หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

แนวทางการจัดการพลังงานของอุตสาหกรรมผลิตสายไฟฟ้า

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์สายไฟฟ้านั้นมีทั้งหมด 16 แห่งด้วยกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อน และเมื่อศึกษาโรงงานแต่ละแห่งแล้วจะพบว่า โรงงานอุตสาหกรรมประเภทนี้มีโครงสร้างการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากโรงงานแต่ละแห่งมีกรรมวิธีการผลิตและอุปกรณ์การผลิตที่คล้ายคลึงกัน ความแตกต่างของพลังงานที่ใช้อาจเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

1. ขนาดพื้นที่ของโรงงาน
2. กำลังการผลิต
3. ประสิทธิภาพของคนและเครื่องจักร
4. เทคนิคและเทคโนโลยีที่ใช้
5. ความรู้ทางด้านวิชาการ
6. นโยบายของระดับผู้บริหาร เกี่ยวกับการจัดการพลังงาน

ฯลฯ

เมื่อโรงงานแต่ละแห่งมีโครงสร้างการใช้พลังงานที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกทำการศึกษาโรงงานประเภทนี้หนึ่งแห่ง เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์และการวางแนวทางการจัดการพลังงาน สำหรับอุตสาหกรรมประเภทนี้หรืออุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีโครงสร้างการใช้พลังงานใกล้เคียงกัน ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงานนั้น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

การจัดการพลังงานทางด้านพลังงานความร้อน

จากการศึกษาในโรงงานตัวอย่าง มีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานความร้อนอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ

1. เตาหลอมอลูมิเนียม จำนวน 2 เตา
2. เตาหลอมทองแดง จำนวน 1 เตา
3. เตาเผาทองแดง จำนวน 1 เตา

สำหรับแนวทางในการจัดการพลังงานความร้อนนั้น ผู้วิจัยได้ศึกษาการใช้งานของเตาทั้ง 3 เตาด้วยกัน จากการศึกษาพบว่า การใช้งานของเตาแต่ละชนิดยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำมาก เห็นควรที่จะปรับปรุงการใช้งานของเตาแต่ละชนิดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การศึกษาการจัดการพลังงานในโรงงานตัวอย่างแห่งนี้ ได้เลือกทำการวิเคราะห์ในส่วนที่มีการสูญเสียพลังงานมากที่สุดเป็นเกณฑ์ในการศึกษา จะเห็นว่าแนวทางที่ปรับปรุงให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้นคือ การปรับอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันให้เหมาะสม การศึกษาการหุ้มฉนวนสำหรับการปรับอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันให้เหมาะสมนั้น พยายามปรับให้ใช้อากาศส่วนเกินต่ำที่สุด (Minimum Excess Air) ทำให้ได้อุณหภูมิเปลวไฟสูงที่สุด เพื่อให้ความร้อนถ่ายเทไปยังผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงได้ทางหนึ่ง ส่วนการหุ้มฉนวนนั้นได้ทำการศึกษาความหนาของฉนวนที่เหมาะสมทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สุด รายละเอียดต่าง ๆ มีดังนี้

<u>การวิเคราะห์เตาหลอมอลูมิเนียม</u>

1. <u>ข้อมูลทั่วไปและผลการวัด</u>

เชื้อเพลิงที่ใช้ : น้ำมันเตา เกรด C

ส่วนประกอบของเชื้อเพลิง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยมวลจะเป็นดังนี้

C	84.7%
H	11.7%
O	0.8%
N	0.4%
S	2.2%
น้ำ	0.2%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง	10280	kcal/kg
การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	235	kg/hr
เวลาที่ใช้ในการอุ่นเตา	2	hr
เวลาที่ใช้ในการหลอม	1	hr

ใช้อุณหภูมิ 25 °C เป็นอุณหภูมิเปรียบเทียบเมื่อป้อนเข้าสู่เตา

ใช้หัวเผาแบบฉีดฝอยด้วยความดันน้ำมัน

วัสดุ : อลูมิเนียม

อุณหภูมิที่ป้อนเข้า	25 °C
อุณหภูมิที่ทางออก	718 °C
อุณหภูมิอากาศภายนอก	25 °C
ความดันบรรยากาศ	760 mm Hg
อุณหภูมิอากาศที่ใช้สันดาป	25 °C

(ไม่มีการให้ความร้อนล่วงหน้าเพื่ออุ่นอากาศ)

2. <u>การคำนวณความร้อนเข้าและออก</u>

ก. ความร้อนเข้า

1) ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการสันดาป

$-Q_{11}$ = H_1 x ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง x เวลาในการหลอม

$-H_1$ = $H_h - 600\ (9h + w)$

$-H_1, H_h$ = ค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (kcal/kg เชื้อเพลิง)

$-h, w$ = น้ำหนัก (kg) ของไฮโดรเจนและน้ำในเชื้อเพลิง 1 kg

$-H_1$ = 10,280-600(9x0.117+0.002)

= 9650 kcal/kg

$-Q_{11}$ = 9650 kcal/kg x 235 kg/hr x 1 hr

= 2267750 kcal

2) ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิงใช้อุณหภูมิ 25 °C เป็นอุณหภูมิเปรียบเทียบเมื่อป้อนเข้าสู่เตา

$-Q_{12}$ = 0 เพราะไม่มีการอุ่นเชื้อเพลิงล่วงหน้า

3) ความร้อนสัมผัสของอากาศขอนป้อนเข้าสู่เตา

$-Q_{13}$ = 0 เพราะไม่มีการอุ่นอากาศล่วงหน้า

4) ความร้อนที่วัสดุอลูมิเนียมนำเข้ามา

$-Q_{14}$ = 0 เพราะไม่มีการอุ่นวัสดุล่วงหน้า

ข. ความร้อนออก

1) ความร้อนที่นำออกโดยวัสดุอลูมิเนียม

$-Q_{21}$ = 4000kg x 0.2221 kcal/kg'C (718-25)°C

= 615,661.2 kcal

2) ความร้อนที่นำออกโดยการแผ่รังสีทางผนังเตา

$-Q_{22}$ = 2470 kcal/m^2.hr x 1 hr x 19 m^2

= 246930 kcal

3) ความร้อนสัมผัสของก๊าซทิ้งและอื่น ๆ

$-Q_{23} = (Q_{11}+Q_{12}+Q_{13}+Q_{14}) - (Q_{21}+Q_{22})$

= 2,267,750 + 0 + 0 + 0) - (615,661.2 + 46930)

= 1,605,158.8 kcal

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางดุลย์ความร้อนของเตาอลูมิเนียม

ความร้อนเข้า			ความร้อนออก		
หัวข้อ	k cal	%	หัวข้อ	k cal	%
ความร้อนจากการสันดาปเชื้อเพลิง	2,267,750	100.0	ความร้อนที่วัสดุอลูมิเนียมนำออกไป	615,661.2	27.15
ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง	0	0			
ความร้อนสัมผัสของอากาศ	0	0	ความร้อนที่นำออกโดยการแผ่รังสีทางผนังเตา	46,930	2.07
ความร้อนที่วัสดุอลูมิเนียมนำเข้า	0	0	ความร้อนสัมผัสของก๊าซแห้งที่ทิ้ง	1,605,158.8	70.7
ความร้อนที่เก็บกลับคืนโดยอุปกรณ์ให้ความร้อนล่วงหน้า	0	0	ความร้อนที่สูญเสียจากการสันดาปไม่สมบูรณ์	0	0
			ความร้อนที่เก็บไว้กลับคืนโดยอุปกรณ์ให้ความร้อนล่วงหน้า	0	0
รวม	2,267,650	100		2,267,750	100

ประสิทธิภาพของเตาหลอม = (ปริมาณความร้อนของวัตถุรับความร้อนที่ทางออก - ปริมาณความร้อนของวัตถุรับความร้อนที่ทางเข้า/ผลรวมของความร้อนเข้า)

$$= \frac{615,661.2}{2,267,750}$$

= 27.15 %

การคำนวณผลการประหยัดพลังงานด้านเชื้อเพลิงเตาหลอมอลูมิเนียม

- การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม (เตา A)
- น้ำมันเตาที่ใช้ทั้ง 2 เตา เฉลี่ยแล้วประมาณ = 600,000 L/yr

หรือ = 631,579 kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าความร้อนน้ำมันเตา (HL) = 10,343 kcal/kg

ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมัน = 0.95

ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้เฉลี่ย (เตา A) = 9.2%

ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Ao) = $\frac{0.85\ HL}{1000} + 2$ Nm^3/kg เชื้อเพลิง

= 10.79 Nm^3/kg เชื้อเพลิง

ปริมาณแก๊สเสียทางทฤษฎี (Go) = $\frac{1.11\ HL}{1000}$

= 11.48 Nm^3/kg

ปริมาณแก๊สจริง (G) = Go + (M-1) Ao

เมื่ออัตราส่วนของอากาศ (M) = $\frac{21}{21-O_2}$

ในกรณีที่สามารถลด O_2 จาก 9.2% เหลือ 5%

นั่นคือ $M_1 = \frac{21}{21-9.2} = G_1$ = 11.48 + (1.77-1)10.79 Nm^3/kg

= 19.78 Nm^3/kg

$M_2 = \frac{21}{21-5} = G_2$ = 11.48 + (1.31-1)10.79 Nm^3/kg

= 14.82 Nm^3/kg

ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง = $G_1 - G_2$

= 4.96 Nm^3/kg

∴ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ลดลง = ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง × ค่าความร้อนจำเพาะ × อุณหภูมิแก๊ส

= 4.96 × 315,789.5 × 0.34 × 600

= 319,528,447.7 kcal/l

ค่าความร้อนน้ำมันเตา 1 ลิตร = 8,200 kcal

= $\frac{319,528,447.7}{8,200}$

= 38,966.88

= 38,966 × 280

= 109,104.8 B/yr

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ (เตา B) = 315,789.5 kg/hr

ค่าความร้อนน้ำมันเตา (HL) = 10,343 kcal/kg

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน = 0.95

ปริมาณออกซิเจนที่วัดได้เฉลี่ย (เตา B) = 10.45 %

ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Ao) = $\frac{0.85\ HL}{1000} + 2$ Nm^3/kg เชื้อเพลิง

= 10.79 Nm^3/kg เชื้อเพลิง

ปริมาณแก๊สเสียทางทฤษฎี (Go) = $\frac{1.11\ HL}{1000}$

= 11.48

ปริมาณแก๊สเสียจริง (G) = Go + (M-1) Ao

เมื่ออัตราส่วนของอากาศ (M) = $\frac{21}{21-O_2}$

ในกรณีที่สามารถลด O_2 จาก 10.45% เหลือ 5%

นั่นคือ $M_1 = \frac{21}{21-10.45} = G_1$ = 11.48 + (1.99-1)10.79 Nm^3/kg

= 22.162

$M_2 = \frac{21}{21-5} = G_2$ = 11.48 + (1.31-1)10.79 Nm^3/kg

= 14.824 Nm^3/kg

ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง = $G_1 - G_2$

= 7.338 Nm^3/kg

∴ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ลดลง = ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง × ค่าความร้อนจำเพาะ × อุณหภูมิแก๊ส

= 7.338 x 315,789.5 x 0.34 x 600

= 472,721,723 kcal/l

= $\frac{472,721,723}{8,200}$

= 57,649 L/yr

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 57,649 × 280

= 161,417.20 B/yr

∴ ค่าพลังงานที่ประหยัดได้ = 109,104.80 + 161,417.20

= 270,522 B/yr

การวิเคราะห์เตาหลอมทองแดง

1. หัวข้อและผลการวัด

เชื้อเพลิงที่ใช้ น้ำมันดีเซล

ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง 10,750 kcal/kg

การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 100 kg/hr

เวลาที่ใช้ในการหลอม 5 hr

เวลาที่ใช้ในการอุ่นเตา 2 hr

อุณหภูมิของเชื้อเพลิงที่ป้อน 25 °C (ไม่มีการให้ความร้อนล่วงหน้าเพื่ออุ่นเชื้อเพลิง)

ใช้หัวเผาแบบฉีดฝอยด้วยความดันน้ำมัน

วัสดุ : ทองแดง

อุณหภูมิป้อนเข้า 25 °C (ไม่มีการให้ความร้อนล่วงหน้าเพื่ออุ่นวัสดุ)

อุณหภูมิที่ทางออก 1200 °C

อุณหภูมิอากาศภายนอก 25 °C

ความดันบรรยากาศ 760 mm Hg

อุณหภูมิที่ใช้สันดาป 25 °C (ไม่มีการอุ่นอากาศที่ใช้สันดาป)

ความร้อนที่รั่วออกทางผนังเตาจากการตรวจวัดด้วย Heat Flux meter

8450 $kcal/m^2/hr$

พื้นที่ผนังเตาทั้งหมด 14 m^2

2. การคำนวณความร้อนเข้าและออก

ก. ความร้อนเข้า

1) ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการสันดาป

Q_{11} = H_1 × ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง × เวลาในการหลอม

H_1 = H_h - 600(9h + W)

H_1, H_h = ค่าความร้อนต่ำและค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (kcal/kg เชื้อเพลิง)

h,W = มวลของไฮโดรเจน และน้ำในเชื้อเพลิง 1 kg

H_1 = 10,750 - 600(9x0.14+10)

