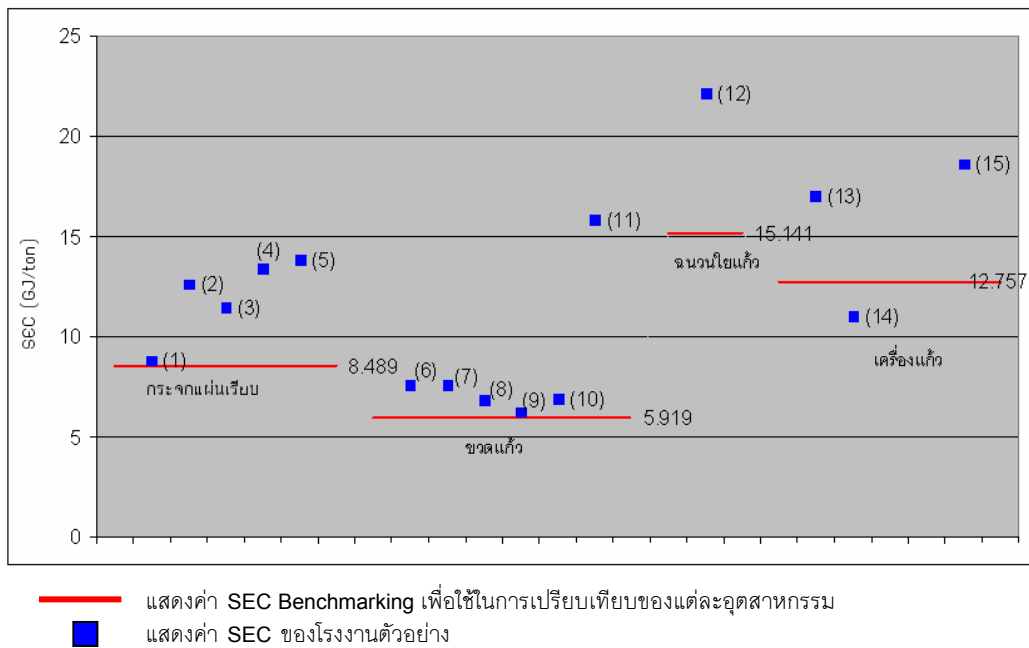
ตัวอย่างการปรับแก้ค่า SEC

โรงงานขวดแก้ว ก. มีกำลังการผลิต 350 ตันต่อวัน มีเศษแก้วที่ใช้ในการผลิตเท่ากับร้อยละ 60 แทนค่า  $X_1$  และ  $X_2$  ในสมการจะได้ SEC Benchmarking ในกระบวนการหลอม 4,263.68 เมกะจูลต่อตัน

โรงงานผลิตแผ่นกระจก ข. มีกำลังการผลิต 400 ตันต่อวัน มีเศษแก้วที่ใช้ในการผลิตเท่ากับร้อยละ 15 แทนค่า  $X_1$  และ  $X_2$  ในสมการ [1] จะได้ SEC ในกระบวนการหลอม 4,626.86 เมกะจูลต่อตัน จากนั้นคูณค่าที่ได้จากสมการด้วย 1.54 จะได้ SEC Benchmarking ในกระบวนการหลอม 7,125.36 เมกะจูลต่อตัน

จากรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ SEC Benchmarking กับ SEC โรงงานตัวอย่างของแต่ละผลิตภัณฑ์จะเห็นว่าค่า SEC ของผลิตภัณฑ์กระจกแผ่นเรียบมีค่า SEC แตกต่างกันมาก เนื่องมาจากโรงงานมีเทคโนโลยีการผลิตเฉพาะของโรงงานเองที่ทำให้การใช้พลังงานต่ำ เมื่อพิจารณาที่ผลิตภัณฑ์ขวดแก้ว พบว่าค่า SEC ของแต่ละโรงงานมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากโรงงานประเภทนี้มีเทคโนโลยีการผลิตคล้ายกัน ขนาดเตาใกล้เคียงกันและยังใช้เปอร์เซ็นต์เศษแก้วใกล้เคียงกันด้วย เมื่อพิจารณาที่ผลิตภัณฑ์ฉนวนใยแก้วพบว่าค่า SEC ของโรงงานตัวอย่างมีค่าสูงกว่าค่า SEC Benchmarking เนื่องจากเตาหลอมของโรงงานตัวอย่างมีขนาดเล็กจึงใช้พลังงานต่อหน่วยสูงกว่าเตาหลอมขนาดใหญ่ และมีอายุการใช้งานมานาน จึงทำให้การใช้พลังงานสูง และเมื่อพิจารณาที่ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้วพบว่า ค่า SEC ของโรงงานตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันมาก เนื่องมาจากแต่ละโรงงานมีเทคโนโลยีการผลิตที่ต่างกันและผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่างที่ทำการตรวจวัด เป็นผลิตภัณฑ์แก้วน้ำที่มีความบางและมีน้ำหนักเบา คุณภาพเนื้อแก้วสูง เป็นผลให้พลังงานที่ใช้ต่อน้ำหนักผลผลิต (SEC) มีค่าสูง

ดังนั้นโรงงานแก้วและกระจกจะให้ SEC สูงกว่า SEC Benchmarking ขึ้นกับระดับการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการ ถ้านำมาตรวจการอนุรักษ์พลังงานตามที่เสนอไว้ในเอกสารเผยแพร่ไปประยุกต์ใช้เพิ่มเติมในส่วนที่ยังไม่ได้ดำเนินการอาจจะทำให้ค่า SEC ต่ำลงได้



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบ SEC Benchmark กับ SEC โรงงานตัวอย่าง

3.3 ค่า Energy Benchmarking ของอุตสาหกรรมเซรามิก

ตารางที่ 8 แสดงรหัสและ SEC Benchmarking แบ่งตามผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมเซรามิก

รหัส	SEC Benchmark		
	SEC, EE kWh/ton	SEC, TH GJ/ton	SEC ปฐมภูมิ GJ / ton
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Fine and Bone China*	1,336.59	28.11	38.80
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Hotelware*	755.63	25.10	31.15
เครื่องใช้บนโต๊ะอาหารชนิด Earthenware*	443.17	18.80	22.35
เครื่องสุขภัณฑ์	516.00	9.10	13.23
กระเบื้องบุผนัง	138.80	4.63	5.74
กระเบื้องปูพื้น	118.30	3.13	4.08
ลูกถ้วยไฟฟ้า	705.00	17.50	23.14
ผลิตภัณฑ์เซรามิกประเภทอื่นๆ	NA	NA	NA

อ้างอิง : Environmental, Health, and Safety Guidelines for Ceramic Tile and Sanitary Ware Manufacturing, WORLD BANK GROUP, APRIL 30, 2007

ตารางที่ 9 ค่า SEC Benchmarking แบ่งตามกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเซรามิก

กระบวนการผลิต	เครื่องสุขภัณฑ์*		กระเบื้อง (ปูพื้น)		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		616.50	
• การทำวัตถุดิบเปียกให้แห้ง (Spray drying)			10.00	0.98		
• ขึ้นรูปชิ้นงาน	70				52.60	
• ขึ้นรูปชิ้นงานและการอบ			42.00			
• การเคลือบ	25		4.00		13.33	
• การอบ			9.30	0.25		
• เเผา ใช้ Conventional tunnel kiln หรือใช้ Shuttle Kiln	70	9.10*	20.50	1.90		17.50
• ทำแม่พิมพ์	16					
• Utilities	170		3.50		22.57	
รวม	516	9.10	118.30	3.13	705.00	17.50

\*ด้วยไม่มีการกำหนดพลังงานความร้อนที่กระบวนการอบชิ้นงานและแม่พิมพ์ในค่า SEC Benchmarking ดังนั้นโรงงานที่ไม่ได้ใช้ความร้อนทิ้งเพื่อกิจกรรมดังกล่าวให้เพิ่ม SEC (ความร้อน) กระบวนการนี้ที่ SEC, TH การเผาเครื่องสุขภัณฑ์ถ้าใช้ Modern Tunnel Kiln SEC, TH = 4.2 GJ/ton และถ้าใช้ Modern Shuttle Kiln จะได้ค่า SEC, TH = 8.5 GJ/ton

อ้างอิง : EU BREF (2005)

ตารางที่ 10 ค่า SEC Benchmarking กระบวนการผลิต Table Ware

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	0.10	128.39		40.92	
ขึ้นรูปชิ้นงาน	179.53		126.23		93.27	
การเคลือบ	17.06		5.63			
การอบ	30.31				1.34	
เผา โดยใช้ Roller Hearth Kiln	102.00	27.17	186.90	25.10	91.58	
พิมพ์สี	385.16		61.57		16.04	
ทำแม่พิมพ์	36.12	0.84	34.98		5.02	
Utilities	210.00		114.08		195.00	
รวม	1336.59	28.11	755.63	25.10	443.17	18.80

อ้างอิง : CERAM research Special publication 141; 1997 Energy consumption in the ceramics Industry : White wares, Refractories and Industrial Ceramics Sectors

ตารางที่ 11 ค่าปรับแก้ SEC Benchmarking กระบวนการผลิต Table Ware เมื่อใช้

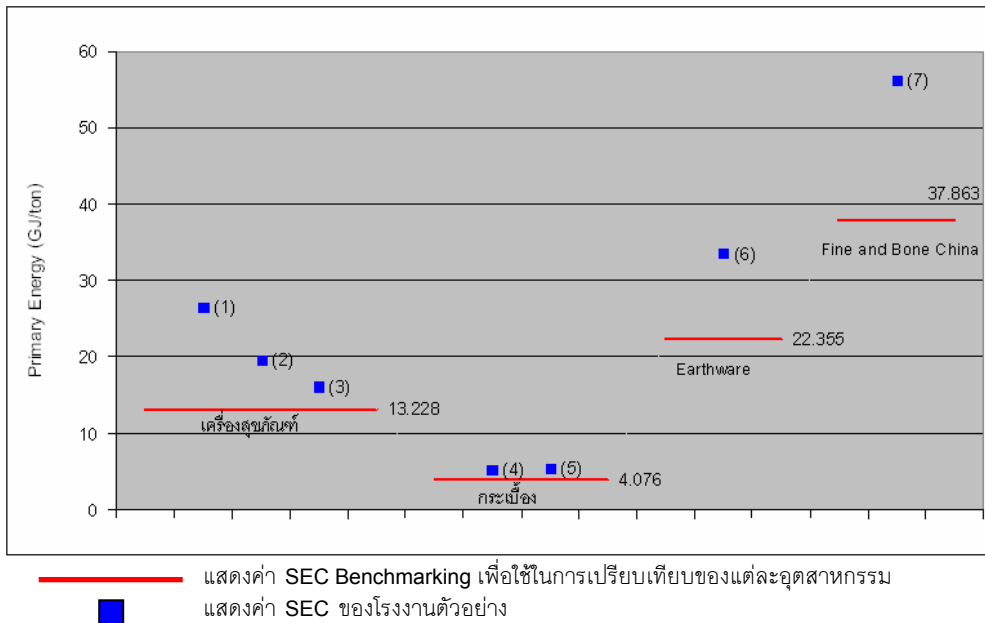
Tunnel Kiln แทน Roller Hearth Kiln

ประเภท	SEC, EE kWh/ton	SEC,TH GJ/ton
Fine and Bone China		20.90 <sup>1</sup>
Hotel Ware		16.72 <sup>1</sup>
Earth Ware		12.54 <sup>1</sup>

หมายเหตุ: 1 เพิ่มค่า SEC Benchmarking เมื่อใช้ Tunnel Kiln แทน Roller Hearth Kiln

จากรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่า SEC โรงงานตัวอย่างของแต่ละผลิตภัณฑ์ กับค่า SEC Benchmarking จะเห็นว่าค่า SEC ของเครื่องสุختภัณฑ์และเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ในแต่ละโรงงานมีค่า SEC แตกต่างกันมาก เนื่องมาจากระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ทำให้กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกัน ส่วนเครื่องใช้บนโต๊ะอาหารนั้น มีค่า SEC สูงเนื่องจากกระบวนการผลิตมีการเผาชิ้นงานหลายครั้ง ส่วนกลุ่มกระเบื้องปูพื้นและบุผนังนั้น มีค่า SEC ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมีกระบวนการผลิตคล้ายคลึงกัน

จากตารางที่ 11 แสดงค่า SEC Benchmarking สำหรับปรับแก้ SEC ในกระบวนการผลิต Table Ware เมื่อใช้ Tunnel Kiln แทน Roller Hearth Kiln ในกรณีที่โรงงานที่ใช้ Tunnel Kiln ในการเผาให้นำค่า SEC, TH ในตารางที่ 11 ไปบวกกับค่า SEC ในกระบวนการเผา โดยใช้ Roller Hearth Kiln ในตารางที่ 10 จะเป็น SEC Benchmarking ของกระบวนการเผา เมื่อใช้ Tunnel Kiln



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่า SEC Benchmark กับค่า SEC โรงงานตัวอย่าง

#### 4. ค่าความเข้มพลังงาน(Energy Intensity) และความยืดหยุ่นพลังงาน(Energy Elasticity) ของอุตสาหกรรมอลูมิเนียม

ความเข้มพลังงาน(Energy Intensity) EI คือปริมาณพลังงานที่ใช้/ปริมาณผลผลิต หรือเท่ากับปริมาณพลังงานที่ใช้/มูลค่าผลผลิต ความแตกต่างของ EI กับ SEC อยู่ที่การประยุกต์ใช้งาน กล่าวคือถ้างานระดับกระบวนการผลิตจะใช้ SEC หรือปริมาณพลังงานที่ใช้/ปริมาณผลผลิต แต่ถ้าประยุกต์ใช้ระดับอุตสาหกรรมหรือกลุ่มอุตสาหกรรมซึ่งมีเรื่องของโครงสร้างการผลิตเข้ามาเกี่ยวข้องจะใช้ EI แทน เช่นโรงงาน ก ประเภทผลิตขวดแก้ว 2 ชนิดคือขวดใส กับขวดสีชา ข้อมูลการตรวจวัดของการผลิตขวดใสให้ SEC(ขวดใส)=6.2 GJ/ton และการผลิตขวดสีชาให้ SEC(ขวดสีชา)=5.8 GJ/ton สำหรับปีที่แล้วโครงสร้างการผลิตคือผลิตขวดใส 60% และขวดสีชา 40% ดังนั้น EI ของโรงงานในปีที่แล้วเท่ากับ  $(0.6 \times 6.2) + (0.4 \times 5.8) = 6.04$  GJ/ton สำหรับปีปัจจุบันโรงงานผลิตขวดใส 40% ขวดสีชา 60% ดังนั้น EI ของปีปัจจุบัน  $= (0.4 \times 6.2) + (0.6 \times 5.8) = 5.96$  GJ/ton การที่ EI ของปีปัจจุบันลดลงจากปีก่อนอาจไม่ใช่ลดลงเพราะโรงงานดำเนินการอนุรักษ์พลังงานแต่เป็นเพราะโรงงานเปลี่ยนโครงสร้างการผลิต ดังนั้นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง EI ต้องใช้ข้อมูลทั้ง SEC และโครงสร้างการผลิต