= 9,994 kcal/kg

Q_{11} = 9,994 kcal/kg x 100 kg/hr x 5 hr

= 4,997,000 kcal/kg

2) ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิงใช้อุณหภูมิ 25 °C เป็นอุณหภูมิเปรียบเทียบเมื่อป้อนเข้าสู่เตา

Q_{12} = 0 เพราะไม่มีการอุ่นเชื้อเพลิงล่วงหน้า

3) ความร้อนสัมผัสของอากาศขณะป้อนเข้าสู่เตา

Q_{13} = 0 เพราะไม่มีการอุ่นอากาศล่วงหน้า

4) ความร้อนที่วัสดุทองแดงนำเข้ามา

Q_{14} = 0 เพราะไม่มีการอุ่นวัสดุล่วงหน้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. ความร้อนออก

1) ความร้อนที่นำออกโดยวัสดุทองแดง

Q_{21} = 4500 kg x 0.092 kcal/kg°C x (1200-25)°C

= 486,450 kcal

2) ความร้อนที่สูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี

Q_{22} = อัตราการแผ่รังสีทางผนังเตา × พื้นที่ผนังเตา × เวลาในการหลอม

= 8350 kcal/m^2.hr x 14 m^2 x 5 hr

= 584,500 kcal

3) ความร้อนสัมผัสของก๊าซสันดาปที่ทิ้งและอื่น ๆ

Q_{23} = $(Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}) - (Q_{21} + Q_{22})$

= (4,997,000 + 0 + 0 + 0) - (486,450 + 584,500)

= 3,926,050 kcal

ดุลย์ความร้อนของเตาหลอมทองแดง

ความร้อนเข้า			ความร้อนออก		
หัวข้อ	kcal	%	หัวข้อ	kcal	%
ความร้อนจากการสันดาปเชื้อเพลิง	4,997,000	100	ความร้อนที่วัสดุทองแดงนำออกไป	486,450	9.7
ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง	0	0	ความร้อนที่นำออกโดยการแผ่รังสีทางผนังเตา	584,500	11.7
ความร้อนสัมผัสอากาศ	0	0	ความร้อนสัมผัสของแก๊สสันดาปแห้งที่ทิ้ง	3,926,050	78.6
ความร้อนที่วัสดุทองแดงนำเข้ามา	0	0	ความร้อนที่สูญเสียจากการสันดาปไม่สมบูรณ์	0	0
ความร้อนที่เก็บกลับคืนโดยอุปกรณ์ความร้อนล่วงหน้า	0	0	ความร้อนที่เก็บกลับคืนโดยอุปกรณ์ให้ความร้อนล่วงหน้า	0	0
รวม	4,997,000	100		4,997,000	100

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาหลอม $= \frac{\text{ความร้อนประสิทธิผล}}{\text{ความร้อนที่ให้เข้าไป}} \times 100\%$

$= \frac{486,450}{4,997,000} \times 100\%$

$= 9.7\%$

พิจารณาจากดุลย์ความร้อนของเตาหลอมทองแดงจะเห็นได้ว่าความร้อนที่รั่วออกไปกับก๊าซสันดาปและทางผนังเตาคิดเป็นร้อยละ 78.6 และ 11.7 ตามลำดับ การแก้ไขทำได้โดยการปรับอัตราส่วนของอากาศให้เหมาะสมและการหุ้มฉนวนความร้อน ดังแสดงวิธีคำนวณดังต่อไปนี้

เตาหลอมทองแดง

การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

น้ำมันดีเซลที่ใช้เฉลี่ยแล้วประมาณ = = 275,791 L/yr.

หรือ = 290,132.13 kg.

ค่าความร้อนน้ำมันดีเซล (HL) = 10,640 k cal/kg

ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมัน = 0.84

ปริมาณอ็อกซิเจนที่วัดได้เฉลี่ย = 12.1%

ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Ao) = $\frac{0.85\ HL}{1000} + 2$ Nm^3/kg เชื้อเพลิง

= 11.04 Nm^3/kg เชื้อเพลิง

ปริมาณแก๊สเสียทางทฤษฎี (Go) = $\frac{1.11}{1000}$ HL

= 11.81 Nm^3/kg

ปริมาณแก๊สเสียจริง (G) = Go + (M-1) Ao

เมื่ออัตราส่วนของอากาศ (M) = $\frac{21}{21 - O_2}$

ในกรณีที่สามารถลด O_2 จาก 12.1% เหลือ 5%

นั่นคือ $M_1 = \frac{21}{21-12.1} = G_1 =$ 11.81 + (2.35 - 1) 11.04 Nm^3/kg

= 26.71 Nm^3/kg

$M_2 = \frac{21}{21-5} = G_2 =$ 11.81 + (1.31 - 1) 11.04 Nm^3/kg

= 15.23 Nm^3/kg

ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง = $G_1 - G_2$

= 11.48 Nm^3/kg

∴ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ลดลง = ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง × ค่าความร้อนจำเพาะ × อุณหภูมิแก๊ส

= 11.48 × 290,132.13 × 0.34 × 620

= 702,115,112.5 kcal/l

ค่าความร้อนน้ำมันดีเซล 1 ลิตร = 9,371 kcal

= $\frac{702,115,112.5}{9,371}$

= 74,924.25 L/yr.

∴ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 457,037.92 B/yr.

การหาจำนวนชั้นของอิฐทนไฟที่ทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด สำหรับเตาหลอมทองแดง

ข้อมูลของอิฐทนไฟ

ขนาดของอิฐทนไฟ (กว้าง×ยาว×หนา) = 11.4 × 23 × 7.3 cm.

ราคาอิฐทนไฟ = 13.60 B/piece

= 778 B/m^2

(ก่อโดยเอาส่วนหนาและส่วนยาวของอิฐเข้าหาผนังเตา)

ค่านำความร้อนของอิฐทนไฟ (Thermal Conductivity)

$K = 7.5$ kcal/m^2 . hr

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Combined heat transfer Coefficient)

$hf = 0.85$ kcal/m^2 . hr c/m

การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียความร้อน

$$q = \frac{KA\ (Ts - Ta)}{l\ .\ k/hf}$$

q = อัตราการสูญเสียความร้อน kcal/hr

k = ค่านำความร้อนของอิฐทนไฟ kcal/m^2-hr

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A = พื้นที่ผนังเตาที่มีการถ่ายเทความร้อน m^2

= 14 m^2

Ta = อุณหภูมิอากาศรอบเตา C = 25°C

Ts = อุณหภูมิของผนังเตาที่สัมผัสกับวัสดุ C = 1200°C

l = ความหนาของอิฐทนไฟ = 0.114 m

hf = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

อัตราการสูญเสียความร้อนสำหรับอิฐทนไฟ 1 ชั้น

$$q = \frac{7.5 \times 14 (1200 - 25)}{0.114 \times 7.5/0.85} = 122,653 \text{ kcal/hr}$$

อัตราการสูญเสียความร้อนสำหรับอิฐทนไฟ 2 ชั้น

$$q = \frac{7.5 \times 14(1200-25)}{0.228 \times 7.5/0.85} = 61,326 \text{ kcal/hr}$$

ค่าใช้จ่ายต่อปีที่เกิดจากการสูญเสียความร้อน

$$m = \frac{q \times N}{n \times H} \times p$$

N = จำนวนชั่วโมงทำงานต่อปีของการหลอมทองแดง

= 250 day/yr x 8 hr/day

= 2,000 hr/yr

p = ราคาน้ำมันดีเซล

= 6.10 B/Liter

= 7.4 B/kg

n = ประสิทธิภาพของเตาหลอมโดยสมมุติว่ามีการรั่วไหลทางผนังเตาเพียงทางเดียว

= 0.883

H = ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล

= 10,750 kcal/kg

ค่าใช้จ่ายจากการสูญเสียความร้อนสำหรับอิฐทนไฟ 1 ชั้น

$$m = \frac{122,653 \times 2,000}{0.883 \times 10,750} \times 7.4$$

= 191,236 B/yr.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าใช้จ่ายจากการสูญเสียความร้อนสำหรับอิฐทนไฟ 2 ชั้น

$$= \frac{61,326 \times 2,000}{0.883 \times 10,750} \times 7.4$$

$$= 95,618 \quad B/yr$$

เปรียบเทียบกับกรณีที่ยังไม่ได้เปลี่ยนแปลง

อัตราส่วนการใช้น้ำมันต่อน้ำหนักทองแดง $= \frac{8 \text{ hr} \times 100 \text{ kg/hr}}{4,500 \text{ kg ทองแดง}}$

$= 0.178$ kg/kg ทองแดง

$= 0.218$ L/kg ทองแดง

ปริมาณการหลอมต่อปี $= 4,500$ kg/day x 250 day/yr

$= 1,125,000$ kg/yr

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง $= 0.217$ L/kg x 1,125,000 kg/yr

$= 244,125$ L/yr

ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำมันดีเซล $= 244,125$ L/yr x 6.10 B/Liter

$= 1,489,162$ B/yr

ค่าใช้จ่ายต่อปีของการรั่วไหลของความร้อนทางผนังเตา

$= 1,489,162$ B/yr x 11.7%

$= 174,232$ B/yr

ดังนั้นหากเปรียบเทียบระหว่างก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงการใช้อิฐทนไฟจำนวน 2 ชั้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายของการสูญเสียความร้อนลงได้

$= 174,232 - 95,618$

$= 78,614$ B/yr

ค่าใช้จ่ายของการปรับปรุง = ค่าอิฐทนไฟ + ค่าแรง และวัสดุอื่น ๆ (50% ของค่าอิฐทนไฟ)

$= 778 \text{ B/m}^2 \times 14 \text{ m}^2 \times 2 \times 1.5$

$= 32,676$ Baths

ดังนั้นระยะเวลาในการคืนทุน $= \frac{32,676}{78,614}$ B

$= 0.415$ yr

$= 5$ months

เตาหลอมทองแดง

ความหนาฉนวน	ค่าใช้จ่ายจากการสูญเสียความร้อน	ค่าใช้จ่ายของการปรับปรุง	ค่าใช้จ่ายรวม
การหุ้มฉนวนหนา 1 ชั้น	191,236	16,338	207,574
การหุ้มฉนวนหน่า 2 ชั้น	95,618	32,678	128,296
การหุ้มฉนวนหนา 3 ชั้น	63,745	49,014	112,759
การหุ้มฉนวนหนา 4 ชั้น	47,809	65,352	113,161
การหุ้มฉนวนหนา 5 ชั้น	38,247	81,690	119,937
การหุ้มฉนวนหนา 6 ชั้น	31,872	98,028	129,900
การหุ้มฉนวนหนา 7 ชั้น	27,319	114,366	141,685

การวิเคราะห์เตาเผาทองแดง

1. ผลการวัด

เชื้อเพลิงที่ใช้ : น้ำมันเตาเกรด C

ปริมาณการเผาแท่งทองแดง = 174 piece/day

น้ำหนักของแท่งทองแดง = 115 - 120 kg/piece

ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง = 1,000 L/day

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง = 125 L/hr

= 105 kg/hr

เวลาในการอุ่นเตา = 2 hr

เวลาที่เตาทำงาน = 6 hr

อุณหภูมิเชื้อเพลิงที่ป้อน = 25 °C

(ไม่มีการให้ความร้อนล่วงหน้าเพื่ออุ่นเชื้อเพลิง)

วัสดุ : ทองแดงแท่ง

อุณหภูมิป้อนเข้า 25 °C

อุณหภูมิที่ทางออก 800 °C

อุณหภูมิอากาศภายนอก 25 ° C

ความดันบรรยากาศ 760 mmHg

อุณหภูมิอากาศที่ใช้สันดาป 25 °C (ไม่มีการให้ความร้อนล่วงหน้าเพื่ออุ่นอากาศ)

2. การคำนวณความร้อนเข้าและออก

ก. ความร้อนเข้า

กำหนดให้ Q_1 = ปริมาณความร้อนที่ถูกนำเข้าสู่เตา

Q_2 = ปริมาณความร้อนที่ถูกนำออกจากเตา

1) ปริมาณความร้อนที่เกิดจากการสันดาป

$$Q_{11} = 9,650 (k cal/kg) \times 105 (kg/hr) \times 6 (hr)$$

$$= 6,079,500 \quad k cal$$

2) ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิงใช้อุณหภูมิ 25 °C เป็นอุณหภูมิเปรียบเทียบเมื่อป้อนเข้าสู่เตา

$Q_{12} = 0$ เพราะไม่มีการอุ่นเชื้อเพลิง

3) ความร้อนสัมผัสของอากาศตอนป้อนเข้าสู่เตา

$Q_{13} = 0$ เพราะไม่มีการอุ่นอากาศล่วงหน้า

4) ความร้อนที่วัสดุทองแดงนำเข้ามา

$Q_{14} = 0$ เพราะไม่มีการอุ่นเชื้อเพลิงล่วงหน้า

ข. ความร้อนออก

1) ความร้อนที่นำออกโดยวัสดุทองแดง

$$Q_{22} = (174 \times 120) kg \times 0.092 (k cal/kg\ ^\circ C)(800-25)^\circ C$$

$$= 1,488,744 \quad k cal$$

2) ความร้อนที่สูญเสียไปเนื่องจากการแผ่รังสีทางผนังเตา

$$Q_{22} = 1,720 \text{ kcal/m}^2\text{.h} \times 6 \text{ hr} \times 63 \text{ m}^2$$

$$= 650,160 \text{ kcal}$$

3) ความร้อนสัมผัสของก๊าซสันดาปและอื่น ๆ

$$Q_{23} = (Q_{11} + Q_{12} + Q_{13} + Q_{14}) - (Q_{21} - Q_{22})$$

$$= (6,079,500+0+0+0)-(1,488,744 - 650,160)$$

$$= 3,940,596 \text{ kcal}$$

ดุลย์ความร้อนของเตาเผาแท่งทองแดง

ความร้อนเข้า			ความร้อนออก		
หัวข้อ	kcal	%	หัวข้อ	kcal	%
ความร้อนจากการสันดาปเชื้อเพลิง	6,079,500	100	ความร้อนที่วัสดุทองแดงนำออกไป	1,488,744	24.5
ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง	0	0	ความร้อนที่สูญเสียโดยการแผ่รังสีทางผนังเตา	650,160	10.7
ความร้อนที่วัสดุทองแดงนำเข้ามา	0	0	ความร้อนสัมผัสของก๊าซสันดาปและอื่น ๆ	3,940,596	64.8
ความร้อนสัมผัสของอากาศ	0	0	ความร้อนที่เก็บกลับคืนโดยอุปกรณ์ให้ความร้อนล่วงหน้า	0	0
รวม	6,079,500			6,079,500	100

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาทองแดง $= \frac{\text{ความร้อนประสิทธิผล}}{\text{ความร้อนที่ให้เข้าไป}} \times 100$

$$= \frac{1,488,744}{6,079,500} \times 100$$

$$= 24.5$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาจากดุลย์ความร้อนจะเห็นได้ว่าความร้อนที่รั่วออกไปกับก๊าซสันดาปและทางผนังเตา คิดเป็นร้อยละ 64.8 และ 10.7 ตามลำดับ การแก้ไขทำได้โดยการปรับอัตราส่วนของอากาศให้เหมาะสมที่สุด และการหุ้มฉนวน ดังแสดงวิธีคำนวณดังต่อไปนี้

<u>เตาเผาทองแดง</u>

การปรับอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงให้เหมาะสม

น้ำมันเตาที่ใช้ เฉลี่ยแล้วประมาณ = 112,820 L/yr

หรือ = 118,757.90 kg

ค่าความร้อนน้ำมันเตา = 10,343 k cal/kg

ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมัน = 0.95

ปริมาณอ็อกซิเจนที่วัดได้เฉลี่ย = 12 %

ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Ao) = $\frac{0.85}{1,000} + 2$ Nm^3/kg เชื้อเพลิง

= 10.79 Nm^3/kg เชื้อเพลิง

ปริมาณแก๊สเสียทางทฤษฎี (Go) = $\frac{1.11}{1,000}$ HL

= 11.48 Nm^3/kg

ปริมาณแก๊สเสียจริง (G) = Go 1 (M-1) Ao

เมื่ออัตราส่วนของอากาศ (M) = $\frac{21}{21 - O_2}$

ในกรณีที่สามารถลด O_2 จาก 12% เหลือ 5%

นั่นคือ $M_1 = \frac{21}{21-12} = G_1$ = 11.48 + (2.33-1) 10.79 Nm^3/kg

= 25.83 Nm^3/kg

$M_2 = \frac{21}{21-5} = G_2$ = 11.48 + (1.31-1) 10.79 Nm^3/kg

= 14.82 Nm^3/kg

ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง = $G_1 - G_2$

= 11.01 Nm^3/kg

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

∴ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ลดลง = ปริมาณแก๊สเสียที่ลดลง × ค่าความร้อนจำเพาะ × อุณหภูมิแก๊ส

= 11.01 × 118,757.90 × 0.34 × 580

= 257,843,827.3 k cal/l

ค่าความร้อนน้ำมันเตา 1 ลิตร = 8,200 k cal

$= \frac{257,843,827.3}{8,200}$

= 31,444.37 L/yr

∴ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 31,444.37 × 2.80

= 88,044.24 B/yr

<u>การหาความหนาที่คุ้มค่าใช้จ่ายของฉนวนความร้อนสำหรับเตาเผาทองแดง</u>

เนื่องจากผนังเตาไม่ได้สัมผัสกับทองแดงโดยตรง ดังนั้น จึงได้รับความร้อนไม่มากนัก สามารถใช้อิฐฉนวนแทนอิฐทนไฟได้ ข้อมูลของอิฐฉนวน (Insulating brick)

ชนิดของอิฐฉนวน ไดอะโตเมเรียล เอิรท (Diatomaceaus earth)

ราคาอิฐฉนวน = 9.50 B/piece

= 362 B/m^2

(ก่อโดยเอาส่วนกว้างและส่วนยาวเข้าหาผนังเตา)

ค่านำความร้อน K = 7.5 $k cal/m^2.hr$

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน = 0.22 $k cal/m^2.hr.C/m$

รวม hf

อัตราส่วนการใช้น้ำมันต่อน้ำ = $\frac{8 \text{ hr} \times 125 \text{ L/hr}}{(174 \times 120) \text{ kg}}$

น้ำหนักทองแดง = 0.048 L/kg

ปริมาณทองแดงต่อปี = 174 piece/day x 120 kg/piece x 250 day/yr

= 5,220,000 kg/yr

ปริมาณการใช้น้ำมันต่อปี = 250,000 L/yr

ราคาน้ำมันเตาเกรด C = 2.80 B/Liter

ค่าใช้จ่ายของน้ำมันเตา = 2.80 B/Liter x 250,000 L/yr

เกรด C = 700,000 B/yr

ค่าใช้จ่ายต่อปีของการรั่วไหลของความร้อนทางผนังเตา

$$= 700,000 \text{ B/yr} \times 10.7\% \text{ B/yr}$$

$$= 74,900 \text{ B/yr}$$

จากสูตร $m = \frac{q \times N}{n \times H} \times P$

ดังนั้นอัตราการสูญเสียความร้อน $q = \frac{m \times n \times H}{N \times P}$

$n = 0.893$ (โดยสมมุติว่ามีการรั่วไหลทางผนังเตาเพียงทางเดียว)

H = ค่าความร้อนสูงของน้ำมันเตา

$= 10,300$ kcal/kg

$$q = \frac{749,000 \times 0.893 \times 10,300}{2,000 \times 2.8}$$

$= 123,021$ kcal/hr

คำนวณหาความหนาวิกฤตของอิฐฉนวน

จากสูตร $q = \frac{KA\ (Ts - Ta)}{l \times k/hf}$

$l = \frac{KA\ (Ts - Ta)}{q \times k/hf}$

Ts = อุณหภูมิของอิฐฉนวนด้านใน

$= 800\ ^{\circ}C$

Ta = อุณหภูมิบรรยากาศ

ดังนั้น $l = \frac{7.5 \times 63(800-25)}{123,021 \times 7.5/0.22}$

$= 0.087$ m

ความหนาของฉนวนที่ได้มากกว่า 1 ชั้น แต่น้อยกว่า 2 ชั้น ดังนั้นต้องเลือกใช้ความหนา 2 ชั้น

อัตราการสูญเสียความร้อนของฉนวนหนา 2 ชั้น

$$q = \frac{7.5 \times 63(800-25)}{2 \times 0.075 \times 75/0.22}$$

$= 71,610$ kcal/hr

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าใช้จ่ายของการสูญเสียความร้อนสำหรับการหุ้มฉนวน 2 ชั้น

$$m = \frac{71,600 \times 2,000}{0.893 \times 10,300} \times 2.80$$

$$= 43,592 \quad B/yr$$

ค่าใช้จ่ายลดลงหลังปรับปรุง = 74,900 - 43,592

$$= 31,307 \quad B/yr$$

ค่าใช้จ่ายของการปรับปรุง = ค่าอิฐฉนวน + ค่าแรงและวัสดุอุปกรณ์ (50% ของค่าอิฐฉนวน)

$$= 362 \ B/m^2 \times 63 \ m^2 \times 2 \times 1.5$$

$$= 64,418 \quad Baths$$

ดังนั้นระยะเวลาในการคืนทุน $= \frac{68,418 \ Baths}{31,307 \ B/yr}$

$$= 2.17 \quad yr$$

เตาเผาทองแดง

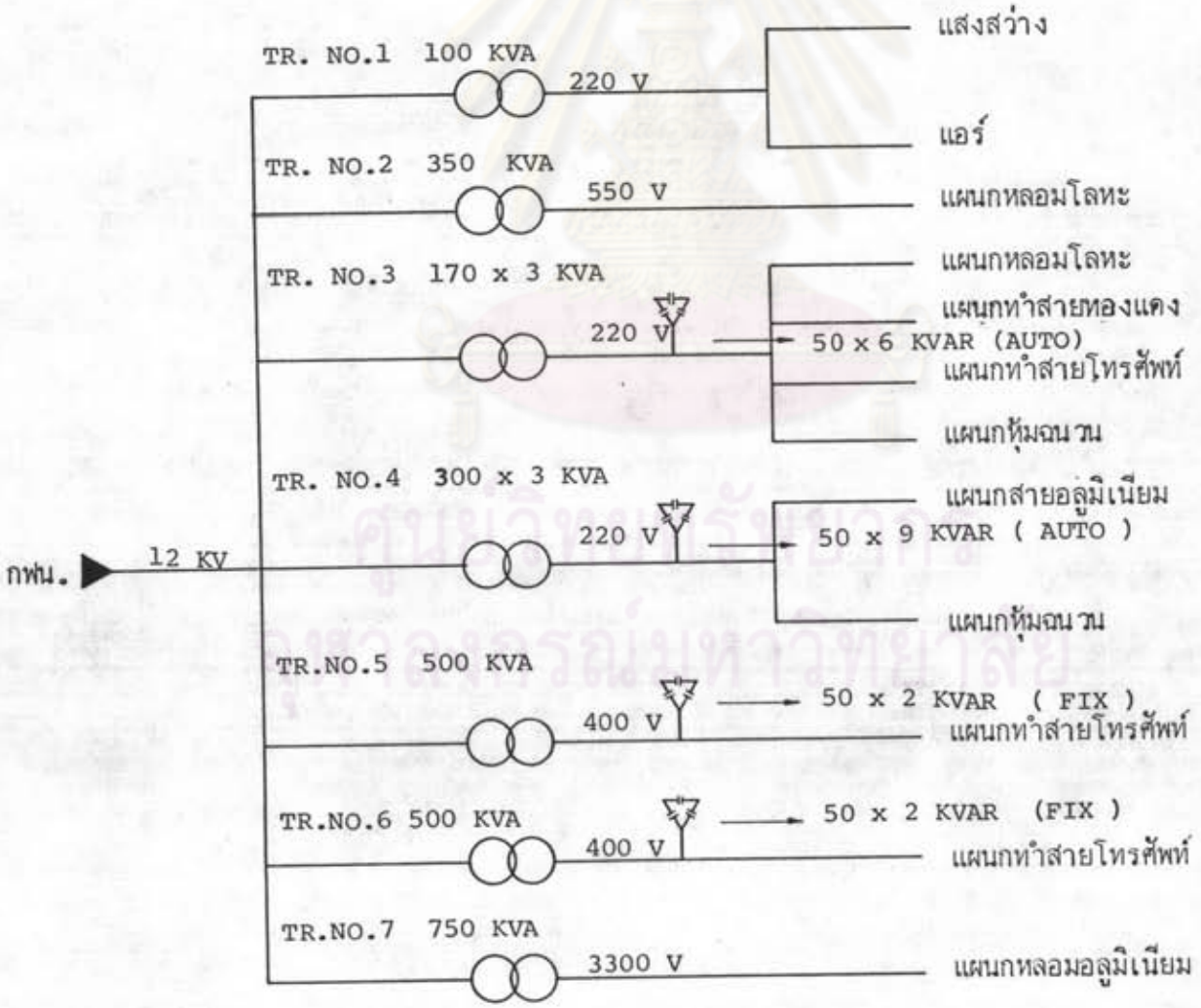
ความหนาฉนวน			ค่าใช้จ่ายจากการสูญเสียความร้อน	ค่าใช้จ่ายของการปรับปรุง	ค่าใช้จ่ายรวม
การหุ้มฉนวนหนา	1	ชั้น	87,197.5	34,209	121,406
การหุ้มฉนวนหนา	2	ชั้น	43,598.7	64,814	112,016
การหุ้มฉนวนหนา	3	ชั้น	29,065.8	102,627	131,692
การหุ้มฉนวนหนา	4	ชั้น	21,799.3	136,836	158,635
การหุ้มฉนวนหนา	5	ชั้น	17,439.5	171,045	188,484
การหุ้มฉนวนหนา	6	ชั้น	14,532.9	205,254	219,786
การหุ้มฉนวนหนา	7	ชั้น	12,456.8	239,463	251,919

การจัดการพลังงานทางด้านพลังงานไฟฟ้า

สถานภาพของการใช้หม้อแปลงไฟก่อนปรับปรุง โรงงานได้ซื้อไฟฟ้าแรงดัน 12 kV จากการไฟฟ้านครหลวง และลดแรงดันเป็น 380 V เพื่อจ่ายไฟฟ้าในโรงงานทั้งหมดด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า จำนวน 7 ชุด

ผลการสำรวจโรงงานมีหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งหมด 7 ตัว ทำงานเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2530 ดังนี้