ความยืดหยุ่นพลังงาน(Energy Elasticity) EE คือสัดส่วนของอัตราการเพิ่มขึ้นของการบริโภคพลังงาน ต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของผลผลิต

$$EE = (\Delta E/E) / (\Delta P/P)$$

เมื่อ  $\Delta E$  และ  $\Delta P$  คือผลต่างของปริมาณพลังงานที่บริโภค และผลต่างของผลผลิตของอุตสาหกรรม E และ P คือปริมาณพลังงานที่อุตสาหกรรมบริโภคและผลผลิตตามลำดับ

การวิเคราะห์ความยืดหยุ่นพลังงาน มักใช้อธิบายการเพิ่มขึ้นของการบริโภคพลังงานขั้นต้น (Primary Energy Consumption) ตามการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และมักใช้ในการวิเคราะห์หรือพยากรณ์ความต้องการใช้พลังงาน ในการวิเคราะห์ที่อาจอนุมานได้ว่าค่าความยืดหยุ่นพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงระดับการผลิต โครงสร้างการผลิต และความเข้มพลังงาน

#### 4.1 การวิเคราะห์การบริโภคพลังงาน

ตารางที่ 12 สรุปข้อมูลปริมาณการผลิต สัดส่วนการผลิตและมูลค่า และความเข้มพลังงานอุตสาหกรรมโลหะในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546-2548 โดยการแบ่งอุตสาหกรรมโลหะแบ่งเป็น 3 กลุ่มตามโครงสร้างการผลิตตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่

- (1) อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ผลิตปูนเม็ดและปูนซีเมนต์
- (2) อุตสาหกรรมแก้วและกระจก ผลิตกระจกแผ่น ขวดแก้ว เครื่องแก้ว และฉนวนใยแก้ว
- (3) อุตสาหกรรมเซรามิก ผลิตเครื่องสุขภัณฑ์ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร กระเบื้องปูพื้นและปูผนัง และลูกถ้วยไฟฟ้า

โดยภาพรวมของอุตสาหกรรมโลหะ ผลการวิเคราะห์ความเข้มพลังงาน และความยืดหยุ่นพลังงานได้แสดงที่ส่วนท้ายของตารางที่ 12

สรุปภาพรวมผลการวิเคราะห์การบริโภคพลังงานของอุตสาหกรรมโลหะของปี พ.ศ.2546-2548 มีดังนี้ อุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนการผลิตสูงที่สุดคืออุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และเนื่องจากการวิเคราะห์การบริโภคพลังงานได้อ้างอิงกับสัดส่วนของปริมาณการผลิตของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม เทียบกับปริมาณการผลิตรวม ดังนั้นการบริโภคพลังงานในภาพรวมของกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะนี้ มีแนวโน้มที่จะเป็นไปตามลักษณะการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

ระดับการผลิตของอุตสาหกรรมโลหะเป็นปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการบริโภคพลังงานเป็นอย่างมาก ที่ปี พ.ศ.2546 – 2547 อัตราการเพิ่มของผลผลิตเท่ากับ 0.1013 หรือร้อยละ 10.13(ปีพ.ศ. 2547) แต่อัตราการเพิ่มของการบริโภคพลังงานเท่ากับ 0.053 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า ทำให้ระดับความเข้มพลังงานมีการลดลงจาก 4.812 GJ/ton มาที่ 4.599 GJ/ton เนื่องจากการดำเนินการในด้านการอนุรักษ์พลังงานได้ผล ส่วนการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างการผลิต ก็มีผลให้พลังงานลดลงเช่นกัน เนื่องจากมีการลดสัดส่วนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีการบริโภคพลังงานสูงลง ผลดังกล่าวทำให้ความยืดหยุ่นพลังงานที่ปี พ.ศ.2547เท่ากับ 0.525 หรืออัตราการเพิ่มของพลังงานน้อยกว่าอัตราการเพิ่มของผลผลิต ที่ปี พ.ศ.2547-2548 อัตราการผลิตเท่ากับ 0.0597 ซึ่งยังคงเพิ่มขึ้นแต่ที่อัตราที่ลดลงจากปีที่ผ่านมา แต่อัตราการบริโภคพลังงานเท่ากับ 0.0632 ซึ่งเพิ่มขึ้นกว่าปี พ.ศ. 2546-2547 ระดับความเข้มพลังงานขั้นต้นเพิ่มขึ้นทั้งนี้เพราะอุตสาหกรรมใช้พลังงานความร้อนที่ประสิทธิภาพลดลงที่อาจเนื่องมาจากการหลายสาเหตุ เช่นเมื่อพิจารณาอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ซึ่งมีสัดส่วนการผลิตร้อยละ 88.20 ของอุตสาหกรรมโลหะ สาเหตุอาจมาจากการใช้เชื้อเพลิงที่คุณภาพต่ำลง(เช่นการใช้ถ่านหินคุณภาพต่ำลง) ทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงนี้ยังไม่แสดงสัญญาณชัดเจน ด้วยเหตุผลดังกล่าวค่าความยืดหยุ่นพลังงานเท่ากับ 1.058 หรืออัตราการเพิ่มพลังงานสูงกว่าอัตราการเพิ่มผลผลิตเล็กน้อย

อุตสาหกรรมโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีปริมาณการบริโภคพลังงานสูงอุตสาหกรรมหนึ่ง ดังนั้น การปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานในภาคอุตสาหกรรมนี้ จะส่งผลกระทบต่อภาพรวมของประเทศเป็นอย่างมาก การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการบริโภคพลังงานจะเป็นแนวทางหนึ่งในการวางแผนด้านนโยบายพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานต่อไป

ตารางที่ 12 ผลการประเมินการบริโภคพลังงาน ความเข้มพลังงาน ของอุตสาหกรรมอลูมิเนียม

อุตสาหกรรมอลูมิเนียม	ปี พ.ศ.		
	2546	2547	2548
<b>กลุ่มพลังงานที่ 1 ปูนซีเมนต์</b>			
ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)	32.53	35.63	37.87
สัดส่วนการผลิต	0.88	0.88	0.88
ความเข้มพลังงานไฟฟ้า (kWh/ตัน)	101.33	109.52	104.98
ความเข้มพลังงานความร้อน (GJ/ตัน)	3.37	3.18	3.20
ความเข้มพลังงานปฐมภูมิ (GJ/ตัน)	4.18	4.06	4.04
ความเข้มพลังงาน (MJ/พันบาท)	1,926.78	1,864.89	1,827.68
มูลค่าการผลิต (ล้านบาท)	70,666.26	77,573.38	83,800.35
<b>กลุ่มพลังงานที่ 2 แก้วและกระจก</b>			
ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)	1.90	2.14	2.09
สัดส่วนการผลิต	0.05	0.05	0.05
ความเข้มพลังงานไฟฟ้า (kWh/ตัน)	347.10	339.63	363.83
ความเข้มพลังงานความร้อน (GJ/ตัน)	8.14	7.54	7.97
ความเข้มพลังงานปฐมภูมิ (GJ/ตัน)	10.91	10.25	10.88
ความเข้มพลังงาน (MJ/พันบาท)	910.32	817.17	842.06
มูลค่าการผลิต (ล้านบาท)	22,777.16	26,797.55	27,072.25
<b>กลุ่มพลังงานที่ 3 เซรามิกส์</b>			
ปริมาณการผลิต (ล้านตัน)	2.36	2.76	2.97
สัดส่วนการผลิต	0.06	0.07	0.07
ความเข้มพลังงานไฟฟ้า (kWh/ตัน)	248.06	201.24	178.99
ความเข้มพลังงานความร้อน (GJ/ตัน)	6.48	5.58	6.09
ความเข้มพลังงานปฐมภูมิ (GJ/ตัน)	8.46	7.20	7.52
ความเข้มพลังงาน (MJ/พันบาท)	806.70	713.74	723.10
มูลค่าการผลิต (ล้านบาท)	24,706.58	27,807.13	30,948.42
<b>รวมทั้งหมดของอุตสาหกรรมอลูมิเนียม</b>			
ปริมาณการผลิตทั้งหมด (ล้านตัน)	36.79	40.52	42.94
ปริมาณการบริโภคพลังงานปฐมภูมิ (Primary Energy, ล้าน GJ)	176.97	186.39	198.17
ความเข้มพลังงานไฟฟ้า (kWh/ตัน)	123.43	127.89	122.73
ความเข้มพลังงานความร้อน (GJ/ตัน)	3.82	3.57	3.63
ความเข้มพลังงานปฐมภูมิ (GJ/ตัน)	4.811	4.60	4.61
ความเข้มพลังงานปฐมภูมิ (MJ/พันบาท)	1,497.81	1,410.12	1,397.34
ความยืดหยุ่น / สัมประสิทธิ์พลังงาน		0.52	1.06
มูลค่าการผลิตรวม (ล้านบาท)	118,149.99	132,178.05	141,821.02



## บทที่ 4

# การอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอลูมิเนียม

## 1. ศักยภาพอนุรักษ์พลังงานอุตสาหกรรมอลูมิเนียม

กลุ่มอุตสาหกรรมอลูมิเนียมที่ทำการศึกษามีความเหมือนกันด้านการใช้พลังงานความร้อนที่เตาเผาและเตาหลอมที่สัดส่วนร้อยละกว่า 75 ของการใช้พลังงานรวม และทางด้านการใช้พลังงานไฟฟ้ามีอุปกรณ์ที่ใช้เหมือนกันคือมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนระบบทำงานเช่น พัดลม เครื่องอัดอากาศ มาตรการอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วยมาตรการทั่วไปที่โรงงานตัวอย่างเข้าร่วมโครงการดำเนินการและมาตรการเชิงลึก

### 1.1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานทั่วไป

#### อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

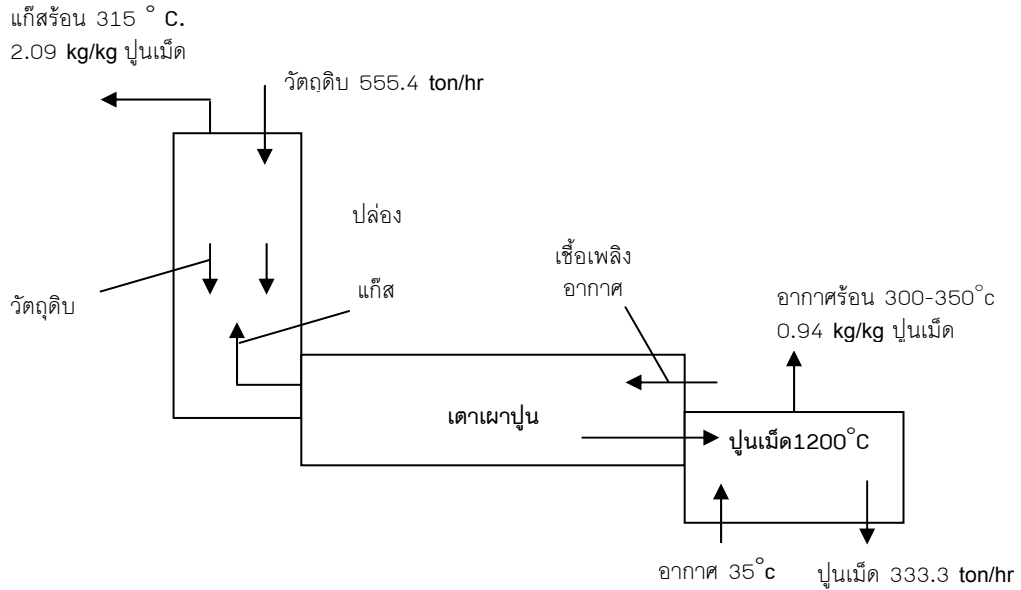
##### มาตรการใช้ VSD กับมอเตอร์พัดลม

โรงงานตัวอย่างใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง โดยบดถ่านหินให้เป็นผงแล้วใช้พัดลมดูดเพื่อส่งเข้าเตาเผาเม็ดปูน มอเตอร์ขับเคลื่อนพัดลม 6 ตัวทำงานที่ความเร็วรอบคงที่ การควบคุมอัตราการไหลของลมที่เหมาะสมกับความต้องการใช้ที่หม้อเผาปูนเม็ดโดยการปรับการเปิด Damper ที่ก่อนดำเนินการมาตรการร้อยละของการเปิด Damper ที่ 31.0% - 50% กำลังงานที่มอเตอร์ใช้ขึ้นกับร้อยละการเปิด Damper กำลังงานผันแปรระหว่าง 815.44 kW - 893.75 kW หรือโดยเฉลี่ย 850.23 kW โรงงานดำเนินการมาตรการกับมอเตอร์พัดลม 2 ชุดจากที่มีอยู่ 6 ชุดโดยเปิด Damper 100% ใช้การควบคุมอัตราการไหลของลมผ่านพัดลมด้วยการใช้อุปกรณ์ VSD เพื่อปรับรอบการหมุนมอเตอร์ขับเคลื่อนพัดลม ภายหลังดำเนินการมาตรการมอเตอร์ทำงานที่ร้อยละของความเร็วรอบเทียบกับของเดิม 68 - 73 และกำลังงานที่มอเตอร์พัดลม 500 kW - 566 kW หรือโดยเฉลี่ย 530.23 kW ดังนั้นโรงงานอนุรักษ์ได้ 320 kW หรือเท่ากับ 1,536,000 kWh/ปี ผลการอนุรักษ์ 0.215 kWh/ton clinker ระยะเวลาคืนทุน 0.83 ปี สำหรับพัดลมที่เหลือโรงงานจะดำเนินการมาตรการลำดับต่อไป

การประยุกต์อุปกรณ์ VSD ใช้ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้งานขับเคลื่อนภาระที่ทำงานเป็นวัฏจักรและความเร็วรอบไม่คงที่ งานประเภทมอเตอร์ไฟฟ้าขับเคลื่อนอุปกรณ์ที่ภาระงานไม่สม่ำเสมอแล้วใช้การปรับโดย Damper การประยุกต์ VSD ใช้จะให้ผลการอนุรักษ์พลังงานสูง การประเมินผลการอนุรักษ์ให้ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานและเปรียบเทียบโดยตรวจวัดต่อเนื่องอย่างน้อย 1 รอบของวัฏจักรภาระงาน เช่น 1 สัปดาห์ ข้อพิจารณาเบื้องต้นของการประยุกต์อื่นให้พิจารณาภาระงานสัมพันธ์(ภาระงานต่ำสุด/ภาระงานสูงสุด)ของระบบนั้นๆ ถ้าค่าดังกล่าวต่ำกว่าระยะเวลาคืนทุนของการนำมาใช้ VSD จะต่ำ