TR. 1	ขนาด	100	KVA	โหลด	56	kW	Power factor	0.68
TR. 2	ขนาด	350	KVA	โหลด	150	kW	Power factor	0.5
TR. 3	ขนาด	170 x 3	KVA	โหลด	227	kW	Power factor	0.93
TR. 4	ขนาด	300 x 3	KVA	โหลด	145.5	kW	Power factor	0.92
TR. 5	ขนาด	500	KVA	โหลด	110	kW	Power factor	0.96
TR. 6	ขนาด	500	KVA	โหลด	64	kW	Power factor	0.92 (lead)
TR. 7	ขนาด	750	KVA	โหลด	-	kW	Power factor	-



รูปที่ 47 แผนภูมิแสดงการจัดระบบจ่ายไฟของหม้อแปลงไฟฟ้า

ตารางที่ 40 ข้อมูลทั่วไปของอุปกรณ์ต่าง ๆ

ลำดับที่	เครื่องจักร	จำนวน	อัตรากำลัง (kW)	โหลดจริง (kW)	V (Volts)	Ir (Amp)	Is (Amp)	It (Amp)	Cos θ	หมายเหตุ
1	หม้อแปลง 100 KVA	1	-	56	217	92	-	-	0.68	มอเตอร์ส่วนใหญ่
2	หม้อแปลง 350 KVA	1*	-	150	525	110	106	115	0.5	ใช้งานโหลดต่ำ
3	หม้อแปลง 170 × 3 KVA = 510 KVA	1	-	227	225	630	626	625	0.93	ทำให้ค่าเพาเวอร์
4	หม้อแปลง 300 × 3 KVA = 900 KVA	1	-	145.4	227	405	402	400	0.92	แฟคเตอร์ที่ตัว
5	หม้อแปลง 500 KVA No. 5	1	-	110	440	165	166	164	0.96	มอเตอร์ต่ำ
6	หม้อแปลง 500 KVA No. 6	1	-	64	409	100	98	90	0.92	
7	หม้อแปลง 750 KVA 330 V	1	-	-	-	-	-	-	-	
8	อุปกรณ์รีดอลูมิเนียม 10 ตัว B	1	110	46	228	223	227	230	0.51	
9	อุปกรณ์ดีเกลียว 61 เส้น	1	75	13	227	84	86	91	0.4	
10	อุปกรณ์ดีเกลียว 7 เส้น	1	37	10.1	226	50.6	51	-	0.51	
11	เครื่องหุ้ม 90 B	1	37	14.5	225	66.3	65	64	0.56	
12	เครื่องหุ้ม 70	1	22	5	225	45.1	41	44	0.3	
13	เครื่องดีเกลียว 8 + 8	1	75	5.2	400	26	25.3	29.4	0.3	
14	เครื่องหุ้ม	1	45	5.3	405	19.6	19.4	-	0.4	
15	เครื่องรีดทองแดง 12 หัว	1	110	37	220	185	194	195	0.5	
16	เครื่องรีดอลูมิเนียม Piope 121	1	93	50	525	110	106	105	0.5	
17	เครื่องรีดทองแดง 400 Hp 330 V	1	-	-	-	-	-	-	-	

ที่มา : จากข้อมูลสำรวจของผู้วิจัยเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2530

ตารางที่ 41 ราคา Capacitor ชุดควบคุมอัตโนมัติ และค่าติดตั้ง

ขนาด Capacitor (KVAR)	ชุด Auto Control (บาท)	ราคา Capacitor (บาท)	ราคาติดตั้ง (บาท)	รวม (บาท)
10	-	2,975	400	3,375
10 x 2	-	5,950	800	6,750
10 x 4	-	11,900	1,600	13,100
10 x 5	-	14,875	2,000	16,875
10 x 6	-	17,850	2,400	20,250
10 x 8	-	23,800	3,250	27,000
30	-	8,415	400	8,975
50	-	11,475	500	11,975
30 x 4	44,711	33,660	6,000	84,370
50 x 4	52,615	45,900	7,000	105,515
50 x 5	66,385	57,375	7,000	130,760
50 x 6	73,355	68,850	8,000	150,205

ที่มา : บริษัท ASEA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 42 ข้อมูลทางเทคนิคของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

KVA	Rate A Voltage (kV)	การสูญเสีย FE	การสูญเสีย CU	%FE	%CU	ประสิทธิภาพ	ราคา
50	22/0.4	210	1050	0.17	0.83	97.48	
100	22/0.4	340	1750	0.16	0.84	97.91	
160	22/0.4	480	2350	0.17	0.83	98.23	122,000
250	22/0.4	670	3252	0.17	0.83	98.43	151,700
315	22/0.4	900	3900	0.19	0.81	98.47	180,000
400	22/0.4	980	4600	0.18	0.82	98.60	200,000
500	22/0.4	1150	5500	0.17	0.83	98.67	235,000
630	22/0.4	1350	6500	0.17	0.83	98.75	278,000
800	22/0.4	1600	11000	0.13	0.87	98.43	320,000
1000	22/0.4	1900	13500	0.12	0.88	98.46	380,000
1250	22/0.4	2300	16400	0.12	0.88	98.50	488,000
1500	22/0.4	2800	19800	0.12	0.88	98.50	550,000
2000	22/0.4	3250	24000	0.12	0.88	98.63	680,000

ที่มา : บริษัท ศิริวัฒน์ จำกัด

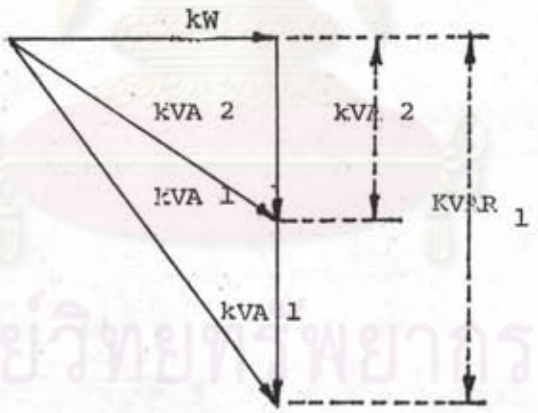
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการพิจารณาระบบการจ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้าตามรูป 47 และตารางที่ 40 สรุปได้ว่า

ภาระ (Load) ที่ต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าชุดที่ 1 และชุดที่ 2 (TR. 1 and TR. 2) ส่วนใหญ่เป็นไฟแสงสว่าง และมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของ TR. 1 และ TR. 2 เท่ากับ 0.68 และ 0.5 ตามลำดับ โดยค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่การไฟฟ้ากำหนด รายละเอียดการปรับปรุงระบบการจ่ายและการใช้พลังงานไฟฟ้าอาจทำได้ดังนี้

1. การแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ วิธีการที่ใช้แก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้สูงขึ้นคือการใช้คาปาซิเตอร์ต่อเข้าไปในระบบไฟฟ้า

จากข้อมูลที่ได้พบว่า หม้อแปลงไฟฟ้า TR. 1 และ TR. 2 มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ต่ำ ในการแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้สูงขึ้นจาก 0.68 และ 0.5 เป็น 0.95 จะทำได้โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์ รายละเอียดการคำนวณดังต่อไปนี้



รูปที่ 48 แผนภูมิเวคเตอร์ของการปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$$\text{Power factor (P.F.)} = \frac{kW}{KVA}$$

$$\tan \theta_1 = \frac{KVAR_1}{kW}$$

$$KVAR_1 = kW \tan \theta_1$$

$$KVAR_2 = kW \tan \theta_2$$

ขนาดของ Capacitor ที่ใช้แก้ P.F. ให้สูงขึ้น

ก. <u>หม้อแปลงไฟฟ้า TR_1 ขนาด 100 KVA</u>

ค่าที่วัดได้ Active Power = 56 kW

$\cos \theta_1 = 0.68$

$\therefore \quad \theta_1 = 47.16^\circ$

$\therefore$ Reactive Power ($KVAR_1$) = $56 \tan \theta_1$

= 60.39 KVAR

เมื่อแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้สูงขึ้นเป็น 0.95 จะได้ว่า

$\cos \theta_2 = 0.95$

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$\therefore$ Reactive Power ($KVAR_2$) = $56 \tan \theta_2$

= 18.40 KVAR

$\therefore$ ขนาด Capacitor ของ TR_1

= 60.39 - 18.40

= 41.99 KVAR

<u>การลงทุน</u> หม้อแปลงไฟฟ้า TR.1 ขนาด 100 KVA จะต้องติดตั้ง Capacitor ขนาด 40 KVAR จากตารางที่ 41 ราคา Capacitor และค่าติดตั้งจะได้ว่า

1) ราคา Capacitor

- 10 KVAR จำนวน 1 ตัว = 2,975 บาท
- 30 KVAR จำนวน 1 ตัว = 8,415 บาท

2) ราคาติดตั้ง = 800 บาท

$\therefore$ รวมเป็นเงิน = 12,190 บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. หม้อแปลงไฟฟ้า TR_2 ขนาด 350 KVA

ค่าที่วัดได้ Active Power = 150 kW

$\cos \theta_1 = 0.5$

$\theta_1 = 60^\circ$

$\therefore$ Reactive Power ($KVAR_1$) = $150 \tan \theta_1$

= 259.81 KVAR

เมื่อแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้สูงขึ้นเป็น 0.95 จะได้ว่า

$\cos \theta_2 = 0.95$

$\theta_2 = 18.19^\circ$

$\therefore$ Reactive Power ($KVAR_2$) = $150 \tan \theta_2$

= 49.29 KVAR

$\therefore$ ขนาด Capacitor ของ TR_2

= 259.81 - 49.29

= 210.52 KVAR

การลงทุน หม้อแปลงไฟฟ้า TR_2 ขนาด 350 KVA จะต้องติดตั้ง Capacitor ขนาด 210 KVAR

จากตารางที่ 41 ราคา Capacitor และค่าติดตั้งจะได้ว่า

1) ราคา Capacitor

- 50 KVA จำนวน 4 ตัว = 45,900 บาท
- 10 KVA จำนวน 1 ตัว = 2,975 บาท

2) ราคาค่าติดตั้งและราคาชุดควบคุม Capacitor ขนาด 50 KVAR 4 ตัว ให้ควบคุมโดยใช้ระบบอัตโนมัติ ส่วน Capacitor ที่เหลือขนาด 10 KVAR จำนวน 1 ตัว ให้ควบคุมโดยใช้ Manual ดังนั้น

- ราคาอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ = 52,615 บาท
- ราคาติดตั้ง = 7,000 บาท
- ราคาติดตั้ง (Manual) = 400 บาท

$\therefore$ รวมเป็นจำนวนเงิน = 108,890 บาท

2. ผลจากการแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าให้สูงขึ้น

ก. โรงงานจะได้รับเงินส่วนลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า

ข. ลดความสูญเสียในสายไฟฟ้า

ค. ลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า การปรับปรุงเพาเวอร์แฟคเตอร์ทำให้กระแสที่ผ่านหม้อแปลงลดลง ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าลดลงด้วย

ก. ผลจากการแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ของ TR_1 ให้สูงขึ้น เดิมโรงงานมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.68 ทำให้ต้องเสียค่าปรับให้แก่การไฟฟ้าดังนี้

ค่าปรับที่ต้องเสียให้กับการไฟฟ้า $= K \times \text{Max. kW} \times DC \times (1 - \frac{0.85}{0.68})$

เมื่อ $K = 1$

$P_{max} = 56$ kW

$DC = 95$ B/kW

$\text{Cos } \theta = 0.68$

แทนค่า $= 1 \times 56 \times 95 \times (1 - \frac{0.85}{0.68})$

∴ ค่าปรับที่ต้องเสีย 1,330 B/month

เมื่อแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่า 0.95 แล้ว จะทำให้โรงงานได้รับส่วนลดดังนี้

ส่วนลดที่ได้จากการไฟฟ้า $= 1 \times 56 \times 95 \times (\frac{1-0.85}{0.95})$

$= 560$ B/month

∴ โรงงานจะสามารถประหยัดเงินได้เป็นจำนวนเงิน

$= 1,330 + 560 = 1,890$ B/month

$= 22,680$ B/yr

Copper Loss ที่ลดลง

$= \text{KVA} \times (1\text{-eff}) \times \%\text{ copper loss} \times (\frac{I_a}{I_{rated}})^2 - (\frac{I_b}{I_{rated}})^2 \times$ ชม.การทำงานใน 1 ปี

ในที่นี้ I_a = กระแสก่อนการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$= \frac{kW \times 1,000}{\sqrt{3} \times V \times \cos \theta} = \frac{56 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 217 \times 0.68}$

$= 219.12$ amp

I_b = กระแสหลังปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$$= \frac{kW \times 1,000}{\sqrt{3} \times V \times \cos\theta} = \frac{56 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 217 \times 0.95}$$

$$= 156.84 \text{ amp.}$$

และ I_{rated} มีค่า = 262.43 amp.

และจากตารางที่ 42 จะได้

% Copper Loss = 0.84

Efficiency = 0.979

แทนค่า $= 100 \times (1-0.979) \times 0.84 \left[\left(\frac{219.12}{262.43}\right)^2 - \left(\frac{156.84}{262.43}\right)^2\right] \times 16 \times 24 \times 12$

$$= 2,763.69 \text{ kWh/yr}$$

$$= 3,399.33 \text{ B/yr}$$

และความสูญเสียในสายที่ลดลง

$$= 3 \times (Ia^2 - Ib^2) \times Rt[1 + \alpha(tW - 20)] \times L \times \text{ชม.การทำงาน/ปี}$$

เมื่อ R_t = ความต้านทานของสายไฟฟ้า

a = ค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานของสายไฟฟ้า

t_W = อุณหภูมิของสาย

L = ความยาวของสายต่อเฟส

ในที่นี้ R_t = ความต้านทานของสายอลูมิเนียมขนาด

$3 \times 300 \text{ mm}^2$ / เฟส

$= 3.25 \times 10^{-5} \ \Omega/m$

$= 0.0039 \ \Omega/^\circ C$ ที่ $20^\circ C$

$t_W = 35^\circ C$

$L = 15$ m

แทนค่า $= 3 \times (219.12^2 - 156.84^2) \times 3.25 \times 10^{-5} [1 + 0.0039 (35-20)]$

$\times 15 \times 4,608 \times 10^{-3}$

$= 167.03$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\therefore$ ความสูญเสียในสายลดลง = 167.03 kWh/yr

คิดเป็นเงินที่ประหยัด = 205.45 B/yr

ข. ผลจากการแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ของ TR_2 ให้สูงขึ้น เดิมโรงงานมีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.5 ทำให้ต้องเสียค่าปรับให้แก่ไฟฟ้าดังนี้

ค่าปรับที่ต้องเสียให้กับการไฟฟ้า = $K \times Max.kW \times DC \times (\frac{1-0.85}{\cos \theta})$

เมื่อ $K = 1$

$P_{max} = 150$ kW

$DC = 95$ B/kW

$\cos \theta = 0.5$

แทนค่า = $1 \times 150 \times 95 \times [\frac{1-0.85}{0.5}]$

$\therefore$ ค่าปรับที่ต้องเสีย = 9,975 B/month

เมื่อแก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่า 0.95 แล้ว จะทำให้โรงงานได้รับส่วนลดดังนี้

ส่วนลดที่ได้จากการไฟฟ้า = $1 \times 150 \times 95 \times [\frac{1-0.85}{0.95}]$

= 1,500 B/month

= 9,975 + 1,500 B/month

= 11,475 B/month

= 137,700 B/yr

Copper Loss ที่ลดลง

$= KVA \times (1-eff) \times \%\ copper\ loss\ [(\frac{I_a}{I_{rated}})^2 - (\frac{I_b}{I_{rated}})^2] \times$ ชม.การทำงานใน 1 ปี

I_a = กระแสก่อนการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$= \frac{kW \times 1,000}{\sqrt{3} \times V \times \cos \theta} = \frac{150 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 525 \times 0.5} = 329.92$ amp

I_b = กระแสหลังการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

$= \frac{kW \times 1,000}{\sqrt{3} \times V \times \cos \theta} = \frac{150 \times 1,000}{\sqrt{3} \times 525 \times 0.95} = 173.64$ amp

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และ I_{rated} มีค่า = 367.41 amp

และจากตารางที่ 42 จะได้

% Copper Loss = 0.81

ประสิทธิภาพ = 0.958

แทนค่า $= 350 \times (1-0.985) \times 0.81 \left[\left(\frac{329.92}{367.41}\right)^2 - \left(\frac{173.64}{367.41}\right)^2\right] \times 16 \times 24 \times 12$

Copper Loss = 11,424.19 kWh/yr

= 14,051.75 B/yr

และความสูญเสียในสายที่ลดลง

$= 3 \times (Ia^2 - Ib^2) \times R_t [1 + \alpha (t_w - 20)] \times L \times$

เมื่อ R_t = ความต้านทานของสายอลูมิเนียมขนาด 3×300 mm^2/เฟส

$= 3.25 \times 10^{-5}$ Ω/m

a = 0.0039 Ω/°C (ที่ 20°C)

t_w = 35°C

L = 15 เมตร

แทนค่า

$= 3 \times (329.92^2 - 173.64^2) \times 3.25 \times 10^{-5} [1 + 0.0039(35-20)] \times 15 \times 4608 \times 10^{-3}$

ความสูญเสียในสายลดลง = 561.37 kWh/yr

∴ คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 690.49 B/yr

3. ลดการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลง TR. No. 5 ขนาด 500 KVA

วัดได้ 64 kW เพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.92 (Lead)

โหลด 64 + j 27 = 70 KVA

Iron Loss = KVA x (1-eff) x % Iron Loss x จำนวน ชม. ใน 1 ปี

= 500 x (1-0.9867) x 0.1729 x 24 x 365

= 10,072 kWh/yr

Copper Loss = KVA x (1-eff.) x % Copper Loss x $[\frac{\text{KVA Actual}}{\text{KVA Rated}}]^2$ x จำนวน ชม. การทำงานใน 1 ปี

= 500 x (1-0.9867) x 0.8271 x $(\frac{70}{500})^2$ x 16 x 360

= 621 kWh/yr

ตัดหม้อแปลง TR. No. 6 ขนาด 500 KVA ออก นำโหลดมาเพิ่มที่หม้อแปลง TR. No. 5 ขนาด 500 KVA

∴ หม้อแปลง TR. No. 5 ขนาด 500 KVA มีโหลดเพิ่มขึ้นเป็น 174 - j 5.1 = 174.1 KVA

Copper Loss ที่เพิ่มขึ้นใน TR. No. 5

= KVA x (1-eff) x % Copper Loss x $[(\frac{\text{KVA Actual}}{\text{KVA Rated}})_2^2 - (\frac{\text{KVA Actual}}{\text{KVA Rated}})_1^2]$ x จำนวน ชม. การทำงานใน 1 ปี

= 500 x (1-0.9867) x 0.8271 x $[(\frac{174.1}{500})^2 - (\frac{104.1}{500})^2]$ x 16 x 360

= 217.08 kWh/yr

Loss ลดลง = Iron Loss + Copper Loss - Copper Loss ที่เพิ่มขึ้นใน TR. No. 5

= (10,072 + 621) - 217.68 kWh/yr

= 10475.32 kWh/yr

เป็นเงินที่ประหยัดได้ปีละ = 10475.31631 × 1.78 Bahts

= 18646.06303 Baths

หม้อแปลง TR. No.3 ขนาด 170 × 3 = 510 KVA

วัดได้ 227 kW เพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.93

โหลด 227 - j 90 = 244.1 KVA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Iron Loss = KVA x (1-eff.) x % Iron Loss x จำนวน ชม.ใน 1 ปี

= 510 x (1-0.9867) x 0.1729 x 24 x 365

= 10,273.6 kWh/yr

Copper Loss = KVA x (1-eff.) x % Copper Loss x $(\frac{\text{KVA Actual}}{\text{KVA Rated}})^2$

x จำนวน ชม. การทำงานใน 1 ปี

= 510 x (1-0.9867) x 0.8271 x $(\frac{244.1}{510})^2$ x 16 x 360

= 7402.8 kWh/yr

ตัดหม้อแปลง TR. No. 3 ขนาด 170 x 3 KVA ออก นำโหลดมาเพิ่มที่หม้อแปลง TR. No. 4 ขนาด 300 x 3 KVA

∴ หม้อแปลง TR. No. 4 ขนาด 300 x 3 KVA มีโหลดเพิ่มขึ้นเป็น 372.4 - j 151.8 = 402.1 KVA

Copper Loss ที่เพิ่มขึ้นใน TR

= KVA x (1-eff) x % Copper Loss x $[(\frac{\text{KVA Actual}}{\text{KVA Rated}})_2^2 - (\frac{\text{KVA Actual}}{\text{KVA Rated}})_1^2]$

x จำนวน ชม. การทำงานใน 1 ปี

= 900 x (1-0.9846) x 0.8739 x $[(\frac{402.1}{900})^2 - (\frac{158}{900})^2]$ x 16 x 360

= 11,776 kWh/yr

Loss ลดลง = Iron Loss + Copper Loss - Copper Loss ที่เพิ่มขึ้นใน TR. No. 4

= (10,273.6 + 7,402.8) - 11,776 kWh/yr

= 5,900.4 kWh/yr

เป็นเงินที่ประหยัดได้ปีละ = 5900.4 x 1.78 Baths

= 10,503 Baths

4. การเปลี่ยน Tap หม้อแปลงไฟฟ้า

ก. การลดความสูญเสียเนื่องจาก Iron Loss ในหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า TR. No. 5 ขนาด 500 kV ประสิทธิภาพ 98.67% วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 400 โวลท์ เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าให้เท่ากับแรงดันที่ต้องการใช้ของอุปกรณ์

Iron Loss ลดลง

$$= KVA \times (1-eff) \times \%\ Iron\ Loss \times \left[\left(\frac{V\ Actual}{V\ Rated}\right)^2 - 1\right] \times \text{จำนวน ชม. ใน 1 ปี}$$

$$= 500 \times (1-0.9867) \times 0.1729 \times \left[\left(\frac{400}{380}\right)^2 - 1\right] \times 24 \times 365$$

$$= 1,088 \quad kWh/yr$$

เป็นเงินที่ประหยัดได้ $= 1,088 \times 178 \quad B/yr$

$$= 1,937 \quad B/yr$$

ข. การลดความสูญเสียเนื่องจาก Iron Loss ในมอเตอร์

$$\text{โหลดเฉลี่ย} = \frac{\text{kWh/เดือน}}{\text{จำนวน ชม. การทำงาน/เดือน}}$$

$$= \frac{224,000}{480}$$

$$= 467 \quad kW$$

โหลดที่เป็นมอเตอร์ (คิดที่ 80% ของโหลดเฉลี่ย)

$$= 476 \times 0.8 \quad kW$$

$$= 373.6 \quad kW$$

$$Iron\ Loss = kW \times \left(\frac{1}{eff} - 1\right) \times \%\ Iron\ Loss \times \left[\left(\frac{V\ Actual}{V\ Rated}\right)^2 - 1\right] \times \text{จำนวน ชม. การทำงานใน 1 ปี}$$

$$= 373.6 \times \left(\frac{1}{0.87} - 1\right) \times 0.2 \times \left[\left(\frac{400}{300}\right)^2 - 1\right] \times 16 \times 360$$

$$= 5,746.7 \quad kWh/yr$$

เป็นเงินที่ประหยัดได้ $= 5,746.7 \times 1.78 \quad B/yr$

$$= 10,229 \quad B/yr$$

สรุปการเปลี่ยน Tap หม้อแปลงไฟฟ้ามีผลทำให้ประหยัดได้ดังนี้

1) ลด Iron Loss ในหม้อแปลงไฟฟ้าคิดเป็นเงิน = 1,937 B/yr

2) ลด Iron Loss ในมอเตอร์คิดเป็นเงิน = 10,229 B/yr

รวมเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 12,166 B/yr

5. การควบคุมค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ลักษณะของโรงงานเป็นโรงงานผลิตสายไฟฟ้าและสายโทรศัพท์ ซึ่งประกอบด้วยแผนกย่อย ๆ อยู่ 5 แผนก คือ

ก. แผนกรีดและเกลียวสายอลูมิเนียม

ข. แผนกหลอมอลูมิเนียมและหลอมทองแดง

ค. แผนกรีดและเกลียวสายทองแดง

ง. แผนกทำสายโทรศัพท์

จ. แผนกหุ้มสาย

จุดที่จะทำการควบคุม เนื่องจากประกอบด้วย 5 แผนก ในการตัดภาระจึงจำเป็นต้องกระจายการตัดภาระดังนี้

แผนกรีดและเกลียวสายอลูมิเนียม มีอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการรีดและเกลียวสาย เป็นแผนกซึ่งมีภาระรวมทั้งหมดประมาณ 525.38 kW ในจำนวนนี้มีภาระที่ตัดได้เป็นบางช่วง เช่น

- เครื่องรีด 6D ขนาด 86 kW
- เครื่องรีด 3D ขนาด 136 kW
- เครื่องรีดสายแบนขนาด 14.5 kW

สามารถตัดภาระออกได้บางช่วงเวลา ในกรณีที่ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดขึ้นสูง โดยเฉพาะในเวลาช่วง 10.00 - 12.00 และ 14.00 - 15.00

แผนกหลอมอลูมิเนียมและหลอมทองแดง สำหรับแผนกนี้ภาระส่วนใหญ่มีการใช้ต่อเนื่อง ในการตัดภาระจึงทำได้ยากเพราะจะทำให้กระบวนการผลิตเสียไป ฉะนั้นแผนกนี้จึงไม่มีการตัดภาระ

แผนกรีดและเกลียวสายทองแดง มีอุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการรีดและเกลียวสายทองแดง เป็นแผนกซึ่งมีภาระรวมทั้งหมดประมาณ 553.38 kW ในจำนวนนี้มีภาระที่ตัดได้เป็นบางช่วง เช่น

- เครื่องรีดทองแดง 121 kW
- เครื่องรีด LD 20 LB 58 kW
- เครื่องรีด LD 20 LA 58 kW

สามารถตัดภาระออกได้บางช่วงเวลา ในกรณีที่ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลา 10.00 - 12.00 และ 14.00 - 15.00

แผนกทำสายโทรศัพท์ สำหรับแผนกนี้ภาระส่วนใหญ่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่องในการตัดภาระจึงทำได้ยาก เพราะจะทำให้กระบวนการผลิตเสียไป ฉะนั้นแผนกนี้จึงไม่มีการตัดภาระ