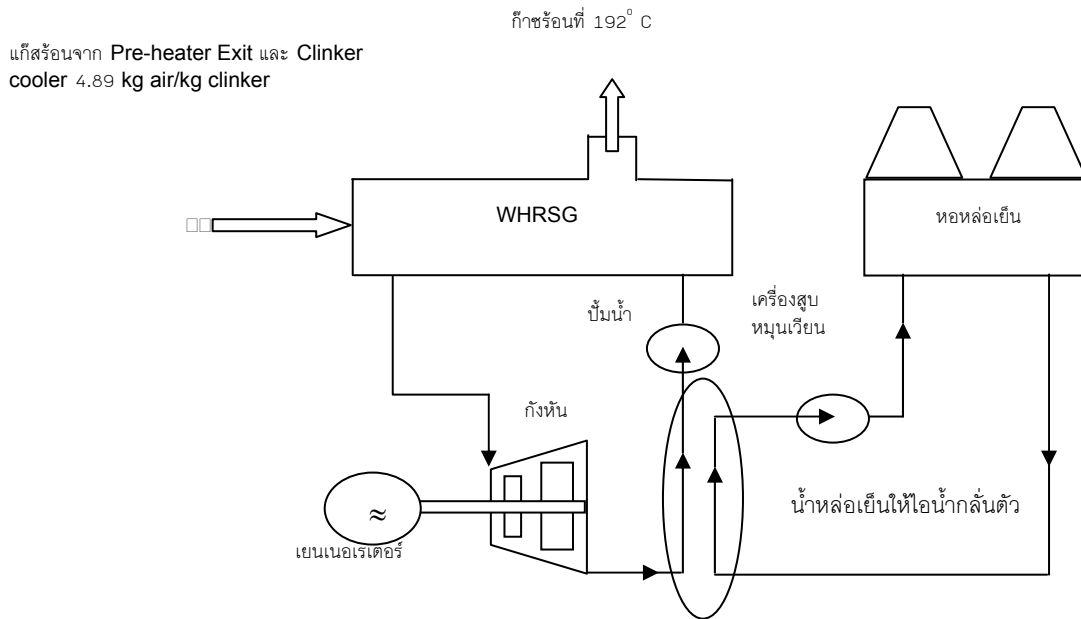
##### มาตรการนำความร้อนทิ้งมาผลิตพลังงานไฟฟ้า

อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ที่แบบจำลองของโรงงานตัวอย่างแสดงในรูปที่1 กำลังการผลิต 8,000 ตัน/วัน จำนวน 3 หน่วย แก๊สร้อนจากหม้อเผาปูนไหลสวนทางและถ่ายเทความร้อนให้วัตถุดิบ แล้วถ่ายเทออกจากระบบทางปล่องที่อุณหภูมิ 315°C. ที่อัตรา 2.09 kg/kg(เม็ดปูนที่ผลิตได้) วัตถุดิบที่ถูกเผาเปลี่ยนโครงสร้างเป็นเม็ดปูนจะถ่ายเทออกจากเตาที่อุณหภูมิ 1,200-1,300°C. ไหลเข้า Clinker Cooler กระบวนการทำให้ปูนเม็ดลดอุณหภูมิลงใช้อากาศจากภายนอกที่อุณหภูมิ 35°C.ไหลเข้าถ่ายเทความร้อนจากปูนเม็ดและถ่ายเทออกเป็นอากาศร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 300-350°C. ที่อัตรา 0.94 kg/kg(เม็ดปูน) และการนำความร้อนทิ้งที่พื้นผิวเตาเผาโดยการทำเปลือกรอบRotary Kiln แล้วผ่านอากาศเข้ารับพลังงาน แล้วนำไปรวมกับความร้อนทิ้งจากปล่องและจาก Clinker Cooler ได้ก๊าซร้อนรวม 4.89 kg/kg (ปูนเม็ด) การนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ยังไม่มีมาตรการดำเนินการมาก่อนในประเทศไทย โรงงานปูนซีเมนต์ตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการที่มีเตาเผาปูนเม็ดขนาด 8,000 ตัน/วัน จำนวน 3 หม้อเผารวมกำลังการผลิตเม็ดปูน 24,000 ตัน/วัน จะให้ความร้อนทิ้ง 380 MW(ความร้อน)



รูปที่ 1 แบบจำลองโรงงานตัวอย่างผลิตปูนซีเมนต์ ขนาดหม้อเผาปูน 8000 ton/day  
แสดงการปล่อยออกความร้อนทั้งที่ปล่องและที่ Clinker Cooler (ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่าง)

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนทั้งแสดงด้วยผังการทำงานรูปที่ 2 ด้วยข้อกำหนดที่อุณหภูมิแก๊สร้อนทั้งที่ 315°C. และวัฏจักรผลิตพลังงานกลจากไอน้ำประเภทแรงกิง(Rankine Cycle)ความดันไอน้ำที่ผลิตกำหนดเท่ากับ 8 Bar และอุณหภูมิ 285°C. แก๊สร้อนทั้งป้อนเข้าอุปกรณ์ผลิตไอน้ำจากความร้อนทั้ง(Wasted Heat Recovery Steam Generator, WHRSG)และไหลออกที่ 192°C. ไอน้ำผลิตได้ป้อนเข้ากังหันไอน้ำเพื่อผลิตพลังงานกล และขับเคลื่อนมอเตอร์ผลิตกระแสไฟฟ้า ความดันที่ทางออกเท่ากับ 20 kPa และคุณภาพไอน้ำ 0.9 สำหรับโรงงานตัวอย่างเมื่อดำเนินโครงการฯจะผลิตกำลังไฟฟ้าได้ 39.05MW(ไฟฟ้า)หรือ 937.2 MWh/day ขณะที่โรงงานใช้พลังงานไฟฟ้า 2,359.1 MWh/day หรืออนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า 39.7% หรือ 39.05 kWh/ton



รูปที่ 2 ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนทั้งโรงงานผลิตปูนซีเมนต์

## อุตสาหกรรมแก้วและกระจก

### มาตรการลดความดันด้านขาออกเครื่องอัดลม

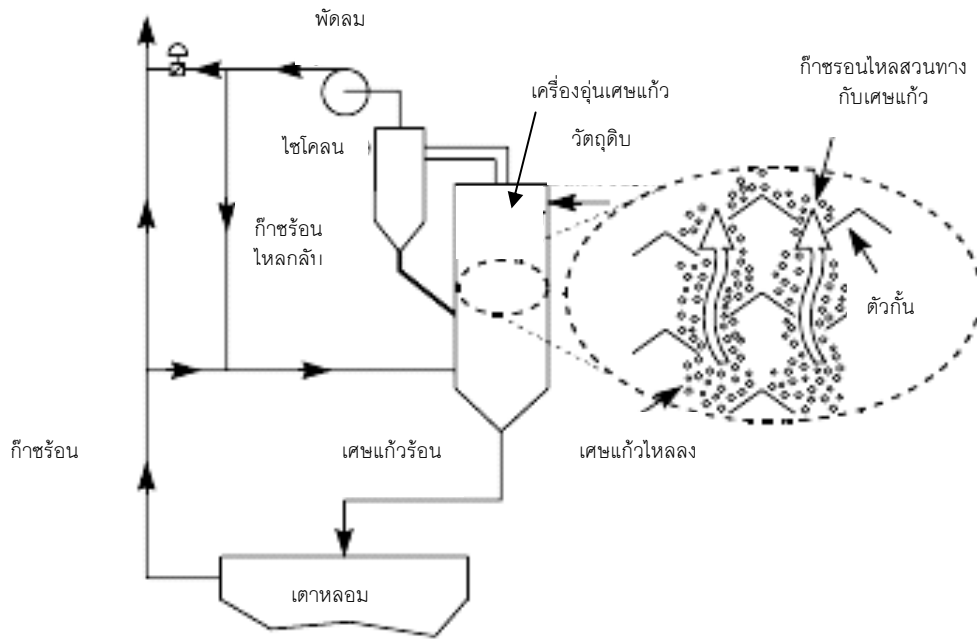
โรงงานแก้วและกระจกใช้ลมอัดเพื่อกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน โรงงานซึ่งติดตั้งระบบท่อนาลมอัดไปใช้งานไม่เหมาะสมเช่นขนาดท่อเล็ก จำนวนข้อต่อและข้องอมากซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสียความดันลมอัดเมื่อไหลในท่อไปใช้งานสูง ทางโรงงานจะแก้ไขโดยตั้งความดันที่ทางออกของเครื่องอัดลมให้เมื่อสูงไว้เพื่อให้ลมอัดที่ปลายทางมีความดันที่ต้องการใช้งาน มาตรการลดความดันขาออกของลมอัดให้สูงที่ความดันลมอัดที่ตำแหน่งใช้งานเพียงพอจะลดการใช้พลังงาน ถ้าความดันลมอัดขาออกลดลง 1 Bar กำลังงานที่เครื่องอัดอากาศใช้จะลดลง 8%

### มาตรการนำความร้อนทิ้งจากเตาหลอมแก้วมาใช้

เตาหลอมแก้วจะปล่อยแก๊สร้อนทิ้งผ่านทางปล่องที่อุณหภูมิ  $400^{\circ}\text{C}$  -  $500^{\circ}\text{C}$ . ปริมาณความร้อนทิ้งขึ้นกับอุณหภูมิแก๊สและขนาดของเตา เช่นโรงงานตัวอย่างขนาดเตา 270 ton pull/day อุณหภูมิแก๊ส  $495^{\circ}\text{C}$ . ปริมาณความร้อนทิ้งที่ปล่อย 6.78 GJ/hr หรือเทียบเป็นปริมาณเชื้อเพลิง 4,176 ลิตร/วัน การนำความร้อนทิ้งไปใช้ประโยชน์ได้ในมาตรการดังต่อไปนี้

- (1) ใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม เพื่อผลิตน้ำเย็นเพื่อนำไปใช้ทดแทนระบบทำความเย็นเดิมที่ใช้พลังงานไฟฟ้า หรือนำน้ำเย็นไปใช้ลดอุณหภูมิอากาศก่อนป้อนเข้าเครื่องผลิตลมอัด ตัวอย่างของโรงผลิตขวดแก้วใช้พลังงานที่ลมอัด 110 kWh/ton pull การลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดลมลง  $30^{\circ}\text{C}$  เช่น จาก  $40^{\circ}\text{C}$  ลงมาที่  $10^{\circ}\text{C}$  พลังงานเครื่องอัดอากาศใช้ลดลงเป็น 99.41 kWh/ton pull หรืออนุรักษ์พลังงานได้ 10.73 kWh/ton pull สำหรับโรงงานตัวอย่างขนาด 270 ton pull/day จะใช้ระบบทำความเย็น Absorption ขนาด 30.04 ton(ความเย็น) เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ
- (2) ใช้อุ่นเศษแก้วก่อนป้อนเข้าเตาหลอม โรงงานตัวอย่างขนาด 270 ton/day ผลิตขวดแก้วใช้เศษแก้ว 70% เพื่อนำกลับมาหลอมใหม่ การอุ่นเศษแก้วให้ร้อนโดยก๊าซร้อนทิ้งจะลดการใช้พลังงานในเตาหลอมลง โรงงานมีอุณหภูมิก๊าซร้อนทิ้ง  $495^{\circ}\text{C}$ . เมื่อนำไปอุ่นเศษแก้วให้ได้อุณหภูมิ  $450^{\circ}\text{C}$ . จะลดการใช้พลังงานเพื่อหลอมแก้วลงได้ 0.3 GJ/ton pull หรือเท่ากับ 81 GJ/day คิดเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่อนุรักษ์ได้ 2077 ลิตร/วัน

ผังแสดงการทำงานของมาตรการอุ่นเศษแก้วโดยใช้ก๊าซร้อนทิ้งแสดงในรูปที่ 3 ห้องอุ่นเศษแก้วเป็นถังกลมภายนอกหุ้มฉนวนภายในติดตั้งตัวกั้น (Baffles) ทำด้วยเซรามิกแผ่นงอเป็นมุมฉากวางต่อกันเป็นชั้น เศษแก้วเคลื่อนที่จากด้านบนลงล่างผ่านช่องระหว่างแผ่นงอเซรามิก แก๊สร้อนทิ้งจากเตาหลอมแก้วไหลจากด้านล่าง สวนทางการไหลกับการเคลื่อนที่ของเศษแก้ว อุณหภูมิเศษแก้วที่ทางออกจากห้องอบฯเพื่อไหลเข้าเตาหลอมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าก๊าซร้อนไหลเข้าห้องอุ่นเศษแก้ว(จากปล่อง)  $40^{\circ}\text{C}$ - $50^{\circ}\text{C}$ . เช่นโรงงานตัวอย่างที่มีก๊าซร้อนทิ้งอุณหภูมิ  $495^{\circ}\text{C}$ . อุณหภูมิเศษแก้วจากห้องอบเท่ากับ  $445^{\circ}\text{C}$ - $455^{\circ}\text{C}$ .



รูปที่ 3 ผังแสดงการทำงานของมาตรการนำความร้อนทิ้งมาอุ่นเศษแก้ว

ที่มา : GLASS INTEGRATED BATCH AND CULLET PREHEATER SYSTEM, Theodore Johnson Office of Industrial Technologies, Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy Washington, D.C. 20585

### อุตสาหกรรมเซรามิก

**มาตรการลดการรั่วไหลอากาศอัด และการเปิดใช้งานเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเป็นเครื่องหลัก**

อุตสาหกรรมเซรามิกใช้พลังงานไฟฟ้าที่ระบบลมอัด 5-13%ของพลังงานไฟฟ้า ค่า SEC ของโรงงานเซรามิก Table ware เท่ากับ 110 kWh/ton และเครื่องสูบน้ำร้อน 133 kWh/ton โรงงานจะมีช่วงเวลาที่โรงงานไม่ใช้อากาศอัด การตรวจวัดเพื่อประเมินอากาศรั่วดำเนินการได้โดยวัดระยะเวลาที่ระบบทำงาน และหยุดโรงงานตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการถือปฏิบัติมาตรการนี้แล้วและมีการรั่วไหลตามเกณฑ์ สำหรับโรงงานตัวอย่างรายที่ติดตั้งเครื่องสูบน้ำร้อนไว้ การตรวจวัดเพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องฯแล้วเลือกเดินเครื่องฯที่มีสมรรถนะสูงเป็นหลักได้ผลการอนุรักษ์ในโรงงานเซรามิกเครื่องสูบน้ำร้อน 10.5 kW/ton และมาตรการลดความดันด้านขาออกลด SEC ลง 2.35 kWh/ton

**มาตรการนำความร้อนทิ้งจาก Rapid Cooling มาอุ่นอากาศก่อนเข้า Firing Section และความร้อนทิ้งจาก Preheat Section มาอบแห้งชิ้นงานและใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึม**

อากาศจากภายนอกเตาที่อุณหภูมิ 35°C.ไหลถูกนำเข้า Rapid Cooling Section เพื่อลดอุณหภูมิชิ้นงานลงที่ระดับ 100°C. แล้วไหลออกจากเตาเป็นอากาศร้อนอุณหภูมิ 400-450°C. โรงงานตัวอย่างขนาดกำลังการผลิต 100 ตัน/เดือนจะให้ความร้อนทิ้งอัตรา 50 kW การนำอากาศร้อนทิ้งไปใช้ผสมกับเชื้อเพลิงที่ Firing Section จะลดการใช้เชื้อเพลิง 11.9%

ความร้อนทิ้งอีกส่วนหนึ่งจากแก๊สร้อนทิ้งจาก Firing Section (ก๊าซร้อนขาดออกซิเจน) จะถูกนำไปใช้ Preheat ชิ้นงานแล้วระบายทิ้งมีอุณหภูมิ 500-550°C. สำหรับโรงงานตัวอย่างกำลังการผลิต 100 ton/เดือน ให้ปริมาณแก๊สร้อนทิ้ง 61.8 kW นำไปอบชิ้นงานจะอนุรักษ์พลังงานสูงสุด 2.79 GJ/ton เมื่อนำไปใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึมได้ 14 ton (ความเย็น) โรงงานที่กำลังการผลิต ton/เดือน แตกต่างจากนี้ ให้ประเมินปริมาณแก๊สร้อนทิ้งเป็นสัดส่วนจากข้อมูลจากโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานตัวอย่างอุตสาหกรรมอลูมิเนียม<sup>1</sup>

อุตสาหกรรม	มาตรการอนุรักษ์พลังงาน	ผลการอนุรักษ์	
		kWh/ton	GJ/ton
<b>มาตรการระยะสั้น</b>			
แก๊วและกระจก	การควบคุมอากาศส่วนเกินโดยควบคุม Excess O <sub>2</sub> 3% <sup>1</sup>		1.66
เซรามิก	การนำความร้อนทิ้งมาอบชิ้นงาน <sup>2</sup>	-	1.6-2.79
	การเลือกเดินเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า	10.54	-
	ลดความดันใช้งานอากาศอัด 7 Bar เหลือ 6.5 Bar	2.31	-
<b>มาตรการระยะกลางและระยะยาว</b>			
ปูนซีเมนต์	การใช้อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบกับพัดลมดูดเชื้อเพลิงถ่านหินเข้าเตาเผาปูนเม็ด	0.96	
	การนำความร้อนทิ้งจากทางออกอุปกรณ์อุ่นวัตถุดิบ(Preheater Rawmill จากทางออกอุปกรณ์ลดอุณหภูมิปูนเม็ด(Clinker Cooler) <sup>4</sup> และจากความร้อนสูญเสียที่เตาเผาผลิตไฟฟ้า	39.05	
แก๊วและกระจก	การนำความร้อนทิ้งมาอุ่นเศษแก้วก่อนป้อนเข้าเตาหลอม <sup>3</sup>		0.12-0.22
	การนำความร้อนทิ้งมาใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดซึมเพื่อนำความเย็นไปลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	6.35-12.32	
เซรามิก	การนำความร้อนจากช่วง Rapid Cooling มาอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้		1.26 <sup>5</sup>

1. โรงงานตัวอย่างเข้าร่วมโครงการฯ
2. ชิ้นงานรูปทรงซับซ้อน(เครื่องสุกภัณฑ์) ใช้พลังงานเพื่อการอบฯสูงกว่า
3. โรงงานที่ใช้สัดส่วนเศษแก้วต่อวัตถุดิบสูงจะอนุรักษ์ได้สูงกว่า
4. โรงงานอยู่ในขั้นเตรียมงานก่อสร้าง
5. เครื่องสุกภัณฑ์ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร

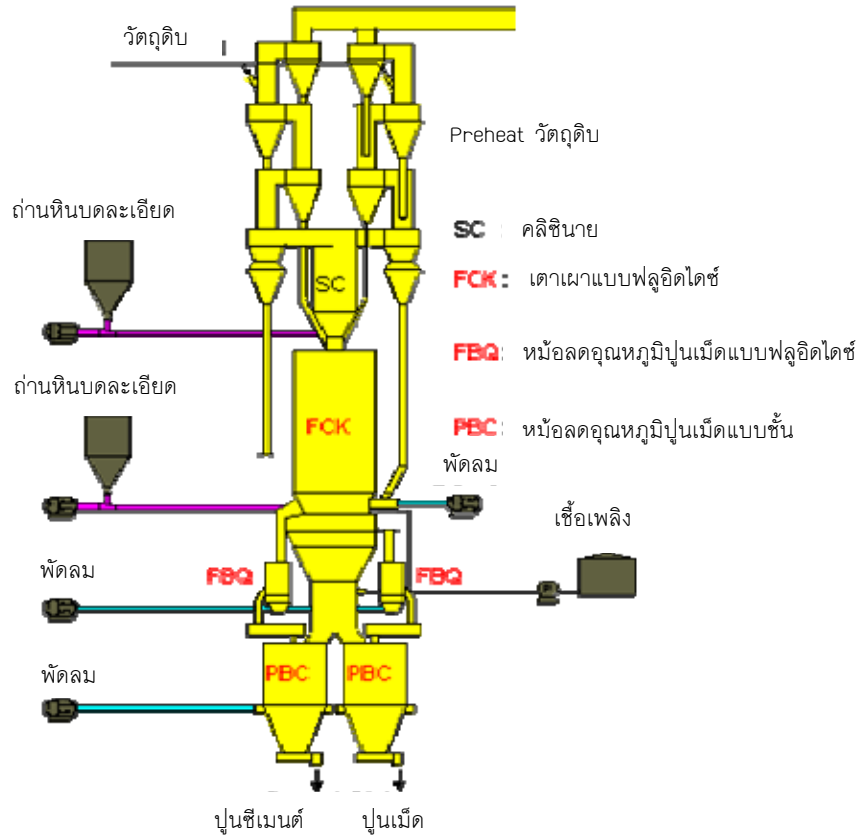
## 1.2 มาตรการอนุรักษ์พลังงานเชิงลึก

### อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์

#### มาตรการเตาปูนแบบฟลูอิดไดซ์(Fluidized Bed Cement Kiln, FCK)

ภายในหม้อเผาปูน(Rotary Kiln)ที่ใช้ปัจจุบัน วัตถุดิบที่ถูกอุ่นในตัว Preheater โดยแก๊สร้อนจากหม้อเผาปูนจะถูกถ่ายเทเข้าห้องเผาปูน(Rotary Kiln)รูปทรงกระบอกวางนอนหมุนรอบตัวช้าๆ 4-5 รอบ/นาที ด้านหน้าหม้อเผาจะป้อนเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มอุณหภูมิวัตถุดิบซึ่งถูกหม้อเผาพาหวนคลุกกัน จนถึงขั้นแตกตัวและทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันเป็นปูนเม็ด กระบวนการถ่ายเทความร้อนจากเชื้อเพลิงให้วัตถุดิบซึ่งอยู่รวมตัวกันภายในหม้อเผา เป็นแบบการพาและการนำความร้อน ซึ่งใช้ระยะเวลาเพื่อวัตถุดิบรับความร้อนจนถึงระดับที่ต้องการ 1200-1250<sup>o</sup>C. การนำเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์มาประยุกต์ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4 เตาเผาฟลูอิดไดซ์(FCK)รูปทรงกระบอกวางตั้ง วัตถุดิบจาก Preheater ไหลเข้าหม้อเผา(FCK)ด้านบน เชื้อเพลิงป้อนเข้าทางด้านข้าง อากาศป้อนเข้าโดยมีพัดลม(Blower)เป่าจากด้านล่างของเตาฯ และลมร้อนจากตัวหล่อเย็นปูนเม็ด(Packed Bed Cooler)เป่าเข้าด้านล่าง ทั้งอากาศและลมร้อนที่อัดเข้าหม้อเผาฯ สันดาปเชื้อเพลิงเป็นแก๊สร้อนไหลขึ้นแนวตั้ง การออกแบบแก๊สร้อนจะมีความเร็วสูงพอที่ดันให้วัตถุดิบแขวนลอยในกระแสของแก๊สร้อน เนื่องจากกระแสแก๊สร้อนสัมผัสโดยตรงกับวัตถุดิบทำให้ระยะเวลาที่ใช้เพื่อเผาวัตถุดิบอุณหภูมิสูงระดับแตกตัวและรวมตัวเป็นปูนเม็ด สั้นกว่าการเผาแบบ Rotary วัตถุดิบที่เปลี่ยนรูปเป็นปูนเม็ดมีความหนาแน่นสูงกว่าจึงตกลงด้านล่างถูกนำเข้าห้องลดอุณหภูมิ และนำออกใช้งาน

เตาเผาปูนแบบ FCK ติดตั้งใช้งานขนาด 1,000 – 3,000 ตัน/วัน เปรียบเทียบกับระบบเดิมอนุรักษ์พลังงานความร้อน 25% แต่การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 35% แต่โดยที่ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้เป็น 80% ของพลังงานรวม ระบบ FCK จึงอนุรักษ์พลังงานได้รวม 23.3 % นอกจากนั้นค่าบำรุงรักษาระบบ FCK เป็น 25% ของระบบเดิม



รูปที่ 4 ระบบเตาเผาปูนซีเมนต์แบบฟลูอิดไดซ์

### อุตสาหกรรมแก้วและกระจก

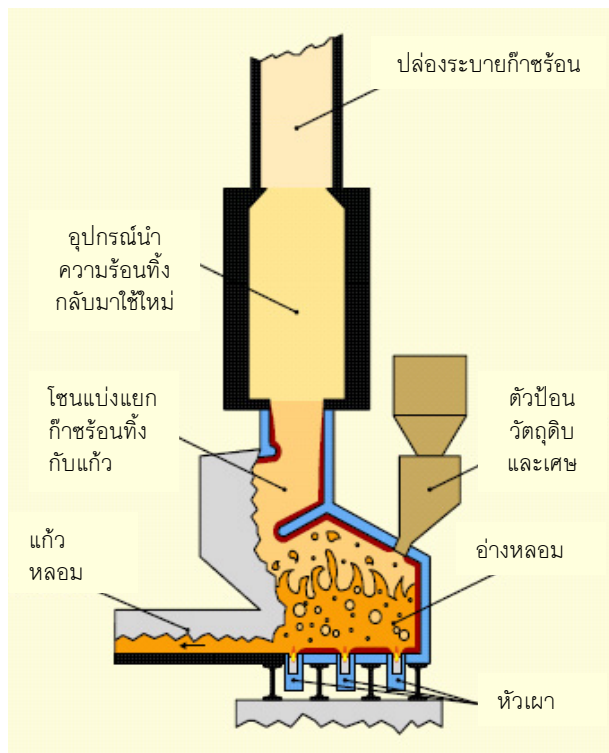
#### มาตรการใช้ก๊าซออกซิเจนแทนอากาศ(Oxy-Fuel Firing) ในเตาหลอมแก้ว

กระบวนการหลอมแก้วที่ใช้เชื้อเพลิงผสมอากาศที่มีก๊าซ  $O_2$  และ  $N_2$  ปริมาณ 21%และ78% ธาตุ C และ H ในเชื้อเพลิงจะทำปฏิกิริยากับ  $O_2$  เป็นก๊าซ  $CO_2$  และ  $H_2O$  และให้พลังงาน ส่วน  $N_2$  จะคงรูปเดิมแต่รับพลังงานมีอุณหภูมิสูงระดับเดียวกับ  $CO_2$  และ  $H_2O$  เช่นในเตาหลอมแก้ว  $1900-1950^{\circ}C$  ก๊าซร้อนถ่ายเทพลังงานให้แก้วแล้วถ่ายเทออกจากเตา ผ่าน Regenerator แล้วระบายออกทางปล่องที่  $400-500^{\circ}C$ . ก๊าซดังกล่าวมี  $N_2$  ผสมอยู่ที่นำพลังงานความร้อนทิ้งออกภายนอก 30%ของพลังงานทั้งหมด ดังนั้นถ้าใช้  $O_2$  อย่างเดียวสันดาปกับเชื้อเพลิง(Oxy-Fuel Firing) จึงลดความร้อนทิ้งส่วนที่  $N_2$  พาออกไปจากเตาจะลดลง 20% ถ้าพิจารณาเฉพาะเรื่องการประหยัดพลังงานเมื่อนำระบบ Oxy-Fuel Firing มาใช้จะลดการใช้พลังงาน 20% แต่ควรพิจารณาราคา  $O_2$  ที่ณ.ราคาพลังงานปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงลิตรละ 15 บาท ราคา  $O_2$  ควรต้องมีราคาก็โลกรัมละ 0.66 บาทที่ทำให้ผลการประหยัดเชื้อเพลิงชดเชยกับค่า  $O_2$

ข้อดีประการอื่นเมื่อใช้ Oxy-Fuel Firing คือเมื่อไม่มี  $N_2$  มวลก๊าซร้อนจะลด อุณหภูมิของก๊าซร้อนจะสูงถึงระดับ  $2500-2700^{\circ}C$ . ทำให้กำลังความร้อนถ่ายเทจากก๊าซร้อนโดยการแผ่รังสีให้น้ำแก้วที่ผ่นแปรตาม (อุณหภูมิก๊าซร้อน<sup>4</sup> – อุณหภูมิแก้ว) สูงขึ้นซึ่งมีผลให้อัตราการหลอมแก้วเพิ่มกว่า 20% นอกจากนั้นเตาหลอมแก้วที่ใช้ Oxy-Fuel Firing จะลดวัสดุส่วนที่ใช้เป็น Regenerator จึงลดทั้งขนาดและราคาถึง 30%

### มาตรการเตาหลอมแก้วแบบ Submerged Combustion Melting

เตาหลอมแก้วปัจจุบันเปลวไฟอุณหภูมิ 1,900<sup>o</sup>C. พ่นจากหัวเผาที่อยู่เหนืออ่างหลอมแก้ว ความร้อนจากเปลวไฟจะแผ่รังสีให้น้ำแก้วที่อุณหภูมิ 1350-1450<sup>o</sup>C. และแผ่รังสีให้หลังคาเตาเพื่อสะท้อนกลับให้น้ำแก้ว อุณหภูมิของผนังเตาเหนือระดับน้ำแก้วและหลังคาเตาหลอมจะสูงกว่าอุณหภูมิ น้ำแก้วทำให้ความร้อนสูญเสียผ่านโครงสร้างเตาสูง นอกจากนั้นการที่เปลวไฟมีอุณหภูมิสูง ความร้อนสูญเสียทางก๊าซร้อนที่ปล่อยผ่านปล่องจะสูงด้วย การออกแบบให้หัวพ่นไฟอยู่ด้านล่างของอ่างหลอมแก้ว พ่นไฟผ่านน้ำแก้วจากด้านล่างขึ้นด้านบนดังแสดงในรูปที่ 5 ความร้อนจากเปลวไฟจะถ่ายเทให้น้ำแก้วโดยตรงโดยการพาความร้อน จึงทำให้ด้านบนเหนืออ่างหลอมแก้วมีอุณหภูมิประมาณเท่า น้ำแก้วซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิในเตาหลอมแก้วแบบเดิม ความร้อนสูญเสียของเตาหลอมแบบดังกล่าวจะลดลง 20% นอกจากนั้นเตาหลอมแบบนี้ซึ่งมีมวลก๊าซร้อนทั้งต่ำจึงลดขนาดอุปกรณ์นำความร้อนทั้งกลับมาใช้(Regenerator) จึงลดวัสดุที่ใช้ทำเตาลงประมาณ 80% เตาหลอมแก้วแบบนี้นำมาใช้ที่กระบวนการผลิตใยแก้ว และอยู่ระหว่างการให้ทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์อื่น เช่นขวดแก้ว เครื่องแก้ว



รูปที่ 5 เตาหลอมแก้วแบบหัวพ่นไฟอยู่ใต้อ่างหลอมแก้ว (Submerged Combustion Melter)

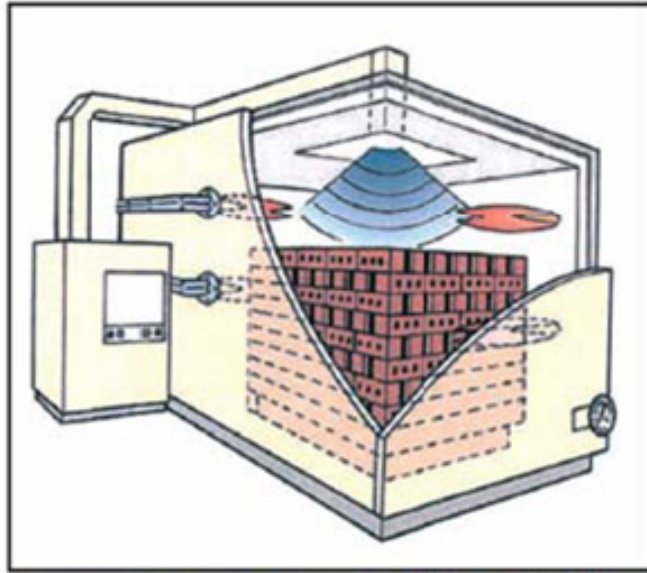
ที่มา David Rue, Submerged Combustion Melter, Gas Technology Institute Ohio Technology Showcase Cleveland, Ohio, September 28, 2005.

### อุตสาหกรรมเซรามิก

#### มาตรการเตาเผาเซรามิกใช้เชื้อเพลิงก๊าซและไมโครเวฟ (NG or LPG-Assisted Microwave Firing System)

ด้วยการเผาชิ้นงานเซรามิก ความร้อนจากแก๊สร้อนที่ได้จากการสันดาปของอากาศกับเชื้อเพลิงถ่ายเทโดยการพาและการแผ่รังสีให้ชิ้นงาน ผิวด้านนอกชิ้นงานจะมีอุณหภูมิสูงจึงถ่ายเทโดยการนำความร้อนผ่านเนื้อดินเข้าภายใน เนื่องจากวัสดุเซรามิกเป็นฉนวนความร้อน เวลาที่ความร้อนถ่ายเทจากภายนอกเข้าภายในใช้เวลานานเช่นเซรามิกประเภทสุขภัณฑ์ใช้เวลากว่า 20 ชั่วโมงเพื่อ preheat ชิ้นงานโดยก๊าซร้อนที่ปล่อยทิ้งจากห้องเผา (Firing Section) จนอุณหภูมิชิ้นงานขึ้นถึง 800-900<sup>o</sup>C. จึงเลื่อนชิ้นงานตามรางเข้าห้องเผาชิ้นงานให้อุณหภูมิภายในชิ้นงานขึ้นถึง 1100-1200<sup>o</sup>C ชิ้นงานจึงจะสุก

การนำอุปกรณ์ไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการเผาเซรามิกให้ร้อนจากภายในเนื้อชิ้นงาน ภายนอกจะให้ความร้อนโดยการเผาไหม้ของก๊าซ NG หรือ LPG โดยกระบวนการดังกล่าวจะลดระยะเวลาเพื่อการเผาชิ้นงานให้สุก มาตรการนี้ติดตั้งใช้งานที่ประเทศอังกฤษเพื่อใช้เผาชิ้นงานที่รูปทรงไม่ซับซ้อนเช่นอิฐแสดงในรูปที่ 6 แต่ยังคงอยู่ระดับวิจัยและพัฒนาเพื่อการปรับความถี่คลื่นไมโครเวฟเพื่อใช้กับชิ้นงานที่รูปทรงซับซ้อนเช่นเครื่องสุขภัณฑ์ เตาต้นแบบเป็นการติดตั้งระบบสร้างคลื่นไมโครเวฟที่ใช้เอนเนอร์เรเตอร์ขนาด 1175 kW เข้ากับเตาเผาเดิมขนาดพื้นที่หน้าตัดเตา 8 เมตร x 1.2 เมตร และยาว 100 เมตร อัตราการผลิตอิฐ 125,000 ตัน/ปี ราคาของการปรับปรุง 65 ล้านบาทแต่ถ้าทั้งเตาเผาและระบบไมโครเวฟใหม่ทั้งหมดจะมีราคา 159 ล้านบาท ผลการอนุรักษ์เมื่อใช้เพื่อการเผาอิฐ 39-44%



รูปที่ 6 ระบบ **Gas-Assisted Microwave Firing System**  
ที่มา : [www.cerlink.com](http://www.cerlink.com)

## 2. แนวทางการสนับสนุนการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอลูมิเนียม

จากการศึกษาแนวทางในการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมอลูมิเนียมในต่างประเทศ และจากการศึกษาและตรวจวัดการใช้พลังงานในสถานประกอบการตัวอย่าง พบว่ามีความเป็นไปได้ที่อุตสาหกรรมจะดำเนินการประหยัดพลังงาน แต่การที่อุตสาหกรรมจะดำเนินการหรือไม่ขึ้นกับปัจจัยต่างๆหลายปัจจัย เพื่อเร่งให้มีการดำเนินการประหยัดพลังงานแนวทางการสนับสนุนจากภาครัฐเป็นสิ่งจำเป็นในการกระตุ้นให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานของภาคอุตสาหกรรม

ในการกระตุ้นให้อุตสาหกรรมมีการดำเนินการประหยัดพลังงานจนประสบความสำเร็จ จะต้องทำความเข้าใจกับทัศนคติและอุปสรรคที่อุตสาหกรรมพบ ถ้าจะมีการดำเนินการด้านพลังงาน ทัศนคติที่ทำให้อุตสาหกรรมไม่สนใจการประหยัดพลังงาน เช่น

- การตัดสินใจในการผลิตต้องพิจารณาจากค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ ไม่เฉพาะเรื่องการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (หมายความว่าเรื่องทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะการขายสินค้ามีความสำคัญกว่าเรื่องพลังงาน)
- ไม่สามารถลงทุนในเรื่องใดได้อีกแล้ว (มีข้อจำกัดด้านเงินทุน)
- ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ประหยัดได้ไม่คุ้มค่ากับการดำเนินการ (ผลได้น้อยเกินกว่าที่จะสนใจ)
- ฯลฯ

ในภาพรวมอาจสรุปปัญหาอุปสรรคสำหรับอุตสาหกรรมที่จะดำเนินการพัฒนาประสิทธิภาพการบริโภคพลังงาน ซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดพลังงาน ดังนี้

- มีข้อจำกัดด้านความรู้เกี่ยวกับเทคนิคในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานและผลทางเศรษฐกิจ
- ไม่ประสงค์ที่จะรับความเสี่ยงในการลงทุน
- ให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพด้านเศรษฐกิจมากกว่าประสิทธิภาพด้านพลังงาน
- ขาดการสนับสนุนที่มีแรงจูงใจมากพอในการลงทุนด้านการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน
- กฎระเบียบด้านประสิทธิภาพพลังงานในขณะนี้ยังไม่ส่งผลต่อการดำเนินงานของอุตสาหกรรม
- ขาดการสาธิตตัวอย่างเทคโนโลยีและโครงการประหยัดพลังงานที่ได้ผล
- ขาดบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถด้านการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรม ที่จะให้การสนับสนุนการดำเนินการอย่างเพียงพอ

ในอุตสาหกรรม ทศนคติและปัญหาอุปสรรคดังกล่าวมานี้ยังคงมีผลต่อการดำเนินการประหยัดพลังงาน ดังนั้นเพื่อหาแนวทางในการสนับสนุนการประหยัดพลังงาน จึงควรมีการพิจารณาปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการที่จะนำไปสู่ความสำเร็จของการดำเนินการประหยัดพลังงานควบคู่ไปกับปัญหาอุปสรรคต่างๆ จากการศึกษพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของอุตสาหกรรม อาจจำแนกได้เป็น 4 ปัจจัยคือ



- ปัจจัยด้านเทคนิค (Technical Factor) เช่น กระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ อายุของโรงงาน และเครื่องจักร คุณภาพของพลังงานที่ใช้ ฯลฯ
- ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ (Economic Factor) เช่น ขนาดของกำลังการผลิตของโรงงาน ปริมาณการผลิต ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากร (เช่น มีความสูญเสียในการผลิตหรือไม่) ฯลฯ
- ปัจจัยด้านทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Factor) เช่น พื้นฐานความรู้และทักษะของพนักงานในกระบวนการผลิต ประสบการณ์ของผู้เป็นเจ้าของ ระดับการศึกษาของผู้ควบคุม ฯลฯ
- ปัจจัยด้านองค์กรและพฤติกรรม (Organizational and Behavioral Factor) เช่น วิถีปฏิบัติงาน ผังโรงงาน และการดูแลอาคารสถานที่ เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต ความสำคัญที่ให้กับพลังงาน ระดับการปฏิสัมพันธ์กับภายนอก ฯลฯ

จากการวิเคราะห์จุดอ่อนปัจจัยในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงาน จะพบว่าปัญหาใหญ่ในอุตสาหกรรมอโลหะคือ

- ในอุตสาหกรรมนี้ยังขาดความรู้และความชำนาญในเรื่องของเตาเผาและเตาหลอม พื้นฐานการออกแบบและการดำเนินงานของเตาเผา/เตาหลอม ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการบริโภคพลังงานที่สูงที่สุดในกระบวนการผลิต จากปัญหาดังกล่าวทำให้อุตสาหกรรมไม่สามารถพัฒนาหรือปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานได้อย่างจริงจัง ในระยะสั้นควรมีโครงการฝึกอบรมและให้คำปรึกษาในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมอโลหะเพื่อให้เกิดบุคลากรที่มีความสามารถและความชำนาญในด้านนี้
- ปัญหาด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานอีกเรื่องหนึ่ง คือ ปัญหาในเรื่องของความล่าช้าของเทคโนโลยีที่อุตสาหกรรมใช้ โดยควรมีโครงการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านเตาเผา/เตาหลอมที่มีประสิทธิภาพพลังงานที่ดีกว่าปัจจุบัน ซึ่งควรมีการศึกษาในเชิงของความเป็นไปได้ที่จะนำเทคโนโลยีเหล่านั้นมาใช้ในอุตสาหกรรมไทยพร้อมทั้งแนวทางสนับสนุนด้านการลงทุน ซึ่งรายละเอียดของเทคโนโลยีที่เสนอแนะให้ศึกษาดังแสดงในโครงการ
- ปัญหาในเรื่องของการนำความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอโลหะมาใช้ประโยชน์ จากการเข้าเยี่ยมชมโรงงานพบว่าในอุตสาหกรรมอโลหะมีความร้อนทิ้งจากกระบวนการผลิตที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อได้ โดยอาจใช้ในการอุ่นวัตถุดิบ อบแห้งผลผลิตก่อนเผา อุ่นอากาศ และผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น ตัวอย่างในการนำความร้อนทิ้งไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับอุตสาหกรรม

ปูนซีเมนต์ ศักยภาพและเอกสารอ้างอิงแสดงรายละเอียดภายใต้หัวข้อเทคโนโลยีเชิงลึก แต่เนื่องจากบริษัทที่ทำการออกแบบระบบการนำความร้อนทิ้งมาใช้นั้นมีน้อย และโรงงานขาดความมั่นใจในบริษัทที่จะเข้ามาออกแบบ และในบางอุตสาหกรรมยังความกลัวที่จะนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตเนื่องจากกลัวผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก ซึ่งต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนนี้ จากปัญหาดังกล่าวทำให้การนำความร้อนทิ้งในอุตสาหกรรมโลหะมาใช้ยังไม่ประสบความสำเร็จ จึงควรมีโครงการสนับสนุนธุรกิจการพัฒนาเทคโนโลยีและอุปกรณ์การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ โดยมีโรงงานที่ต้องการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ และจัดหาบริษัทที่มีความพร้อมในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์เหล่านี้ โดยมีมาตรการทางด้านภาษีสนับสนุนการลงทุนเพื่อเร่งให้เกิดการนำเอาความร้อนทิ้งมาใช้อย่างจริงจัง

- การนำออกซิเจนมาใช้ในการเผาแทนอากาศในเตาเผาหรือเตาหลอม เป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิต ซึ่งจะมีการประเมินการใช้ออกซิเจนในการเผาจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงอย่างน้อย 20 เปอร์เซ็นต์ รายละเอียดดังแสดงในมาตรการเชิงลึกของอุตสาหกรรมแก้วและกระจก แต่การนำออกซิเจนมาใช้นั้นยังมีปัญหาในเรื่องของราคาออกซิเจนซึ่งปัจจุบันราคายังสูงอยู่ไม่สามารถนำมาใช้แล้วคุ้มค่าต่อค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยต่อเนื่องในเรื่องของการศึกษาความเป็นไปได้และแนวทางในการขยายการผลิตออกซิเจนเพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม

โดยอาศัยผลการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น ที่ปรึกษาเสนอให้มีการจัดทำโครงการระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว ดังที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป



### 3. แนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมโลหะ

#### โครงการระยะสั้น (< 1 ปี)

- โครงการอบรมและให้คำปรึกษาในการพัฒนาประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมโลหะ เช่นการออกแบบระบบนำความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์

#### โครงการระยะกลาง (1 – 3 ปี)

- โครงการสนับสนุนธุรกิจการพัฒนาเทคโนโลยีและ

อุปกรณ์การนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์

- โครงการสนับสนุนการใช้ออกซิเจนในการเผาไหม้แทนอากาศในเตาเผาหรือเตาหลอม

#### โครงการระยะยาว (3 – 5 ปี)

- โครงการข้อตกลงอาสาสมัครสำหรับการประหยัดพลังงานกับกลุ่มอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์
- โครงการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาด้านเตาเผาและเตาหลอม
  - เทคโนโลยี Microwave assisted ในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก
  - เทคโนโลยี Submerged Combustion Melter ในการหลอมแก้ว
  - เทคโนโลยี Fluidized Bed Combustion ในการเผาเม็ดปูน



## บทที่ 5

### การจัดการพลังงานในกระบวนการผลิต

การจัดการพลังงาน หมายถึง การจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น ลดความสูญเสียพลังงาน แนวทางเบื้องต้นที่นำเสนอประกอบด้วย หลักการจัดการพลังงานทั่วไป และหลักการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมโลหะ

#### 1. หลักการจัดการพลังงานทั่วไป

##### 1. การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

โดยทั่วไปแล้ว อุตสาหกรรมโลหะมีการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตมากกว่าร้อยละ 80 ของพลังงานทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นตัวเลขที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นหากเราสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานส่วนนี้ลงไปได้ ก็จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กรทั้งในด้านการเงิน และด้านสิ่งแวดล้อมที่จะมีขึ้นในอนาคต

##### 2. การดำเนินการเบื้องต้น

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานถือเป็นค่าใช้จ่ายแปรผันซึ่งจะแปรผันตามกิจกรรมที่เกิดขึ้น ดังนั้นเบื้องต้นผู้จัดการด้านพลังงานควรพิจารณาถึงประเด็นสำคัญต่างๆ ต่อไปนี้ก่อนการดำเนินการปรับปรุง

- พลังงานถูกใช้ไปในบริเวณใดบ้าง
- พลังงานถูกใช้ไปเมื่อไร
- เหตุใดจึงมีการใช้พลังงาน
- พลังงานถูกใช้ไปในปริมาณเท่าใด

ข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการศึกษาตามหัวข้อต่างๆ ข้างต้น จะช่วยให้ผู้จัดการด้านพลังงานเข้าใจถึงรูปแบบการใช้พลังงานในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และส่งผลทำให้การปรับปรุงต่างๆ เป็นไปอย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นด้วย

##### 2.1 พลังงานถูกใช้ไปในบริเวณใดบ้าง

เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปในอุตสาหกรรมโลหะส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นบนอุปกรณ์ทำความร้อน อุปกรณ์ขับเคลื่อน (พัดลม เครื่องอัดอากาศ) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการติดตั้งมิเตอร์ตรวจวัดการใช้พลังงานแยกจุดจึงเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพิจารณาว่าจุดใด บริเวณใด 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 หรือ Based Load ได้

ในกรณีที่มีช่วงเวลาที่ใช้พลังงานสูงผิดปกติ ผู้จัดการด้านพลังงานจำเป็นต้องเข้าไปศึกษาเพิ่มเติมว่าเกิดจากสาเหตุใดและสามารถปรับลดได้หรือไม่ ซึ่งส่วนใหญ่เราสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้โดยการจัดการการใช้งานเครื่องจักรตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ให้เป็นไปอย่างเหมาะสม

ส่วนภาระงานพื้นฐานนั้น จะบ่งบอกถึงความสูญเสียเปล่าของพลังงานที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี เนื่องจากภาระงานพื้นฐานจะเกิดขึ้นในขณะที่ไม่มีกิจกรรมการผลิต ดังนั้นหากพบว่าภาระงานพื้นฐานมีค่าสูง ก็ควรปรับลดให้มีค่าลดต่ำลง เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยอาจใช้การบันทึกข้อมูลระหว่างรอยต่อของช่วงเวลา หรือแผนภาพการใช้พลังงานตามเวลาในการศึกษา

### 2.3 เหตุใดจึงมีการใช้พลังงาน

พลังงานควรถูกใช้ไปเพื่อการผลิตเท่านั้น ดังนั้นหากพบว่ามีการใช้พลังงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิต และไม่จำเป็น หรือมีการใช้พลังงานในการผลิตที่สูญเสียเปล่า ผู้จัดการด้านพลังงานจำเป็นต้องหาสาเหตุของการใช้พลังงานเหล่านั้นให้จงได้ เพื่อที่จะศึกษา และหาทางตัดลดกิจกรรมเหล่านั้นลง อันจะเป็นผลทำให้ปริมาณการใช้พลังงานลดลงไปในที่สุด

สำหรับแนวทางที่ใช้ในการประเมินว่าเกิดความสูญเสียเปล่าของการใช้พลังงานหรือไม่นั้นอาจประเมินจากคำถาม ตัวอย่างต่อไปนี้

- มีการเดินเครื่องจักรเปล่าหรือไม่
- มีการใช้อุปกรณ์ความร้อนโดยไม่จำเป็นหรือไม่
- ระบบอากาศอัดมีการรั่วไหลหรือไม่

### 2.4 พลังงานถูกใช้ไปในปริมาณเท่าใด

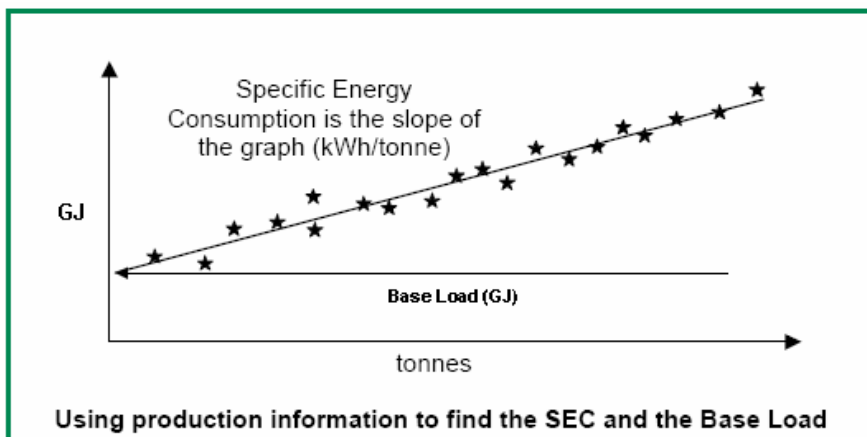
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานนั้นมิได้ขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้เพียงอย่างเดียว หากแต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น

- ค่า Maximum Power Requirement
- ค่า Maximum Demand
- ค่า Power Factor
- ค่า Load Factor

ดังนั้นผู้จัดการด้านพลังงานจำเป็นต้องศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยทั้งหลายข้างต้นด้วย

### 2.5 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ในการชี้วัดความสามารถด้านพลังงานของกระบวนการนั้น เรานิยมใช้ค่า SEC (Specific Energy Consumption) เป็นตัวชี้วัด ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถหาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้า และปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งๆ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ที่ใช้ในการหาค่า SEC

### 3. การเพิ่มความตระหนักในการดำเนินการด้านพลังงาน

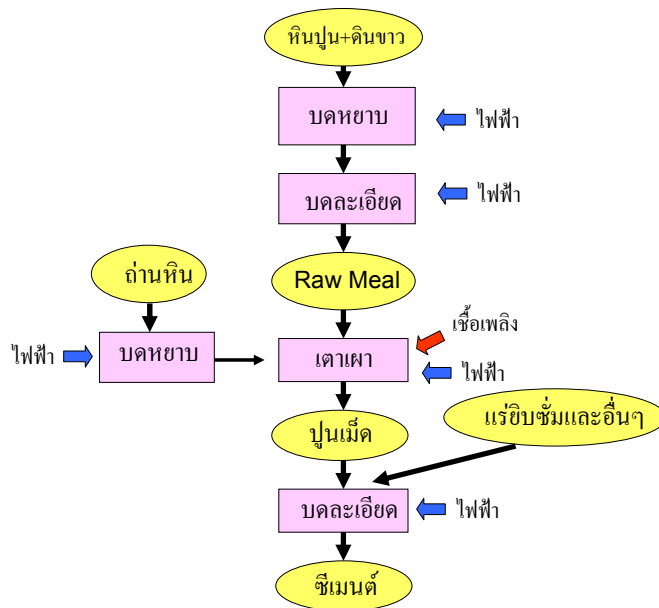
นโยบายที่ชัดเจนของผู้บริหารเกี่ยวกับการดำเนินการด้านพลังงาน ถือเป็นส่วนสำคัญในการผลักดันให้โครงการเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานต่างๆ สามารถดำเนินการไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเบื้องต้นผู้บริหารระดับสูงจึงควรกำหนดให้มีนโยบายด้านพลังงานที่ชัดเจน ตลอดจนการกำหนดพันธกิจให้ผูกมัดกับเรื่องดังกล่าวด้วย

นโยบายพลังงานที่กำหนดขึ้นโดยผู้บริหารระดับสูงนั้นต้องระบุถึงหน้าที่ และความรับผิดชอบของผู้จัดการด้านพลังงานที่มีต่อโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพต่างๆ ตลอดจนการระบุรูปแบบของการติดต่อประสานงานเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาปรับปรุงด้วย

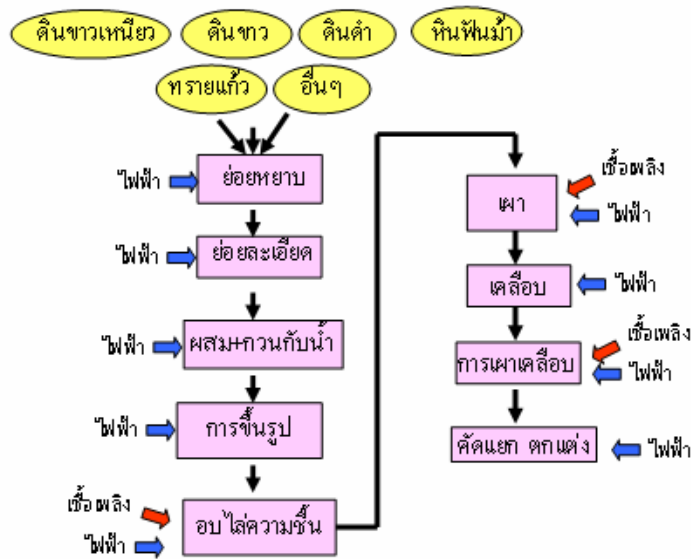
### 4. การสำรวจการใช้พลังงานขององค์กรเพื่อหาโอกาสในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

การสำรวจการใช้พลังงานเป็นการตรวจตราการใช้พลังงานตามจุดต่างๆ ว่ามีความสูญเสียเกิดขึ้นหรือไม่ ซึ่งการสำรวจนี้สามารถดำเนินการได้โดยการเดินตรวจตราไปตามจุด หรือแหล่งที่มีการใช้พลังงานต่างๆ ในองค์กร

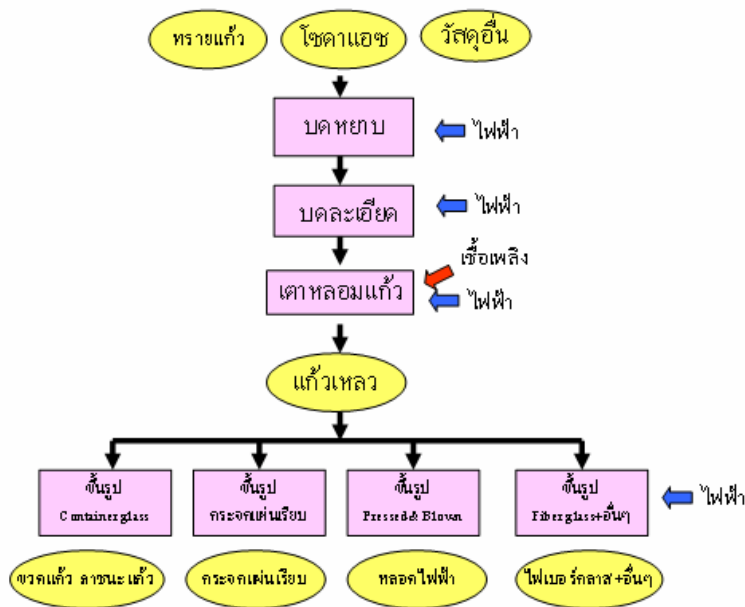
ทั้งนี้การสำรวจการใช้พลังงานในองค์กรอาจดำเนินการควบคู่ไปกับการวิเคราะห์กระบวนการผลิต หรืออาจใช้แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการ การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ อุตสาหกรรมเซรามิก และอุตสาหกรรมแก้วและกระจกแสดงในรูปที่ 2 รูปที่ 3 และ รูปที่ 4 ตามลำดับ เป็นแนวทางในการสำรวจการใช้พลังงานในองค์กรก็เป็นได้



รูปที่ 2 แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการผลิต และการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์



รูปที่ 3 แผนผังความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการ และการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตจานชาม เครื่องประดับ เซรามิค แบบเคลือบ



รูปที่ 4 แผนผังแหล่งการใช้พลังงาน (Energy Footprints) ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก

#### 4.1 การสำรวจการใช้พลังงานในองค์กร

เราสามารถเริ่มต้นการสำรวจได้โดยการเดินไปรอบๆ โรงงานในช่วงเวลาการทำงานปกติโดยไม่มีความจำเป็นต้องประกาศเตือน และหากโรงงานไม่มีการผลิตในรอบนี้ก็ควรจะทำการสำรวจในช่วงเวลาดังกล่าวด้วยเช่นกัน

#### 4.2 ประเด็นที่ต้องคำนึงถึงในการสำรวจการใช้พลังงานในองค์กร

ประเด็นต่างๆ ต่อไปนี้ถือเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการสำรวจการใช้พลังงานในองค์กรเพื่อให้มาซึ่งผลสำรวจที่เป็นประโยชน์มากที่สุด

- เราต้องคำนึงถึงพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดก่อน โดยอาจพิจารณาจากขนาดของเครื่องจักรมอเตอร์ หรืออุปกรณ์ทำความร้อน ซึ่งรวมไปถึงระยะเวลาการเดินทางเครื่องจักรด้วย มีพื้นที่ใดที่ใช้พลังงานโดยไม่มีการผลิตหรือไม่
- เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ มีฉนวนกันความร้อนหรือไม่ และฉนวนเหล่านั้นยังทำงานเป็นปกติหรือไม่
- ในกรณีที่ไม่มีความฉนวนกันความร้อน เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- เครื่องจักร อุปกรณ์ ตลอดจนระบบสนับสนุนการผลิตต่างๆ เช่น ระบบทำความเย็น ระบบอัดอากาศ และปั๊ม ทำงานขณะที่ไม่ได้ทำการผลิตหรือไม่ และเพราะสาเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
- มอเตอร์ที่ใช้มีขนาดเหมาะสมหรือไม่ ตลอดจนมีประสิทธิภาพการทำงานเป็นอย่างไร
- มีคู่มือที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรหรือไม่
- มีเสียงการรั่วไหลของอากาศ หรือไอน้ำหรือไม่ ทั้งนี้เราจำเป็นต้องตระหนักไว้เสมอว่า การรั่วไหลของอากาศ หรือไอน้ำนั้น เป็นความสูญเสียทั้งในรูปแบบของพลังงาน และต้นทุนที่ต้องเสียไป
- ระบบอัดอากาศที่ใช้มีขนาดเหมาะสมหรือไม่ (ความดันของอากาศอัด ขนาดของมอเตอร์ และอื่นๆ)
- ระบบแสงสว่างมีความเหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ (ความส่องสว่าง ประเภทของหลอดไฟ และอื่นๆ)
- วิธีการที่ดำเนินอยู่ในปัจจุบันทำให้เกิดการสูญเสียของพลังงานหรือไม่ และวิธีการดังกล่าวสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้หรือไม่
- มีการซ่อมบำรุงระบบต่างๆ หรือไม่

#### 4.3 เปลี่ยนผลสำรวจให้อยู่ในรูปแบบของมาตรการการประหยัดพลังงาน

การสำรวจจะสูญเสียไปหากไม่มีการแก้ไขปัญหาที่ตรวจพบ ดังนั้นเราจำเป็นต้องหามาตรการที่จำเป็นต่างๆ มาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยอาจมอบหมายให้ผู้จัดการด้านพลังงานเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดทำรายงานเพื่อนำเสนอผลการสำรวจ ตลอดจนมาตรการที่จำเป็นต่างๆ ต่อกรรมการผู้จัดการ หรือผู้อำนวยการการผลิตเพื่อพิจารณาดำเนินการต่อไป

### 5. การบำรุงรักษาและการใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 5.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

พลังงานประมาณ 1 ใน 5 ของพลังงานทั้งหมดในโรงงานอุตสาหกรรมมอลโหะใช้ไปกับมอเตอร์ไฟฟ้า แต่เนื่องจากมอเตอร์นั้นเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรเกือบทุกประเภทในโรงงานอุตสาหกรรมมอลโหะ ทำให้การปรับปรุงมอเตอร์มักถูกมองข้ามไป แต่อย่างไรก็ตามเราพบว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของการเดินมอเตอร์ 1,000 ชั่วโมงอาจมีค่าสูงกว่าราคาของเครื่องจักรบางตัวเสียอีก ดังนั้นการเลือกซื้อ และใช้มอเตอร์ให้เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

### 5.1.1 แนวทางการจัดการมอเตอร์ไฟฟ้า

ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่า ต้นทุนในการเดินมอเตอร์นั้นมีค่าค่อนข้างสูง ดังนั้นเราจึงควรให้ความสำคัญกับมอเตอร์โดย

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

### 5.1.2 ขนาดของมอเตอร์

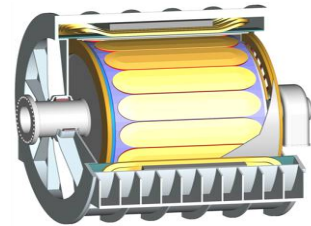
มอเตอร์จะทำงานได้ดีก็ต่อเมื่อขนาดของภาระงานมีความเหมาะสมกับกำลังของมอเตอร์นั้นๆ (Rated Capacity) ดังนั้นการใช้เครื่องจักรที่มีขนาดมอเตอร์เกินความต้องการจะทำให้เราไม่สามารถเดินเครื่องจักรได้เต็มประสิทธิภาพ (อย่างไรก็ตาม เราสามารถเดินมอเตอร์เกินกำลังได้ชั่วคราว แต่หลังจากนั้นจะต้องเดินมอเตอร์ที่ภาระงานต่ำเพื่อทำให้มอเตอร์เย็นลง)

นอกจากมอเตอร์แล้ว อุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์ก็ไม่ควรมีกำลังมากกว่ากำลังในขณะใช้งาน ด้วยเหตุผลในทำนองเดียวกัน

ทั้งนี้เราอาจติดตั้งอุปกรณ์ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ (VSD) เพิ่มเติม เพื่อให้มอเตอร์นั้นทำงานตามภาระงานที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานลงไปได้ หรืออาจปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านมอเตอร์ในการเปลี่ยน หรือปรับปรุงมอเตอร์ และระบบอุปกรณ์ขับเคลื่อน

### 5.1.3 มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

โดยทั่วไปแล้วมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่า 3% ของมอเตอร์ปกติ ค่า 3% ดังกล่าวนี้นี้ในระยะยาวจะทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้ในปริมาณมาก ดังนั้นในการเลือกซื้อมอเตอร์จึงควรพิจารณามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงก่อนทุกครั้ง



### 5.1.4 อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ (VSD)

ความเร็วรอบของมอเตอร์ AC นั้นขึ้นอยู่กับจำนวนขั้ว และความถี่ของกระแสไฟ ซึ่งส่งผลทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าภาระงานจะไม่คงที่ก็ตาม ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานเป็นจำนวนมาก

การเลือกใช้อุปกรณ์ปรับรอบความเร็วของมอเตอร์จะช่วยให้มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามภาระงานจริงที่เกิดขึ้น อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ ที่มีลักษณะงานแปรเปลี่ยนได้ เช่น เครื่องอัดอากาศ ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงไปในที่สุด

แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ภาระงานคงที่ การเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมถือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน

## 5.2 ระบบอัดอากาศ

อากาศอัดเป็นส่วนหนึ่งของระบบการผลิตซึ่งมีต้นทุนค่อนข้างสูง เช่นการใช้อากาศอัด 0.1 m<sup>3</sup>/s (fad.100 L/s) ที่อุตสาหกรรมโลหะใช้ทำงาน 8,760 ชม./ปี มูลค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 350,400 หน่วย/ปี หรือประมาณ 1,051,200 บาท/ปี (ราคา 3 บาท/kWh) ดังนั้นเราจึงไม่ควรใช้อากาศอัดอย่างสิ้นเปลือง และเนื่องจากอากาศอัดใช้พลังงานสูง ดังนั้นเราจำเป็นต้องลดความต้องการใช้ลง ในขณะที่สามารถใช้ได้ตามต้องการ

นอกจากการลดความต้องการใช้แล้ว เรายังต้องคำนึงถึงคุณภาพของอากาศอัดด้วย เนื่องจากการผลิตอากาศอัดที่มีคุณภาพสูง จะทำให้เกิดต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้นด้วย

ทั้งนี้เราสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ถึง 30% ด้วยการสร้างความตระหนักถึงคุณค่าของอากาศอัด และการตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศอัดในระบบอัดอากาศ

### 5.2.1 การลดความต้องการใช้

#### ◆ ลดการรั่วไหล

พลังงานที่สูญเสียไปส่วนหนึ่งมักเกิดจากการรั่วไหล ซึ่งการซ่อมบำรุงจะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปลงไปได้อย่างมาก ดังนั้นการสำรวจเพื่อค้นหาจุดที่มีการรั่วไหลเพื่อซ่อมแซม การลดจำนวนท่อส่งที่ไม่จำเป็น และการซ่อมบำรุงจึงถือเป็นสิ่งสำคัญที่ไม่ควรละเลย

#### ◆ ลดความต้องการใช้

อากาศอัดมักถูกใช้ไปในทางที่ผิด เพราะคนส่วนใหญ่มักคิดว่าอากาศอัดนั้นมีราคาถูก ดังนั้นเราจะต้องสร้างความตระหนักถึงคุณค่าของอากาศอัด งดการใช้อากาศอัดเพื่อการทำความเย็น ตลอดจนการใช้อากาศอัดในการเป่าทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ และถ้าหากเป็นไปได้ เราควรหาระบบสนับสนุนการผลิตอื่นที่ประหยัดพลังงานมากกว่าระบบอัดอากาศเข้ามาแทนที่ เช่นการใช้โบเวอร์เป่าลม

### 5.2.2 การใช้อากาศอัดให้เหมาะสม

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

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

### 5.3 ระบบแสงสว่าง

ถึงแม้ว่าระบบแสงสว่างจะเป็นเพียงส่วนหนึ่งของระบบสนับสนุนการผลิตที่ใช้พลังงานไม่สูงมากนัก แต่เราก็สามารถลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นในระบบดังกล่าวได้โดย

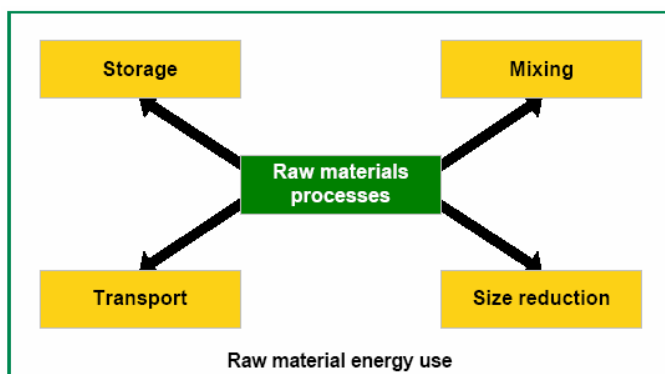
- ติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับ หรือติดตั้งตัวตั้งเวลาเปิด – ปิดระบบแสงสว่างในพื้นที่ที่มีการใช้แสงสว่างสูง และต่อเนื่อง
- ติดตั้งโคมสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการให้แสงสว่างของหลอดไฟ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวอาจช่วยลดจำนวนของหลอดไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบันด้วย
- ออกแบบระบบแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงซึ่งมีสาระสำคัญ ดังนี้
- บริษัทฯ ปรึกษาผู้ผลิตหลอดไฟ และระบบติดตั้งระบบแสงสว่างเกี่ยวกับการ ดำเนินการด้านแสงสว่าง
- เปลี่ยนหลอดไฟแบบใช้ไส้ (Incandescent) มาเป็นหลอดแบบคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent) ซึ่งแม้ว่าหลอดแบบคอมแพคฟลูออเรสเซนต์นั้นจะมีราคาแพงกว่า แต่เมื่อเทียบปริมาณ

- การใช้หลอดความดันสูงแบบโซเดียมแทนที่หลอดความถี่สูงแบบไตรฟอสฟอรัส T8 เมื่อไม่จำเป็นต้องใช้แสงที่มีคุณภาพสูง
- การใช้แสงธรรมชาติแทนการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟ

## 2. แนวทางการจัดการในภาพรวมของอุตสาหกรรมโลหะ ประกอบด้วย

### 1. การจัดการวัตถุดิบ

การจัดการวัตถุดิบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานมักถูกมองข้ามไป ทั้งที่จริงๆ แล้วเราสามารถลดการใช้พลังงาน และเพิ่มผลผลิตในกระบวนการดังกล่าวได้ผ่านทาง การดำเนินการต่างๆ ดังจะกล่าวต่อไป ในรายละเอียด



รูปที่ 5 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

ขนาดของวัตถุดิบนั้นถือเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์โลหะ ซึ่งโรงงานผู้ผลิตทุกแห่งจะมีการติดตั้งเครื่องบดเพื่อบดวัตถุดิบให้มีขนาดตามต้องการ เครื่องบดเหล่านี้มักมีขนาดใหญ่ และมีการใช้พลังงานค่อนข้างมาก ดังนั้นการเดินเครื่องบดเปล่าอาจก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมหาศาลได้

นอกจากการเดินเครื่องบดเปล่าแล้ว เราอาจทำการส่งชื่อวัตถุดิบให้มีขนาดเล็กลงเพื่อลดเวลาในการบด หรืออาจติดตั้งมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแทนที่มอเตอร์ที่ใช้อยู่เพื่อลดปริมาณพลังงานที่เครื่องบดใช้ก็เป็นได้

### 1.5 การผสม

การผสมวัตถุดิบนั้นอาจดำเนินการได้หลายรูปแบบ แต่โดยส่วนใหญ่วัตถุดิบหลังการผสมจะต้องผ่านกระบวนการไล่ความชื้นก่อนการเผาขึ้นรูปเสมอ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ถือเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานค่อนข้างมาก และส่วนใหญ่ก็สามารถปรับปรุงได้ด้วยการเปลี่ยนรูปแบบของการดำเนินการ

### 1.6 การขึ้นรูป

กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกนั้นก็ถือเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้พลังงาน และสามารถปรับปรุงได้ โดยการปรับปรุงกระบวนการ **Extrusion**

- ปรับตั้ง **Extruder** และมอเตอร์ให้ทำงานในอัตราที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ติดตั้งมอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมกับแรงบิดของเครื่อง

### 1.7 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์

ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ถือเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริโภคพลังงานโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมสาร **Additive** เพิ่มเติม ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

- สาร **Additive** ที่ไม่ติดไฟ แต่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิในการเผา เช่น **Pulverised Flue Ash (PFA)** หรือ **Glass Cullet**
- สาร **Additive** ที่ติดไฟได้ และใช้เสมือนหนึ่งเป็นแหล่งพลังงาน เช่น **Carbonaceous Additives**

ผู้ผลิตควรพิจารณาปรับเปลี่ยนส่วนผสม หรือสาร **Additive** ให้มีความเหมาะสม ถึงแม้ว่าการดำเนินการดังกล่าวจะก่อให้เกิดต้นทุนที่ค่อนข้างมาก แต่ผลประโยชน์ในระยะยาวทั้งในเชิงพลังงาน และการใช้วัตถุดิบจะช่วยให้องค์กรสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาไม่นาน

### 1.8 การลดปริมาณวัตถุดิบ

การลดปริมาณการใช้วัตถุดิบลง ในขณะที่ยังคงคุณภาพของสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ถือเป็นดำเนินการที่เป็นประโยชน์ทั้งในแง่ของต้นทุนการผลิต และการใช้พลังงานที่ลดลง ซึ่งสามารถดำเนินการได้ผ่านทางการศึกษาวิจัย และการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสม

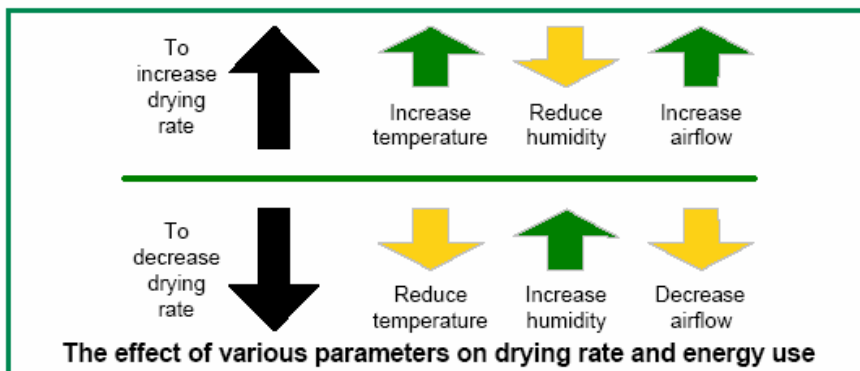
## 2. การจัดการในกระบวนการอบแห้ง (Drying)

### 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 6 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) ก็สามารถลดการใช้พลังงานลงได้อย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นกัน

การจัดตารางการผลิตโดยอ้างอิงจากรอบการอบแห้งก็ถือเป็นอีกวิธีหนึ่งในการจัดการภาระงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น

### 2.2.2 การควบคุมการไหลเวียนของอากาศ

การควบคุมการไหลเวียนของอากาศในเครื่องอบแห้งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นต้องพิจารณา เนื่องจาก การไหลเวียนของอากาศส่งผลทั้งต่อคุณภาพของชิ้นงาน และการบริโภคพลังงาน เราจำเป็นต้องควบคุมอัตราการไหล และทิศทางการไหลของอากาศให้มีความเหมาะสมโดย

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

### 2.2.3 ผลกระทบเนื่องจากเตาเผา (Kiln)

การควบคุมเครื่องอบแห้งนั้นต้องพิจารณาในภาพรวม โดยไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเผา เนื่องจากกระบวนการเผาเป็นกระบวนการที่สำคัญ และมีการใช้พลังงานในปริมาณสูง

เราจำเป็นต้องออกแบบระบบการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพ โดยไม่ขัดขวางการทำงานของเตาเผา อีกทั้งยังต้องทำให้การเผาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วย

### 2.2.4 การใช้พลังงานความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการอื่น

พลังงานความร้อนส่วนเกินจากกระบวนการอื่นนั้นอาจนำกลับมาใช้ใหม่ในการอบแห้งได้ โดยส่วนใหญ่มักดำเนินการโดยใช้

- ระบบบีบความร้อน
- Recuperator
- ความร้อนช่วง 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 เนื่องจากวัสดุบางชนิดมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในภายหลังได้

### 2.4 การซ่อมบำรุง

พนักงานควรทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรให้มีสภาพดีอยู่เสมอ แต่ก็ไม่ควรปรับตั้งเครื่องจักรใหม่โดยไม่จำเป็น เนื่องจากการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่แต่ละครั้งนั้นจะก่อให้เกิดต้นทุนค่อนข้างมาก

## 3. การจัดการกระบวนการเผา (Firing)

พลังงานส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการเผาชิ้นงานเซรามิก เเผาเม็ดปูนและหลอมแก้ว ดังนั้นหากสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการเผา/หลอมให้ดีขึ้น ก็จะเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตในภาพรวม ทั้งในแง่ของพลังงานและต้นทุนการผลิตที่ลดต่ำลง

### 3.1 การปรับปรุงเตาเผา/หลอมให้เหมาะสม

เราสามารถปรับปรุงกระบวนการเผาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดย

- การใช้วัสดุใหม่ในการผลิต
- การลด Non – Payload Throughput ของเตาเผา/หลอม
- การเพิ่มระดับความเร็วในการเผาเพื่อให้ได้ผลผลิตมากขึ้น
- การนำความร้อนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศกลับมาใช้ใหม่
- การปรับตั้งระบบเผาใหม่ให้มีความเหมาะสม
- การควบคุมความดัน และอุณหภูมิของเตาให้เหมาะสม
- การตรวจติดตาม และซ่อมบำรุงเตาเผาอย่างสม่ำเสมอ

### 3.2 การนำความร้อนที่ปล่อยออกสู่บรรยากาศกลับมาใช้ใหม่

การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่นั้น จะดำเนินการได้ก็ต่อเมื่อเตาเผา/หลอมทั้งหลายทำงานในสภาพการณ์ที่เหมาะสมที่สุดแล้วเท่านั้น และไม่ควรวางแผนผลิตความร้อนส่วนเกินกลับไปใช้ใหม่ ความร้อนจะนำกลับไปใช้ใหม่ต้องเป็นความร้อนที่สูญเสียจริงๆ

จากการศึกษาพบว่าการนำความร้อนจากเตาเผาในช่วง **Cooling Zone** กลับไปใช้ใหม่ในช่วง **Pre Heat** นั้นสามารถทำได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานแต่อย่างใด

นอกจากนี้การออกแบบเตาเผา การใช้ **Hot Air Supply** และการใช้ **Self – Recuperative and Regenerative Burner** ก็สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนที่สูญเสียขึ้นได้ด้วย

### 3.3 คุณภาพของพลังงานในเตาเผา/หลอม

การควบคุมคุณภาพของพลังงานในเตาเผานั้นจะช่วยลดความร้อนที่ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังจะช่วยลดค่า **SEC** ของการผลิตลงไปได้ด้วยมีนัยสำคัญอีกด้วย

## 4. การจัดการการขึ้นรูป

กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แก้วและกระจกนั้นก็ถือเป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าสูงซึ่งสามารถปรับปรุงกระบวนการ ได้ โดยมีแนวทาง ดังนี้คือ

- ปรับมอเตอร์ให้ทำงานในอัตราที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- ติดตั้งมอเตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมกับแรงบิดของเครื่อง

## บทที่ 6 บทสรุป

กลุ่มอุตสาหกรรมโลหะที่ทำการศึกษารวมกันประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ แก้วและกระจก และเซรามิก เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีค่าความเข้มพลังงานสูงที่สุด อุตสาหกรรมโลหะโดยรวมใช้พลังงานความร้อนที่สัดส่วนมากกว่า 0.75 ของการใช้พลังงานรวม ปริมาณพลังงานที่อุตสาหกรรมโลหะใช้รวมคิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบ 4,689 ktoe ต่อปี (ปี พ.ศ. 2548) หรือเป็นร้อยละ 7.41 ของการใช้พลังงานของประเทศ ปริมาณผลผลิตรวมของอุตสาหกรรมของปีเท่ากับ 42.94 ล้านตัน สัดส่วนการผลิตของปูนซีเมนต์ 0.882 แก้วและกระจก 0.049 และเซรามิก 0.069 ความเข้มพลังงานของอุตสาหกรรมมีดังนี้ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ 4.04 GJ/ton แก้วและกระจก 10.88 GJ/ton และเซรามิก 7.52 GJ/ton โดยที่อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์มีสัดส่วนการผลิตสูงที่สุดของกลุ่มจึงมีผลให้อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ใช้พลังงานรวมเทียบเท่าน้ำมันดิบ 3,621 ktoe ต่อปี

การศึกษาโดยใช้ข้อมูลทั้งจากภายในและต่างประเทศเพื่อกำหนดดัชนีการใช้พลังงานอ้างอิง หรือ SEC Benchmark ของอุตสาหกรรมโลหะ และทดสอบกับโรงงานตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการจำนวน 30 แห่ง อุตสาหกรรมฯ อาจนำ SEC Benchmark ไปประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเอง เช่น เมื่อช่องห่างระหว่าง SEC (โรงงาน) กับ SEC Benchmark มีค่ามากแสดงว่าสมรรถนะการใช้พลังงานของโรงงานเองต่ำ มีศักยภาพอนุรักษ์พลังงานได้มาก การประเมินศักยภาพอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมโลหะโดยรวม (ตารางที่ 1) ให้ประเมินช่องห่างของ SEC ของโรงงานอุตสาหกรรมโลหะกับ SEC Benchmark แล้วนำมาคูณกับผลผลิต ซึ่งค่า SEC ได้จากโรงงานตัวอย่างที่เข้าร่วมโครงการ และจากโรงงานควบคุมอุตสาหกรรมโลหะอื่นที่ได้จากฐานข้อมูลกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 1 ศักยภาพอนุรักษ์พลังงานอุตสาหกรรมโลหะเมื่อปรับปรุงให้ SEC เท่ากับ SEC Benchmark

ประเภท	พลังงานปฐมภูมิ(1) GJ/ปี	พลังงานเทียบเท่า(2) ktoe/ปี	หมายเหตุ
ปูนซีเมนต์	34,196,564.00	1,123.90	สัดส่วนพลังงานความร้อน 0.79
แก้วและกระจก	6,848,204.99	162.11	สัดส่วนพลังงานความร้อน 0.73
เซรามิก	4,473,659.30	105.90	สัดส่วนพลังงานความร้อน 0.81

(1) การเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนใช้ Conversion Efficiency = 45 %

(2) 1 ktoe = 42,244.186 GJ

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน (ตารางที่ 1) ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์เป็นการเปลี่ยนเทคโนโลยีของอุปกรณ์เดิมให้เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่อนุรักษ์พลังงาน ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจกต้องการงานวิจัยและพัฒนาองค์ความรู้ของบุคลากรในโรงงานฯ เพื่อการใช้งานเตาหลอมอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อลด SEC ของการหลอมแก้วให้เท่ากับ SEC Benchmark เช่นการปรับลด Residence Time การปรับระยะเวลาทำงานของรีเอนเนอร์เรเตอร์ของเตาหลอมแก้ว และในอุตสาหกรรมเซรามิกคือการนำมาใช้ Modern Kiln แทนการใช้ Conventional Kiln

มาตรการอนุรักษ์พลังงานด้านการจัดการทั่วไปของอุตสาหกรรมโลหะที่ดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องเช่น มาตรการลดการรั่วไหลในระบบลมอัด มาตรการทั่วไปที่ต้องการการลงทุนในอุตสาหกรรมคือการนำความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์ ในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณมากให้นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก นำมาอุ่นเศษแก้วก่อนป้อนเข้าเตาหลอม และในอุตสาหกรรมเซรามิกนำมอุ่นอากาศก่อนป้อนเข้า Firing Section นอกจากนี้มาตรการที่อุตสาหกรรมใช้ร่วมกันคือนำความร้อนทิ้งมาผลิตน้ำเย็นโดยระบบ Absorption Chiller เพื่อใช้เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ หรือใช้แทนระบบปรับอากาศเดิม ตารางที่ 2 แสดงศักยภาพอนุรักษ์พลังงานทั่วไปของอุตสาหกรรม

นอกจากนั้นมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่พัฒนาสำหรับอนาคตหรือมาตรการเชิงลึกที่อยู่ระหว่างการทดลองใช้งานในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์คือเตาปูนแบบฟลูอิดไดซ์ที่อนุรักษ์พลังงาน 23% ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจกคือเตาหลอมแก้วแบบหัวพันไฟอยู่ใต้ถังหลอมแก้ว (Submerged Combustion Melter) อนุรักษ์ 20% และในอุตสาหกรรมเซรามิกคือเตาที่ใช้ระบบไมโครเวฟ (Gas-Assisted Microwave Firing System) อนุรักษ์ 39%

ตารางที่ 2 ศักยภาพอนุรักษ์พลังงานเมื่ออุตสาหกรรมอโลหะดำเนินการมาตรการทั่วไป

อุตสาหกรรม	มาตรการ	ผลการอนุรักษ์		พลังงานเทียบเท่า ktoe/yr
		GWh/yr	GJ/yr	
ปูนซีเมนต์	นำความร้อนทิ้งจากกระบวนการเผาปูนเม็ด มาผลิตพลังงานไฟฟ้า <sup>1</sup>	1,478.82 <sup>2</sup>		280.05
แก้วและกระจก	(1) นำความร้อนทิ้งจากเตาเผาอุณหภูมิสูง <sup>3</sup>	13.57	318,778.55	7.55
	(2) นำความร้อนทิ้งผลิตน้ำเย็นลดอุณหภูมิอากาศก่อนป้อนเข้าระบบฯ <sup>4</sup>			2.57
เซรามิก	นำอากาศร้อนทิ้งจาก Rapid Cooling ขึ้นงาน มาอุ่นอากาศก่อนเข้า Firing Section <sup>5</sup>		1,760,885.0	41.00

- กำลังไฟฟ้าที่ได้ 39.05 ton/cement 2. พลังงานไฟฟ้าของอุตสาหกรรมที่กำลังผลิต 37.87 ล้านตัน/ปี
- โรงงานผลิตกระจกแผ่น ขวดแก้ว เครื่องแก้วใช้ % เศษแก้ว 20, 75, และ 20 ตามลำดับ
- พลังงานใช้ที่ระบบลมอัดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ เช่น 110 kWh/ton สำหรับการผลิตขวดแก้ว ผลการประหยัด 7%
- ประหยัดพลังงานความร้อน 11.4%

### ประโยชน์จากการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

ประโยชน์ของการอนุรักษ์พลังงานที่มีต่ออุตสาหกรรมโดยตรง คือ การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง เช่น ในอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์มาตรการที่นำความร้อนทิ้งมาผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น โรงงานที่ดำเนินการจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ในกระบวนการผลิตลง 39.05 kWh/ton (ปูนซีเมนต์) ในอุตสาหกรรมแก้วและกระจกลดการใช้พลังงานความร้อนลง 0.29 GJ/ton (เศษแก้ว) โรงงานผลิตขวดแก้วที่ใช้เศษแก้ว 75% จะประหยัดพลังงานได้ 0.217 GJ/pull ton และเมื่อนำมาตรการผลิตน้ำเย็นเพื่อนำไปลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องอัดลง 7% โรงงานที่ผลิตขวดแก้วใช้พลังงาน 110 kWh/ton จะลดพลังงานได้ 7.7 kWh/pull ton

ประโยชน์ของการอนุรักษ์ที่มีต่อประเทศคือการลดการนำเข้าพลังงาน และประโยชน์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมคือลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก(CO<sub>2</sub>) ออกสู่บรรยากาศ ตารางที่ 3 คือปริมาณ CO<sub>2</sub> ที่ลดลงเนื่องจากปล่อยออกของอุตสาหกรรมอโลหะเมื่อดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

ประเภท	ปริมาณพลังงานที่อนุรักษ์		ปริมาณ CO <sub>2</sub> ที่ปล่อย ออกลดลง tC/ปี
	GWh/ปี	GJ/ปี	
มาตรการทั่วไป			
ปูนซีเมนต์: การนำความร้อนทิ้งผลิตไฟฟ้า <sup>1</sup>	1,478.82		191,462.82
แก้วและกระจก: การนำความร้อนทิ้งมาใช้ (1) อุณหภูมิสูงก่อนเข้าเตา <sup>2</sup> (2) ผลิตน้ำเย็นเพื่อใช้ลดอุณหภูมิอากาศก่อนป้อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	13.57	318,778.55	4,877.31
			1,756.91
เซรามิก: การนำความร้อนทิ้งมาใช้เพื่ออุ่นอากาศก่อนป้อนเข้า Firing Section		1,760,885.0	26,941.54

1: ปล่อยออก 129.47 gm C./kWh 2: เชื้อเพลิง NG ปล่อยออก CO<sub>2</sub> = 15.3 t. C/TJ (1 TJ = 10<sup>12</sup> J)



กรมพัฒนาพลังงานทดแทน  
และอนุรักษ์พลังงาน  
**กระทรวงพลังงาน**

สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

17 ถ.พระราม 1 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กทม. 10330

โทรศัพท์ 0-2226-2311 โทรสาร 0-2226-3943

[www.dede.go.th](http://www.dede.go.th) E-mail: [dedeoss@dede.go.th](mailto:dedeoss@dede.go.th)