แผนกหุ้มสาย สำหรับแผนกนี้ก็เช่นเดียวกัน ส่วนใหญ่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่องในการตัดภาระจึงทำได้ยาก เพราะจะทำให้กระบวนการผลิตเสียไป ฉะนั้นแผนกนี้จึงไม่มีการตัดภาระ

การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 1

1.	เครื่องรีดสายแบน	14.5	kW
2.	เครื่องรีด 6D	86	kW
3.	เครื่องรีด 3D	136	kW
4.	เครื่องตีเกลียว 7A, E, F	33.5	kW
5.	เครื่องตีเกลียว 7B, C, D	93	kW
6.	รอกไฟฟ้า	3.27	kW
7.	เครื่องม้วนสาย	4.4	kW
8.	เครื่องตีเกลียว 19 A, B	37.2	kW
9.	เครื่องตีเกลียว 61 B	93	kW
10.	เครื่องตีเกลียว 37 B	66	kW
11.	เครื่องรีด 10 หัว A, B	276.3	kW
12.	เครื่องกรอเศษสาย	6.3	kW

โหลดที่ตัดได้

1.	เครื่องรีด 6D 86 kW	ตัดได้เป็นช่วงเมื่อลวดอลูมิเนียมพอใช้
2.	เครื่องรีด 3D 136 kW	ตัดได้เป็นช่วงเมื่อลวดอลูมิเนียมพอใช้
3.	เครื่องรีดสายแบน 14.5 kW	ตัดได้เป็นช่วงเมื่อลวดอลูมิเนียมพอใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 2

1.	เครื่องรีดทองแดง	452.4	kW
2.	เตาหลอมอลูมิเนียม A, B	59.0	kW
3.	เครื่องตัดอลูมิเนียม	3.7	kW
4.	เครื่องรีด Properzi	264.8	kW
5.	ปั๊มน้ำกรด	2.2	kW
6.	เครน	0.75	kW
7.	ปั๊มแท่งใหญ่	7.46	kW
8.	ปั๊มน้ำเตาอลูมิเนียม	10.0	kW
9.	ปั๊มน้ำมันเตา	4.4	kW
10.	มอเตอร์พัดลม	1.8	kW

ภาระที่ตัดได้ ไม่ควรตัดภาระเพราะส่วนใหญ่เครื่องจักรจำเป็นต้องเดินตลอดเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 3

1.	เครื่องรีดทองแดง	121	kW
2.	เครื่องรีด LD 20 LB	58	kW
3.	เครื่องรีด LD 20 LA	58	kW
4.	เครื่องรีด LD 20 A 22" D	55	kW
5.	เครื่องรีด LD 20 B 22" D	46	kW
6.	เครื่องรีดสายหัวเดียว	11	kW
7.	เครื่องดีเกลียว 7 B 12"	82	kW
8.	เครื่องรีด 9 หัว	98	kW
9.	เครื่อง Tapping	23	kW
10.	เครื่องมัดสาย 610	22	kW
11.	เครื่องรีดสายแบน	15	kW
12.	เครื่องดีเกลี่ยวสาย	2.4	kW
13.	หัวรีดทองแดง	29.84	kW
14.	เครื่องกลอสาย	0.74	kW
15.	ปั๊มน้ำยา 20 A, B, C, D	3	kW
16.	มอเตอร์พัดลม	2.2	kW

ภาระที่ตัดได้

1.	เครื่องรีดทองแดง	121 kW	ตัดได้เป็นช่วงเมื่อลวดทองแดงพอใช้
2.	เครื่องรีด LD 20 LB	58 kW	ตัดได้เป็นช่วงเมื่อลวดทองแดงพอใช้
3.	เครื่องรีด LD 20 LA	58 kW	ตัดได้เป็นช่วงเมื่อลวดทองแดงพอใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 4

1.	เครื่องหุ้ม ø 90 C	53.0	kW
2.	เครื่องหุ้ม ø 120 C	133	kW
3.	Puortier	81.5	kW
4.	Drum Twitch	28.3	kW
5.	เครื่องตีเกลียว 8 + 8	90.0	kW
6.	เครื่องหุ้ม ø 915 (4+8)	62.0	kW
7.	เครื่อง 25 Sup Unit	20.0	kW
8.	เครื่องปั๊มอากาศ	22.0	kW
9.	เครื่องหุ้ม ø 65	60.7	kW
10.	เครื่องหุ้ม ø 60	44.7	kW
11.	เครื่องประกอบคู่สาย V2-1007-1009	16.2	kW
12.	เครื่องทดสอบสาย	5.7	kW
13.	เยลลี่	25.7	kW
14.	เครื่องประกอบคู่สาย A-N	56.0	kW
15.	เครน	5.14	kW
16.	เครื่องเกลียวสาย	2.2	kW
17.	เครื่องม้วนสาย	0.75	kW
18.	เครื่องหุ้มฉนวน	2.9	kW
19.	Bider	29.4	kW
20.	Tandem Line B	22.1	kW
21.	Tandem Line A	140.0	kW
22.	มอเตอร์ปั๊มน้ำ	18.9	kW
23.	ปั๊มน้ำทิ้ง	2.2	kW

<u>ภาระที่ตัดได้</u> ตัดภาระได้ยาก เพราะส่วนใหญ่เครื่องจักรเดินตลอดเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตของโรงงานผลิตที่ 5

1.	เครื่องหุ้ม Ø 50 A	9.6	kW
2.	เครื่องหุ้ม Ø 65	6.7	kW
3.	เครื่องหุ้ม Ø 65	18.6	kW
4.	เครื่องหุ้ม Ø 70	34.0	kW
5.	เครื่องหุ้ม Ø 90 A	53.5	kW
6.	เครื่องหุ้ม Ø 90 B	54.4	kW
7.	Auto coil	10.4	kW
8.	เครื่องม้วนสาย	2.2	kW
9.	มอเตอร์พัดลม	0.5	kW

ภาระที่ตัดได้ ตัดภาระได้ยาก เพราะส่วนใหญ่เครื่องจักรเดินตลอดเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 43 การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 1

รายการอุปกรณ์ \ เวลา	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00
1. เครื่องรีดสายพาน	→	→	→	→		→	→	→	→
2. เครื่องรีด 6D	→	→	→	→		→	→	→	→
3. เครื่องรีด 3D	→	→	→	→		→	→	→	→
4. เครื่องตีเกลียว 7A	→	→	→	→		→	→	→	→
5. เครื่องตีเกลียว 7B	→	→	→	→		→	→	→	→
6. เครื่องตีเกลียว 7C	→	→	→	→		→	→	→	→
7. เครื่องตีเกลียว 7D	→	→	→	→		→	→	→	→
8. เครื่องตีเกลียว 19A	→	→	→	→		→	→	→	→
9. เครื่องตีเกลียว 19B	→	→	→	→					
10. เครื่องตีเกลียว 61B	→	→	→	→		→	→	→	→
11. เครื่องตีเกลียว 37B									
12. เครื่องรีด 10 หัว A, B	→	→	→	→		→	→	→	→

ตารางที่ 44 การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 2

รายการอุปกรณ์ \ เวลา	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00
1. เครื่องรีดทองแดง	←			→		←			→
2. เตาหลอมอลูมิเนียม A, B	←			→		←			→
3. เครื่องตัดอลูมิเนียม	←			→					
4. เครื่องรีด Properzi	←			→		←			→

ตารางที่ 45 การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 3

รายการอุปกรณ์ \ เวลา	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00
1. เครื่องรีดทองแดง	←	→				←	→		
2. เครื่องรีด LD 20 LB	←	→				←	→		
3. เครื่องรีด LD 20 LA	←	→				←	→		
4. เครื่องรีด LD 20 A 22" D	←	→				←	→		
5. เครื่องรีด LD 20 B 22" D	หยุด					หยุด			
6. เครื่องรีดสายหัวเดียว	←	→							
7. เครื่องตีเกลียว 7 B 12"	←	→				←	→		
8. เครื่องรีด 9 หัว	←	→				←	→		
9. เครื่อง Tapping	หยุด					หยุด			
10. เครื่องมัดสาย 610						←	→		
11. เครื่องรีดสายแบน	หยุด					หยุด			
12. เครื่องตีเกลียวสาย	←	→				←	→		
13. หัวรีดทองแดง	หยุด					หยุด			
14. เครื่องกลอสาย	←	→				←	→		

ตารางที่ 46 การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 4

รายการอุปกรณ์ \ เวลา	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00
1. เครื่องหุ้ม ø 90 C	←	←	←	←					
2. เครื่องหุ้ม ø 120 C	←	←	←	←					→
3. Pourtier					หยุด				
4. Drum Twitch	←	←	←	←					
5. เครื่องตีเกลียว 8+8	←	←	←	←					→
6. เครื่องหุ้ม ø 95 (4+8)	←	←	←	←					→
7. เครื่อง 25 Sup Unit					หยุด				
8. เครื่องหุ้ม ø 65	←	←	←	←					
9. เครื่องหุ้ม ø 60									→
10. เครื่องประกอบคู่สาย V2-1007-1009	←	←	←	←					→
11. เครื่องทดสอบสาย	←	←	←	←					→
12. เครื่องประกอบคู่สาย A-N	←	←	←	←					→
13. Tandem Line A	←	←	←	←					หยุด
14. Tandem Line B	←	←	←	←					หยุด

ตารางที่ 47 การทำงานของเครื่องจักรของโรงงานผลิตที่ 5

รายการอุปกรณ์ \ เวลา	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00
1. เครื่องหุ้ม ø 50 A	←			→		←			→
2. เครื่องหุ้ม ø 65									
3. เครื่องหุ้ม ø 70	←			→					
4. เครื่องหุ้ม ø 90 A	←			→		←			→
5. เครื่องหุ้ม ø 90 B	←			→		←			→

ตารางที่ 48 กำหนดการควบคุม Peak Demand ของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

เครื่องจักร	กำลังงาน	แผนก	เวลาทำงาน
1. เครื่องรีดทองแดง	121 kW	ผลิต 3	8.00 - 17.00
2. เครื่องรีด LD 20 LB	58 kW	ผลิต 3	8.00 - 17.00
3. เครื่องรีด LD 20 LA	58 kW	ผลิต 3	8.00 - 17.00
4. เครื่องรีด 6D	86 kW	ผลิต 1	8.00 - 17.00
5. เครื่องรีด 3D	136 kW	ผลิต 3	8.00 - 17.00
6. เครื่องรีดสายแบน	14.5 kW	ผลิต 1	8.00 - 17.00

เครื่องจักร	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00
1. เครื่องรีดทองแดง				▨					
2. เครื่องรีด LD 20 LB				▨					
3. เครื่องรีด LD 20 LA							▨		
4. เครื่องรีด 6D				▨			▨		
5. เครื่องรีด 3D				▨			▨		
6. เครื่องสายแบน									

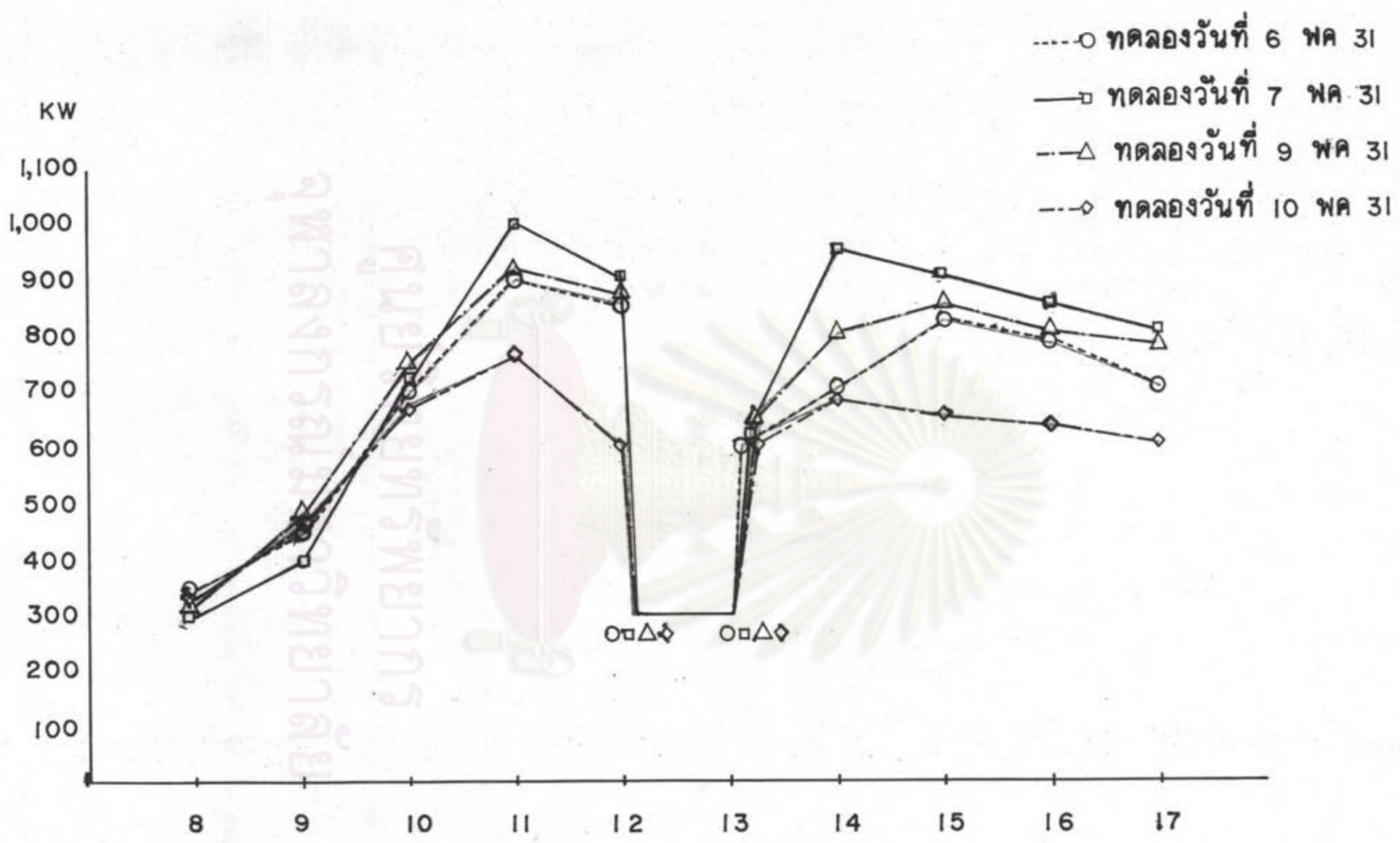
▨ ช่วงเวลาตัดภาระออก

□ ช่วงเวลาทำงานของเครื่องจักร

ตารางที่ 49 การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ ของโรงงานก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุง

เวลา / วัน/ เดือน/ ปี	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6 พค. 31	350	450	700	900	850	300	700	820	780	700
7 พค. 31	300	400	720	1000	900	300	950	900	850	800
9 พค. 31	320	480	750	920	870	300	800	850	800	780
10 พค. 31	330	470	680	760	600	300	680	650	630	600

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 49 เส้นกราฟของภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 49 ได้แสดงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่าง ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมีค่าดังนี้ 900, 1000, 920 และ 760 kW

ผลการทดลองปรากฏว่า

ในวันที่ 6 พฤษภาคม 2531 มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 900 kW ได้ผลผลิต 7,000 kg.

ในวันที่ 7 พฤษภาคม 2531 มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 1000 kW ได้ผลผลิต 7,100 kg.

ในวันที่ 9 พฤษภาคม 2531 มีความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด 920 kW ได้ผลผลิต 7,500 kg.

หลังจากทำการจัดทำตารางเวลาเดินเครื่องของเครื่องจักรบางเครื่อง ผลปรากฏว่าสามารถลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดลงเหลือ 700 kW ได้ผลผลิต 7,300 kg.

ดังนั้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าลดลงดังนี้

- ก่อนการปรับปรุง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

= 1,000 × 174

= 174,000 บาท/เดือน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- หลังการปรับปรุง จะต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด

= 760 × 174

= 132,240 บาท/เดือน

∴ สามารถลดค่าใช้จ่ายค่าพลังไฟฟ้าได้

= 174,000 - 132,240

= 41,760

= 501,120 บาท/ปี

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุน = 12,190 + 108,890 บาท

= 121,080 บาท

รายได้ = 22,680 + 3,399.33 + 205.45 + 137,700

+ 14,051.75 + 690.49 บาท

= 178,727 บาท

อายุการใช้งานของอุปกรณ์ = 15 ปี

1. อัตราผลตอบแทนการคืนทุน

มูลค่าการลงทุน = 121,080 บาท

มูลค่าการประหยัด = 178,727 บาท

อายุการใช้งาน = 15 ปี

$178,727\ (SPWF, i = ?,15) = 121,080$

$(SPWF, i = ?,15) = \frac{121,080}{178,727}$

$= 0.677$

ผลที่ได้ 0,677 ไม่มีในตารางผลการคำนวณดอกเบี้ย จึงต้องใช้วิธีคำนวณ

$(SPWF, i = ?,15) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$

i = อัตราดอกเบี้ย

n = ระยะเวลา

สมมุติค่า i เพื่อหาค่าให้ได้เท่าที่ต้องการ

สมมุติ i = 145 $= \frac{(1 + 1.45)^{15} - 1}{1.45(1 + 1.45)^{15}}$

$= \frac{687,845.06}{997,376.787}$

$= 0.690$

สมมุติ i = 150 $= \frac{(1 + 1.50)^{15} - 1}{1.50(1 + 1.50)^{15}}$

$= \frac{931,321.56}{1,396,983.84}$

$= 0.667$

∴ อัตราผลตอบแทน (IRR) $= 145\% + \frac{(0.690-0.677)}{(0.690-0.667)} \times 5$

$= 145\% + (\frac{0.013}{0.023} \times 5)$

$= 145\% + 2.83$

$= 147.83\%$

∴ อัตราผลตอบแทน (IRR) = 147.83%

2. ระยะเวลาการคืนทุน

$= \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{เงินที่ประหยัดได้}}$

เงินลงทุน = 121,080 บาท

รายได้ = 178,727 บาท

$= \frac{121,080}{178,727}$

$= 0.677$

$= 0.677 \times 12$

$= 8$ เดือน

3. มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

เงินลงทุน = 121,080

รายได้ = 178,727

$= -121,080+(SPWF,i=12,15)178727$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= -121,080 + (178,727 \times 6.81)$$

$$= -121,080 + 1,217,130$$

$$1,096,050 > 0$$

∴ แสดงว่าโครงการณ์เหมาะสมที่จะลงทุน

4. สัดส่วนกำไรและค่าใช้จ่าย

เงินลงทุน = 121,080 บาท

รายได้ = 178,727 บาท

$$= \frac{(SPWF,\ I = 12,15)178,727}{121,080}$$

$$= \frac{1,217,130}{121,080}$$

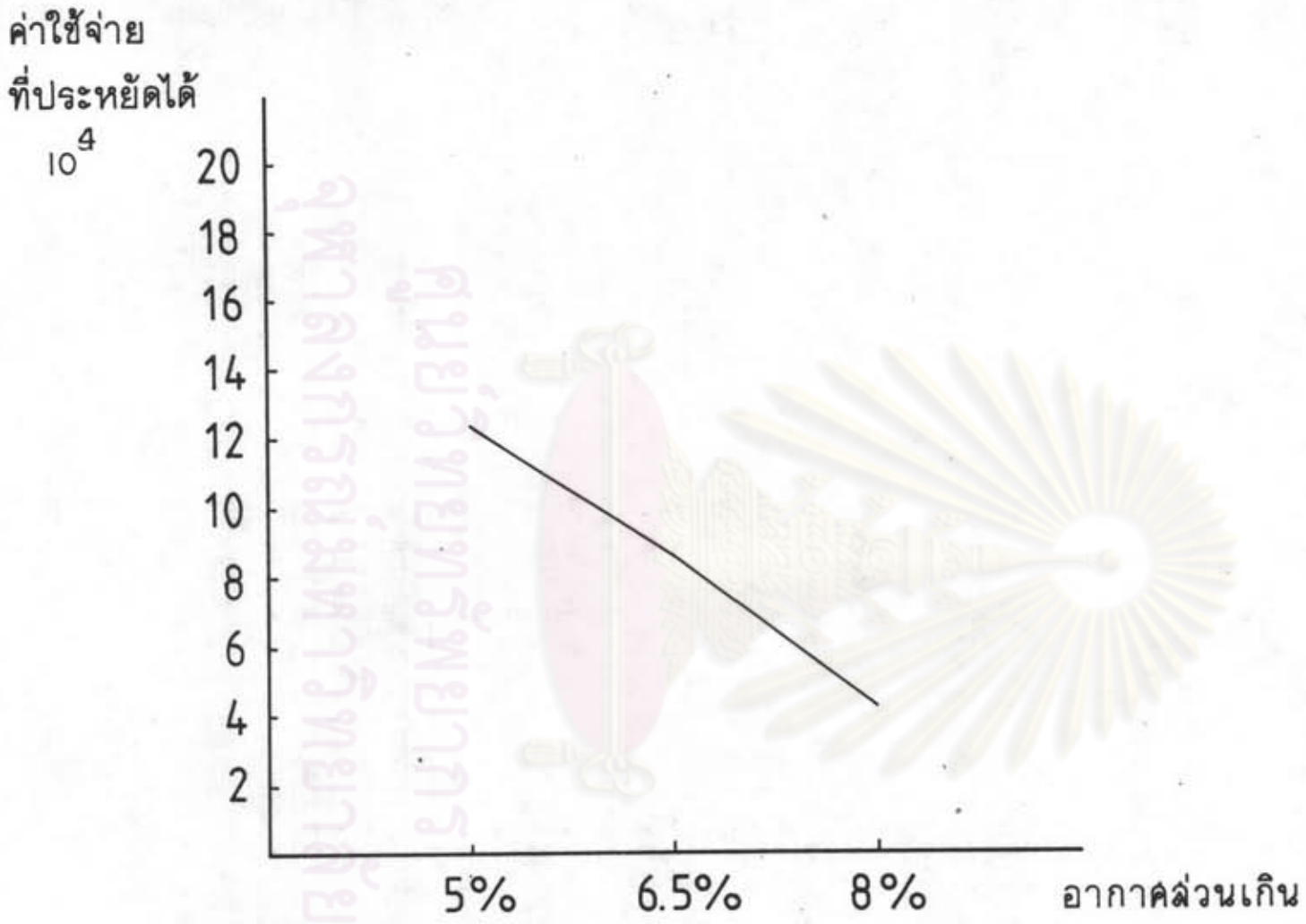
$$= 10.05 > 1$$

∴ แสดงว่าโครงการนี้เหมาะสมที่จะลงทุน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

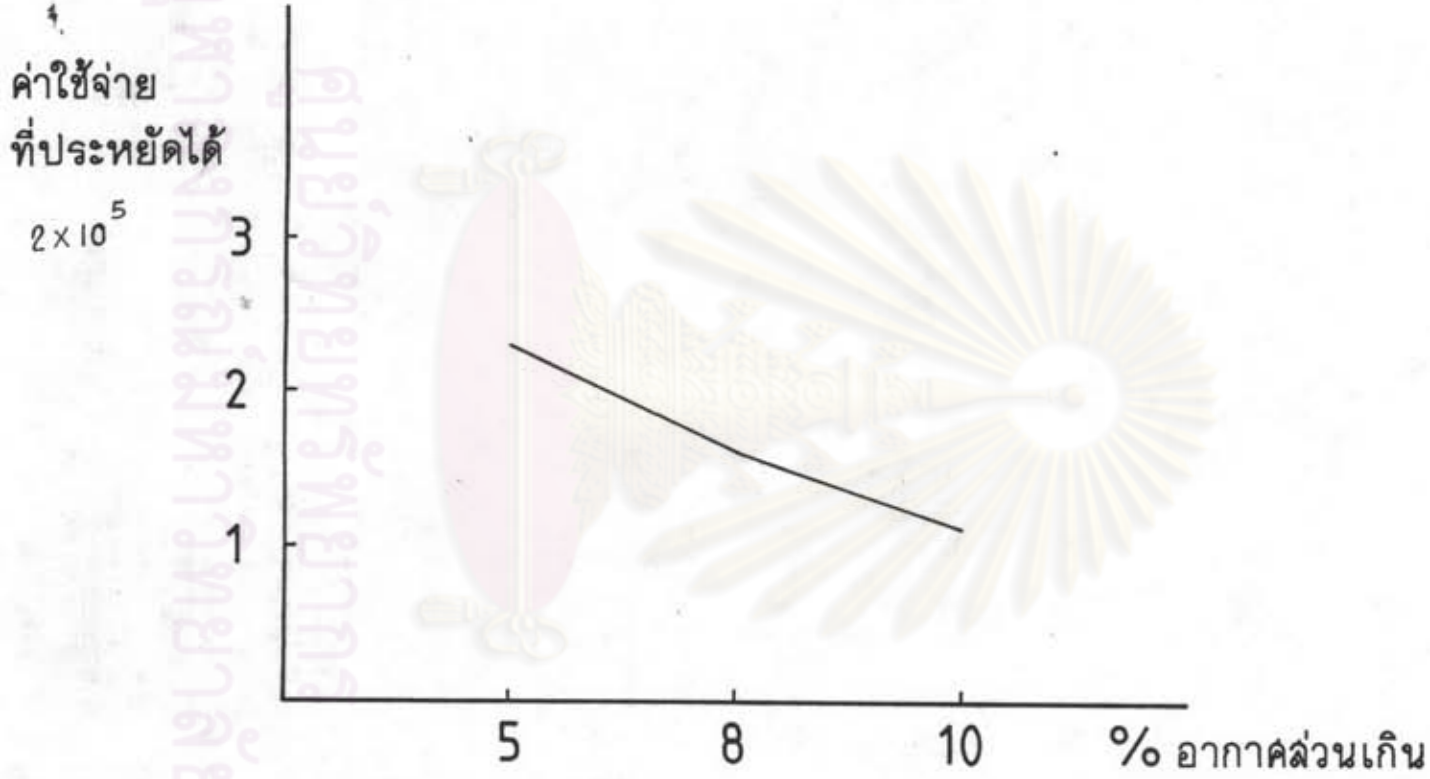
ตารางที่ 50 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

รายการ	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ลดลง	
1. พลังงานความร้อน						
1.1 ปรับอัตราส่วน อากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง						
เตาหลอมอลูมิเนียม	1,914,000	บาท/ปี	1,643,478	บาท/ปี	270,522	บาท/ปี
เตาหลอมทองแดง	1,373,483	บาท/ปี	916,445.08	บาท/ปี	457,037.92	บาท/ปี
เตาเผาทองแดง	395,895.80	บาท/ปี	217,851.56	บาท/ปี	88,044.24	บาท/ปี
1.2 การหุ้มฉนวน						
เตาหลอมทองแดง	174,232	บาท/ปี	95,618	บาท/ปี	78,614	บาท/ปี
เตาเผาทองแดง	74,900	บาท/ปี	43,592	บาท/ปี	31,308	บาท/ปี
2. พลังงานไฟฟ้า						
2.1 แก้ไขเพาเวอร์แฟคเตอร์						
2.2 ลดการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า						
2.3 การเปลี่ยน Tap หม้อแปลงไฟฟ้า	5,317,845	บาท/ปี	4,617,118	บาท/ปี	700,727	บาท/ปี
2.4 การควบคุมค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด						
รวมทั้งหมด	9,578,355.80	บาท/ปี	7,588,102.64	บาท/ปี	1,626,253.16	บาท/ปี



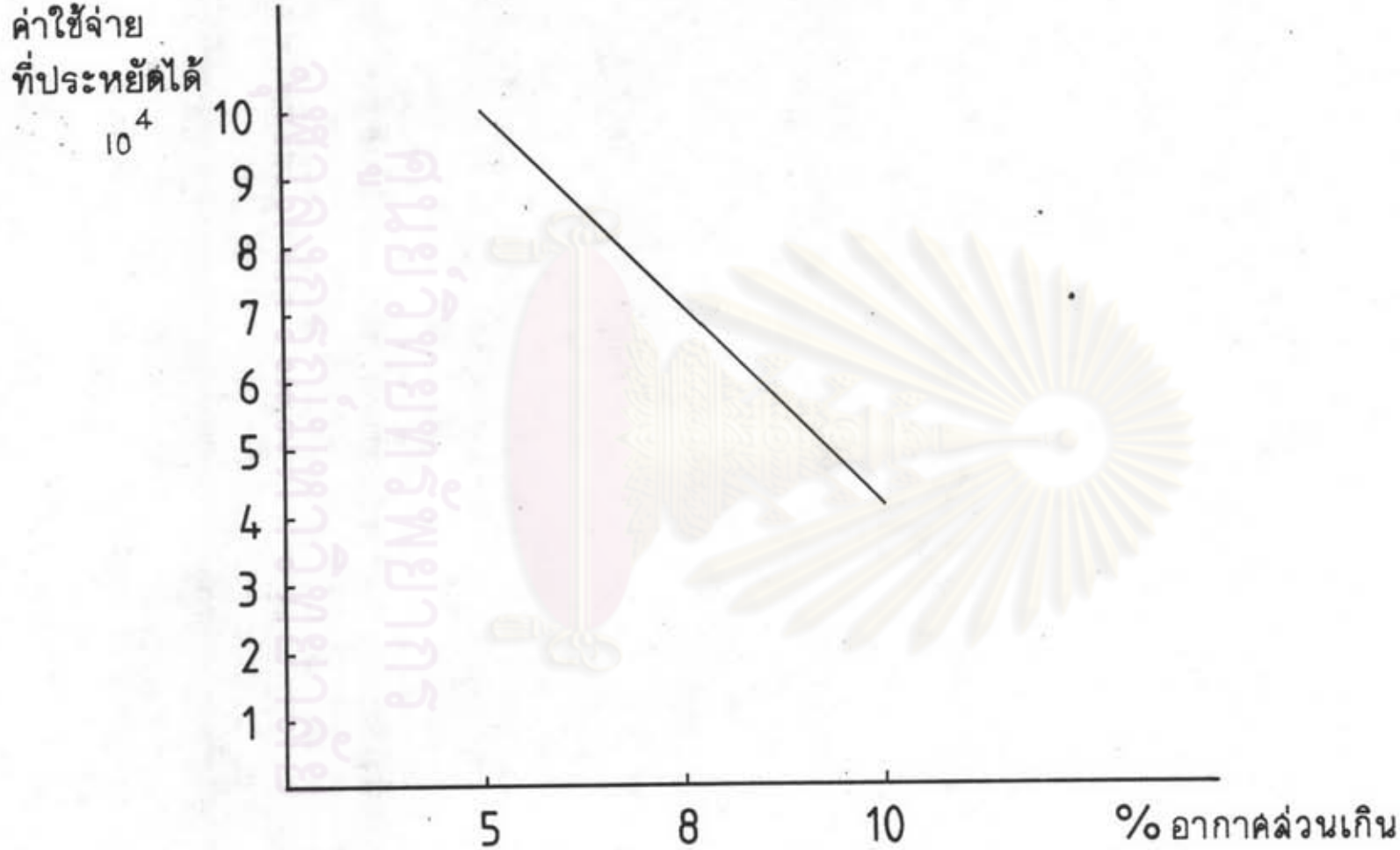
199

รูปที่ 50 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับเปอร์เซ็นต์ของอากาศล่วนเกินของเตาหลอมอลูมิเนียม

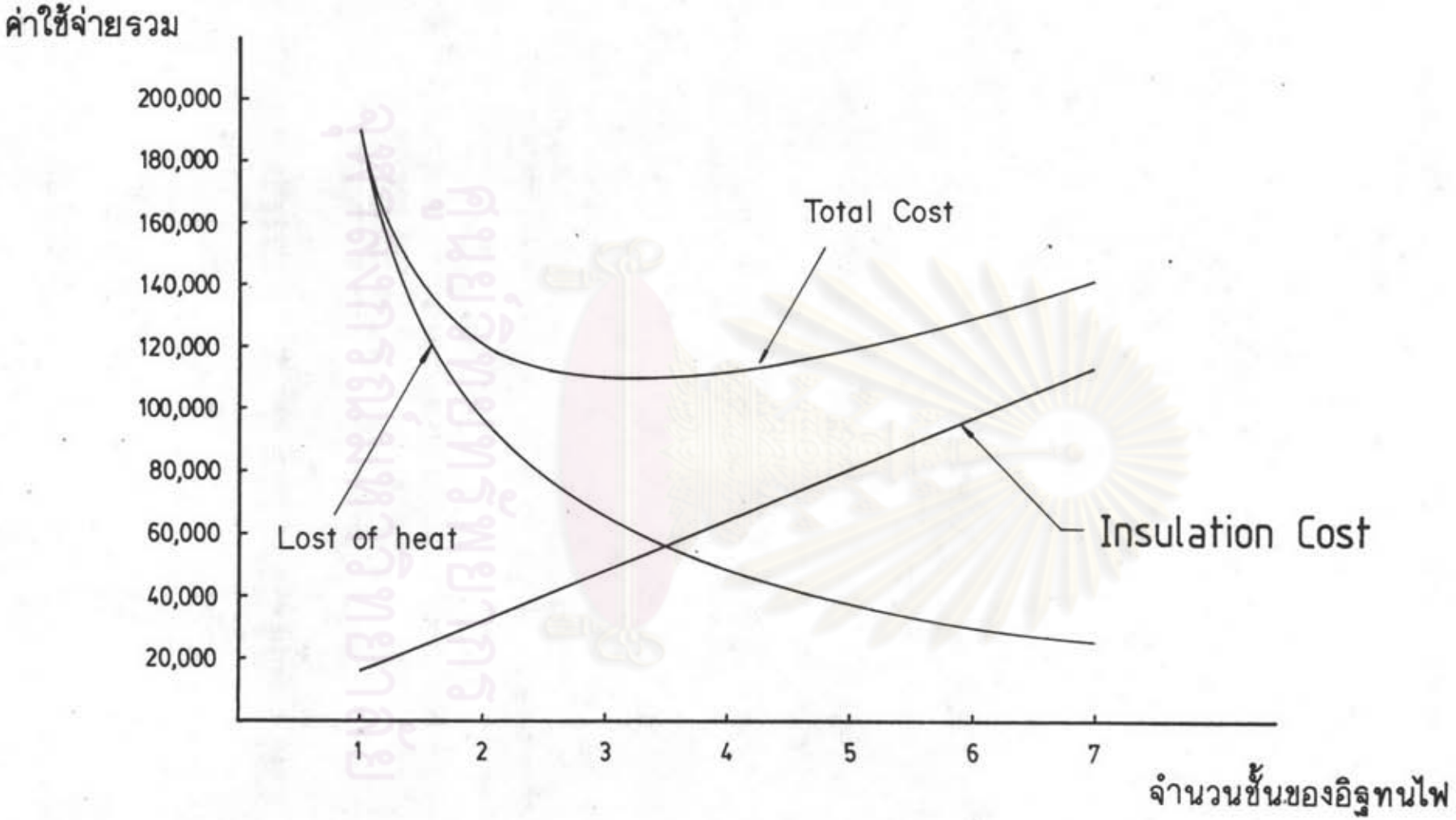


รูปที่ 51 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับเปอร์เซ็นต์ของอากาศล่วนเกินของเตาหลอมทองแดง

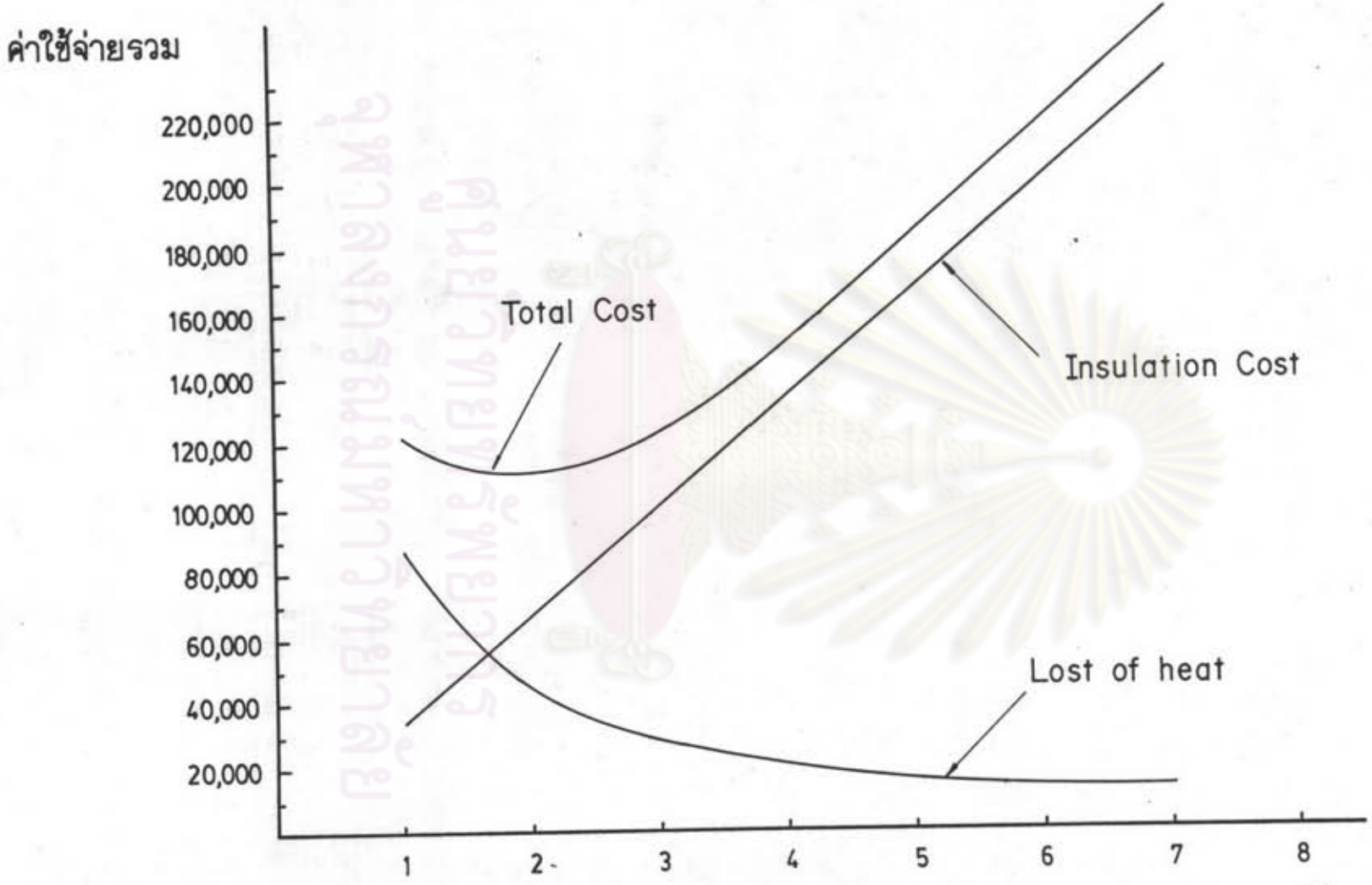
รูปที่ 51 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับเปอร์เซ็นต์
ของอากาศล่วนเกินของเตาเผาทองแดง



รูปที่ 52 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายกับเปอร์เซนต์ของอากาศส่วนเกินของเตาเผาทองแดง



รูปที่ 53 **การหาจำนวนชั้นของอิฐทนไฟที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดสำหรับเตาหลอมทองแดง**



รูปที่ 54 การหาจำนวนชั้นของอิฐฉนวนที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดสำหรับเตาเผาทองแดง