บทที่ 4
เทคนิคการวิเคราะห์และมาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

4.1 หม้อไอน้ำ(Boiler)

หม้อไอน้ำมีหน้าที่ผลิตไอน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ ส่วนมากจะพบในโรงงานซึ่งไอน้ำที่ได้จะนำไปใช้ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในระบบการผลิต เช่น การนำไอน้ำไปอบผ้าเพื่อทำให้ผ้าที่ได้นั้นมีคุณภาพดี เป็นต้น หม้อไอน้ำโดยทั่วไปมี 2 ชนิด คือหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ(นิยม)และชนิดท่อน้ำ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้มีหลายชนิด เช่น น้ำมันเตาเกรด A และ เกรด C น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ขี้เลื่อย เป็นต้น

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากการตรวจวัดค่าการใช้พลังงานของหม้อไอน้ำที่จำเป็นแล้ว ต่อมาคือการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ โดยใช้หลักการสมดุลความร้อน ซึ่งข้อมูลได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์หม้อไอน้ำ

สภาวะการใช้งาน		ค่าที่ได้	ที่มา
กำลังการผลิตติดตั้ง	ไอน้ำที่ผลิต (kg/hr)		ข้อมูลเครื่อง
	ความดันไอน้ำสูงสุด (kg/cm^2)		จากการตรวจวัด
กำลังการผลิตจริง	ไอน้ำที่ผลิต (kg/hr) ; S		จากการตรวจวัด
	Enthalpy ของไอน้ำ (kcal/kg) ; h_s		จากตารางไอน้ำ
	ความดันไอน้ำสูงสุด (kg/cm^2)		จากการตรวจวัด
เชื้อเพลิง	ชนิด		จากการตรวจวัด
	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (SCMH) l/hr ; F		จากการตรวจวัด
	ค่าความร้อนต่ำ (kcal/kg) ; LHV		จากข้อมูลเชื้อเพลิง
	ค่าความร้อนจำเพาะ (kcal/kg-°C) ; Cp_f		จากข้อมูลเชื้อเพลิง
	อุณหภูมิเชื้อเพลิงป้อนเข้าเผาไหม้ (°C) ; T_f		จากการตรวจวัด
	ค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิง (kg/l) ; D_f		จากคุณสมบัติเชื้อเพลิง
	อุณหภูมิอ้างอิง (°C) ; T_r		25 °C

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์หม้อไอน้ำ(ต่อ)

สภาวะการใช้งาน		ค่าที่ได้	ที่มา
หัวเผา	ชนิด		ข้อมูลเครื่อง
	การควบคุมหัวเผาแบบ		ข้อมูลเครื่อง
	ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุด (SCMH) l/hr		ข้อมูลเครื่อง
	ความดันก๊าซหรือน้ำมันส่ง/กลับ (psig)		จากการตรวจวัด
น้ำป้อน	ผู้ผลิตปั๊มน้ำ		ข้อมูลเครื่อง
	ประเภท/แบบ		ข้อมูลเครื่อง
	อุณหภูมิอ้างอิง(°C) ; T_r		25 °C
	ความดันสูงสุด (kg/cm^2) (ดูที่ทางออก Pump)		จากการตรวจวัด
	ขนาดท่อน้ำเข้า/ออก (mm) (ดูทางหน้า Pump)		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิ (°C) (วัดที่ก่อนเข้า Boiler) ; T_w		จากการตรวจวัด
	pH (วัดที่ก่อนเข้า Boiler)		จากการตรวจวัด
	Enthalpy ของน้ำป้อนเข้า Boiler (kcal/kg) ; h_w		จากตารางไอน้ำ
	Enthalpy ของน้ำอุณหภูมิอ้างอิง (kcal/kg) ; h_r		จากตารางไอน้ำ
	TDS น้ำป้อน (ppm) ;TDS_w		จากการตรวจวัด
	อัตราการไหล (l/hr) ; F_w		จากการตรวจวัด
ระบบอุ่นเชื้อเพลิง	ประเภทของอุปกรณ์		ข้อมูลเครื่อง
(Preheater)	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด (°C)		ข้อมูลเครื่อง
	อุณหภูมิก่อนอุ่น (°C)		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิหลังอุ่น (°C)		จากการตรวจวัด
อากาศป้อน	อุณหภูมิอากาศป้อนเข้าเผาไหม้ (°C) ; T_a		จากการตรวจวัด
	อัตราส่วนอากาศ ; M		สมการ 4.6
	ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (m^3/kg_{fuel}) ; A_O		จากการตรวจวัด
	ปริมาณอากาศใช้จริง (m^3/kg_{fuel}) ; A		สมการ 4.9
	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศป้อน(kcal/m^3°C); Cp_a		จากคุณสมบัติของเชื้อเพลิง
	อุณหภูมิอ้างอิง (°C) ; T_r		25 °C

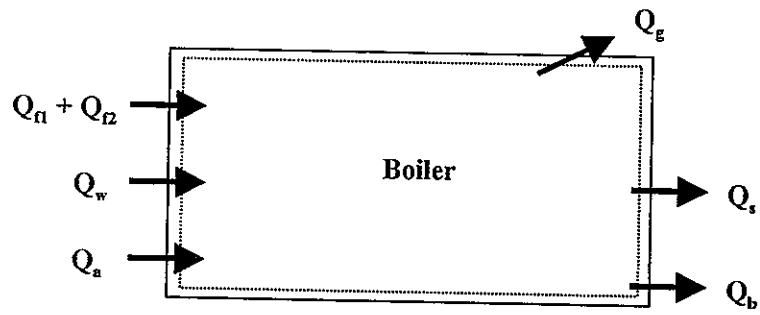
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์หม้อไอน้ำ(ต่อ)

สภาวะการใช้งาน			ค่าที่ได้	ที่มา
	อุณหภูมิ (°C) ; T_g			จากการตรวจวัด
	ปริมาณ O_2 (%)			จากการตรวจวัด
ก๊าซเสีย	ปริมาณ CO_2 (%)			จากการตรวจวัด
	ปริมาณ CO (ppm)			จากการตรวจวัด
	ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎี (m^3/m^3_{fuel}) ; G_O			สมการ 4.11/4.12
	ปริมาณก๊าซเสียจริง (m^3/m^3_{fuel}) ; G			สมการ 4.13
	ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซเสีย (kcal/m^3°C); Cp_g			จากคุณสมบัติเชื้อเพลิง
Blowdown	PH			จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิน้ำโบว์ดาวน์ (°C) ; T_b			จากตารางไอน้ำ
	Conductivity (us/cm)			จากการตรวจวัด
	TDS ของน้ำใน Boiler (ppm) ; TDS_B			จากการตรวจวัด
	เปอร์เซ็นต์โบว์ดาวน์ b (%)			สมการ 4.17
	ปริมาณน้ำโบว์ดาวน์ (kg/hr) ; B			จากการตรวจวัด
	Enthalpy ของน้ำใน Boiler (kcal/kg) ; h_b			จากตารางไอน้ำ
ผนังหม้อไอน้ำ (ค่าเฉลี่ย)	ด้านหน้า	อุณหภูมิ (°C)		จากการตรวจวัด
		พื้นที่ผิว (m^2)		จากการตรวจวัด
	ด้านหลัง	อุณหภูมิ (°C)		จากการตรวจวัด
		พื้นที่ผิว (m^2)		จากการตรวจวัด
	ด้านซ้าย	อุณหภูมิ (°C)		จากการตรวจวัด
		พื้นที่ผิว (m^2)		จากการตรวจวัด
	ด้านขวา	อุณหภูมิ (°C)		จากการตรวจวัด
		พื้นที่ผิว (m^2)		จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์หม้อไอน้ำ(ต่อ)

สภาวะการใช้งาน			ค่าที่ได้	ที่มา
ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ	ความร้อนเข้า Q in (kcal/hr)	ความร้อนแฝงเชื้อเพลิง (Q_{f1})		สมการ 4.2
		ความร้อนสัมผัสเชื้อเพลิง (Q_{f2})		สมการ 4.3
		ความร้อนอากาศป้อนเข้า (Q_a)		สมการ 4.4
		ความร้อนน้ำป้อนเข้า (Q_w)		สมการ 4.5
	ความร้อนออก Q out (kcal/hr)	ความร้อนไอน้ำ (Q_s)		สมการ 4.10
		ความร้อนก๊าซเสีย (Q_g)		สมการ 4.14
		ความร้อน Blowdown (Q_b)		สมการ 4.15
		ความร้อนสูญเสียผ่านผนัง (Q_{sur})		สมการ 4.18
		ความร้อนสูญเสียอื่นๆ (Q_o)		สมการ 4.21
	ความร้อนรวม Q total (kcal/hr)	ความร้อนรวม (Q_t)		สมการ 4.22
	ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ η_{Boiler} (%)			สมการ 4.23

การทำสมดุลความร้อนของหม้อไอน้ำ (Heat Balance of Boiler)



รูปที่ 4.1 แสดงสมดุลความร้อนของหม้อไอน้ำ

ปริมาณความร้อนเข้า = ปริมาณความร้อนออก (4.1)

ปริมาณความร้อนเข้า

1. ความร้อนจากเชื้อเพลิง (kcal/hr)

1.1 ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง(Q_{f1})

$$Q_{f1} = F \times D_f \times LHV \qquad (4.2)$$

1.2 ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง(Q_{f2})

$$Q_{f2} = F \times D_f \times Cp_f \times (T_f - T_r) \qquad (4.3)$$

โดยที่ Q_{f1} = ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง(kcal/hr)

Q_{f2} = ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง(kcal/hr)

F = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (l/hr)

D_f = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/l)

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kcal/kg)

Cp_f = ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง (kcal/kg°C)

T_f = อุณหภูมิของเชื้อเพลิงก่อนเข้าหม้อไอน้ำ (°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

2. ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน(Q_w)

$$Q_w = W \times (h_w - h_r) \qquad (4.4)$$

โดยที่ Q_w = ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน (kcal/hr)

W = ปริมาณน้ำป้อน (kg/hr)

h_w = ค่าเอนธาลปีของน้ำป้อน (kcal/kg)

h_r = ค่าเอนธาลปีของน้ำป้อนที่อุณหภูมิอ้างอิง (kcal/kg)

3. ความร้อนสัมผัสของอากาศป้อน (Q_a)

$$Q_a = A \times F \times D_f \times Cp_a \times (T_a - T_r) \qquad (4.5)$$

โดยที่ Q_a = ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน (kcal/hr)

A = ปริมาณอากาศป้อนที่ใช้จริง (m^3/kg_{fuel})

F = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (l/hr)

D_f = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/l)

Cp_a = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศป้อน (0.31 kcal/kg°C)

T_a = อุณหภูมิอากาศป้อน (°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

3.1 การคำนวณหาค่า A

จาก อัตราส่วนอากาศ (M) $= \dfrac{21}{21 - O_2}$ **(4.6)**

ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (A_o) $= \dfrac{0.85\ LHV + 2}{1,000}$ .....สำหรับเชื้อเพลิงเหลว **(4.7)**

หรือปริมาณอากาศทางทฤษฎี (A_o) $= \dfrac{1.01\ LHV + 0.5}{1,000}$ ....สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง **(4.8)**

ปริมาณอากาศที่ใช้จริง (A) $= MA_o$ **(4.9)**

โดยที่ O_2 = เปอร์เซ็นออกซิเจนในไอเสีย

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kcal/kg)

ปริมาณความร้อนออก

1. ความร้อนจากไอเสีย (Q_g)

$$Q_g = G \times F \times D_f \times Cp_g \times (T_g - T_r) \quad \textbf{(4.10)}$$

โดยที่ Q_g = ความร้อนจากไอเสีย (kcal/hr)

G = ปริมาณไอเสียจริง (m^3/kg_{fuel})

F = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (l/hr)

D_f = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/l)

Cp_g = ค่าความร้อนจำเพาะของไอเสีย (kcal/kg°C)

T_g = อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

1.1 การคำนวณหาค่า G

จาก ปริมาณไอเสียทางทฤษฎี $(G_o) = \frac{1.11\ LHV}{1,000}$ .....สำหรับเชื้อเพลิงเหลว **(4.11)**

ปริมาณไอเสียทางทฤษฎี $(G_o) = \frac{0.89\ LHV + 1.65}{1,000}$ .....สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง **(4.12)**

ปริมาณไอเสียจริง $(G) = G_0 + (M - 1)\ A_0$ **(4.13)**

2. ความร้อนจากไอน้ำที่ผลิตได้ (Q_s)

$$Q_s = S \times (h_s - h_r) \quad \textbf{(4.14)}$$

โดยที่ Q_s = ความร้อนจากไอน้ำที่ผลิตได้ (kcal/hr)

S = ปริมาณน้ำป้อน – ปริมาณการ Blowdown (kg/hr)

= $W - B$

h_s = ค่าเอนธาลปีของไอน้ำอิ่มตัวที่ความดันใช้งาน (kcal/kg)

h_r = ค่าเอนธาลปีของไอน้ำที่อุณหภูมิอ้างอิง (kcal/kg)

3. ความร้อนจากการ Blowdown (Q_b)

$$Q_b = B \times (h_b - h_r) \quad \textbf{(4.15)}$$

โดยที่ Q_b = ความร้อนจากการ Blowdown (kcal/hr)

B = ปริมาณการ Blowdown (kg/hr)

h_b = ค่าเอนธาลปีของ Blowdown (kcal/kg)

h_r = ค่าเอนธาลปีของน้ำที่อุณหภูมิอ้างอิง (kcal/kg)

3.1 การคำนวณหาค่า B

-จากการตรวจวัดโดยตรง

- จากการคำนวณ $$B = \frac{\%Blowdown \times W}{100} \quad (4.16)$$

โดยที่ $$\%Blowdown = \frac{TDS_w}{TDS_b - TDS_w} \times 100\% \quad (4.17)$$

W = ปริมาณน้ำป้อน (kg/hr)

TDS_w = ค่า Total Dissolve Solid ของน้ำป้อน (ppm)

TDS_B = ค่า Total Dissolve Solid ของ Blowdowm (ppm)

หมายเหตุ :หากขณะที่ทำการตรวจวัด ทางโรงงาน/อาคารไม่มีการ Blowdown ให้ถือว่าความร้อนจาก Blowdown = 0

4. ความร้อนสูญเสียจากผนังหม้อไอน้ำ (Q_{sur})

$$Q_{sur} = Q_c + Q_r \quad (4.18)$$

โดยที่ Q_{sur} = ความร้อนสูญเสียจากผนังหม้อไอน้ำ (kcal/hr)

Q_c = ความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน (kcal/hr)

$$= 4.88 \times 10^{-8} \times E \times a \times [(273 + T_{sur})^4 - (273 + T_r)^4] \quad (4.19)$$

Q_r = ความร้อนจากการพาความร้อนที่ผิวหม้อไอน้ำ (kcal/hr)

$$= h_c \times a \times (T_{sur} - T_r) \quad (4.20)$$

โดยที่ E = ค่า Emissitivity ของพื้นผิวหม้อไอน้ำ (ประมาณ 0.7-0.9)

a = พื้นที่ผิวผนังหม้อไอน้ำ

T_{sur} = อุณหภูมิผิวหนังหม้อไอน้ำ (°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวหม้อไอน้ำ (W/m^2-°C)

= $1.5 (T_{sur} - T_r)^{1/4}$ (พื้นผิวแนวตั้ง)

= $2.2 (T_{sur} - T_r)^{1/4}$ (พื้นผิวด้านข้าง)

5. ความร้อนสูญเสียอื่น ๆ (Q_o)

$$Q_o = (Q_{fl} + Q_{f2} + Q_w + Q_a) - (Q_g + Q_s + Q_b + Q_{sur}) \quad (4.21)$$

โดยที่ Q_o = ความร้อนสูญเสียอื่น ๆ (kcal/hr)

6. ความร้อนรวมที่นำไปใช้ (Q_t)

$$Q_t = (Q_{fl} + Q_{f2} + Q_w + Q_a) \quad (4.22)$$

โดยที่ Q_t = ความร้อนรวมที่นำไปใช้ (kcal/hr)

7. ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ (η_{Boiler})

$$\eta_{Boiler} = \frac{Q_s \times 100\%}{(Q_{fl} + Q_{f2} + Q_w + Q_a)} \quad (4.23)$$

4.1.2 มาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

เป็นการหาวิธีการต่าง ๆ ที่จะเป็นผลให้เกิดการประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในอุปกรณ์ หรือระบบการทำงาน ในอาคารและโรงงาน

1. มาตรการการหุ้มฉนวนท่อส่งไอน้ำ

เนื่องจากท่อส่งไอน้ำนั้นมีอุณหภูมิสูงซึ่งต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำแรงดันสูง หากไม่มีการหุ้มฉนวนจะทำให้อุณหภูมิของไอน้ำเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับผิวท่อและผิวท่อก็แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่อยู่รอบ ๆ ทำให้ไอน้ำมีอุณหภูมิต่ำลง ซึ่งหมายถึงต้องใช้เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการหุ้มฉนวนด้วยความหนาที่เหมาะสมจะช่วยลดการสูญเสียความร้อนของไอน้ำ ซึ่งทำให้เชื้อเพลิงที่ใช้ลดลงรวมถึงค่าใช้จ่ายที่ลดลงและเป็นการอนุรักษ์พลังงานที่ดีอีกวิธีหนึ่งด้วย ตามที่ร่างกฎกระทรวงกำหนดไว้ว่าอุณหภูมิที่ผิวฉนวนไม่ควรสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส

2. มาตรการนำความร้อนจากการกลั่นตัวกลับมาใช้

ไอน้ำเมื่อนำไปใช้ประโยชน์แล้ว(เช่นการอบผ้า) จากนั้นไอน้ำจะกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวหรือหยดน้ำ ที่ยังมีอุณหภูมิที่สูงอยู่ ถ้ามีการถ่ายน้ำส่วนนี้ทิ้งไปก็ถือว่าเป็นการสูญเสียพลังงานอย่างอีกวิธีหนึ่งเช่นกัน แต่ถ้ามีการติดตั้งระบบท่อน้ำคอนเดนเสท(น้ำที่กลั่นตัวแล้ว)จากอุปกรณ์ที่ใช้ไอน้ำทุกชุดกลับมาใช้อีกโดยใช้รวมกับน้ำป้อนทำให้ลดเชื้อเพลิงที่ต้องใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ โดยมีข้อมูลที่สำคัญดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงตัวแปรที่สำคัญของมาตรการนำความร้อนจากการกลั่นตัวกลับมาใช้

ตัวแปรที่สำคัญ	ค่าที่ได้	ที่มา
ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ทั้งหมด (kg/hr); S_1		จากการตรวจวัด
ปริมาณไอน้ำที่รั่วออกจากระบบ (kg/hr); S_2		จากการตรวจวัด
ปริมาณไอน้ำสูญเสียโดยตรงที่อุปกรณ์ (kg/hr); S_3		จากการตรวจวัด
ปริมาณคอนเดนเสทที่นำกลับได้จริง (kg/hr) ; S_4		สมการ 4.24
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ (hr/year) ; HPY		จากการตรวจวัด
Enthalpy ของน้ำป้อนเฉลี่ย (kcal/kg); E_{ws}		จากคุณสมบัติของน้ำ
Enthalpy ของน้ำคอนเดนเสทเฉลี่ย(kcal/kg); E_{wc}		จากคุณสมบัติของน้ำ
ปริมาณความร้อนที่นำกลับได้ (kcal/year); kpy		สมการ 4.25
ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kcal/kg); LHV		จากการตรวจวัด
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3) ; D_f		จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.2 แสดงตัวแปรที่สำคัญของมาตรการนำความร้อนจากการกลั่นตัวกลับมาใช้(ต่อ)

ตัวแปรที่สำคัญ	ค่าที่ได้	ที่มา
ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย (฿/ m^3)		จากข้อมูลด้านการตลาด
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง (m^3/year)		สมการ 4.26
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (฿/year)		สมการ 4.27

1. ปริมาณคอนเดนเสทที่นำกลับได้จริง (S_4)

$$S_4 = (S_1-S_2-S_3) \times \eta \qquad (4.24)$$

โดยที่ S_4 = ปริมาณคอนเดนเสทที่นำกลับได้จริง(kg/hr)

S_1 = ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ทั้งหมด (kg/hr)

S_2 = ปริมาณไอน้ำที่รั่วออกจากระบบ (kg/hr)

S_3 = ปริมาณไอน้ำสูญเสียโดยตรงที่อุปกรณ์ (kg/hr)

η = ความสามารถในการนำไอน้ำมาใช้ได้สูงสุดจากปริมาณไอน้ำที่คอนเดนเสททั้งหมด

2. ปริมาณความร้อนที่นำกลับได้ (kpy)

$$kpy = S_4 \times (E_{wc} - E_{ws}) \times HPY \qquad (4.25)$$

โดยที่ kpy = ปริมาณความร้อนที่นำกลับได้ (kcal/year)

E_{wc} = Enthalpy ของน้ำคอนเดนเสทเฉลี่ย (kcal/kg)

E_{ws} = Enthalpy ของน้ำป้อนเฉลี่ย (kcal/kg)

HPY = ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ (hr/year)

3. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่นำกลับได้}}{\text{ค่าความร้อนเชื้อเพลิง} \times \text{ความหนาแน่นเชื้อเพลิง}} \qquad (4.26)$$

4. ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ = ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง x ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย (4.27)

---

3. มาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้

โดยทั่วไปมีอุปกรณ์หลักที่เผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงาน ดังเช่นหม้อไอน้ำ(Boiler) หม้อน้ำมันร้อนและเตาอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิง คือการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเชื้อเพลิงกับออกซิเจนซึ่งมาจากอากาศ เชื้อเพลิงโดยทั่วไปจะประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจนและซัลเฟอร์ ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจนจะให้พลังงานความร้อน ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงต้องการปริมาณอากาศที่พอเหมาะเพื่อให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

โดยทั่วไปอากาศที่นำเข้าไปเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ ควรมีปริมาณมากกว่าการเผาไหม้ในทางทฤษฎีที่เรียกว่าอากาศส่วนเกิน(excess air) ดังนั้นโอกาสที่ออกซิเจนจะผ่านห้องเผาไหม้ออกไปทางปล่องไฟโดยไม่ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงมีอยู่มากพอสมควร อากาศที่ใช้เผาไหม้ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ต่ำลงเพราะต้องสูญเสียความร้อนไปกับอากาศส่วนเกินที่ออกไปทางปล่อง แต่ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ ประสิทธิภาพก็ต่ำเช่นเดียวกัน ดังนั้นในการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงในขั้นแรกจึงควรควบคุมปริมาณอากาศส่วนเกินให้พอเหมาะ (อัตราส่วนอากาศเกินที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 1.4)

นอกจากการควบคุมปริมาณอากาศที่ใช้เผาไหม้ให้เหมาะสมแล้ว การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้จะรวมถึงการควบคุมอุณหภูมิของก๊าซเสียให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ที่ต้องใช้การแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น หม้อไอน้ำ จะต้องมีการรักษาพื้นผิวถ่ายเทความร้อนให้ดีอยู่เสมอ การสูญเสียความร้อนจากก๊าซเสียเนื่องจากอุณหภูมิก๊าซเสียที่สูงเกินความจำเป็นก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ลดลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ในทางปฏิบัติควรปรับปริมาณอากาศส่วนเกินเท่ากับ 1.4 (ตามที่กระทรวงกำหนด) หรือคิดเป็น 4.8%O_2 แล้วทำการคำนวณปริมาณก๊าซเสียจากการเผาไหม้

ตารางที่ 4.3 แสดงตัวแปรที่สำคัญของมาตรการการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้

ตัวแปรที่สำคัญ	ค่าที่ได้	ที่มา
ปริมาณก๊าซเสียที่วัดค่าได้ (m^3/kg_{fuel}); G_m		จากการตรวจวัด
ปริมาณก๊าซเสียเมื่อปรับอากาศส่วนเกิน(m^3/kg_{fuel}); G		สมการ 4.28
ปริมาณก๊าซเสียที่ลดลง (m^3/kg_{fuel})		สมการ 4.29
เชื้อเพลิงจริงก่อนการปรับปรุง (l/hr); F_{old}		จากการตรวจวัด
เชื้อเพลิงหลังการปรับปรุง (l/hr); F_{new}		สมการ 4.1
ชั่วโมงการทำงานของหม้อน้ำมันร้อน (hr/year) ; HPY		จากการตรวจวัด
ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงได้ (l/year)		สมการ 4.31
ราคาค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย(฿/l)		จากข้อมูลด้านการตลาด
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (฿/year)		สมการ 4.32

1. ปริมาณก๊าซเสียเมื่อปรับอากาศส่วนเกิน(G)

$$G = G_o + A_o (M-1) \qquad (4.28)$$

โดยที่ G = ปริมาณก๊าซเสียจริง (m^3/m^3_{fuel})

G_o = ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎี (m^3/m^3_{fuel})

A_o = ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (m^3/kg_{fuel})

M = อัตราส่วนอากาศ

2. ปริมาณก๊าซเสียที่ลดลง

$$\text{ปริมาณก๊าซเสียที่ลดลง} = G_m - G \qquad (4.29)$$

โดยที่ G_m = ปริมาณก๊าซเสียที่วัดค่าได้ (m^3/m^3_{fuel})

จะเห็นว่า ก๊าซเสียที่ลดลง G_m - G นั้นแสดงให้เห็นถึงความร้อนสูญเสียที่ลดลงด้วยรวมทั้งปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง ขั้นต่อไปจะแสดงผลจากการปรับปรุง โดยกำหนดให้เชื้อเพลิงที่ใช้หลังการปรับปรุงมีค่า F ลิตรต่อชั่วโมง และอุณหภูมิก๊าซเสียหลังจากที่ทำการปรับปริมาณอากาศส่วนเกินลดลง

โดยประมาณ 5 °C จากสมดุลความร้อนของหม้อน้ำมันร้อน (อุณหภูมิอ้างอิงที่ 25.0°C) ทำการแทนค่าต่าง ๆ ลงไปในสมการ 4.1 แล้วคำนวณหาค่า F_{new} ออกมา

3. ปริมาณเชื้อเพลิงจะลดลง

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงจะลดลง} = F_{old} - F_{new} \qquad (4.30)$$

4. ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลงได้

$$\text{เชื้อเพลิงที่ลดลง} = (F_{old} - F_{new}) \times HPY \qquad (4.31)$$

โดยที่ F_{old} = เชื้อเพลิงจริงก่อนการปรับปรุง (l/hr)

F_{new} = เชื้อเพลิงหลังการปรับปรุง (l/hr)

HPY = ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ (hr/year)

5. ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

$$\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} = \text{ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลง} \times \text{ราคาค่าเชื้อเพลิงเฉลี่ย} \qquad (4.32)$$

<u>4. มาตรการซ่อมรอยรั่วในระบบไอน้ำ</u>

เมื่อท่อส่งไอน้ำเกิดรอยรั่วรวมถึงไอน้ำที่มีความดันสูง จึงทำให้ไอน้ำรั่วออกมาภายนอก ซึ่งไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ใด ๆ แล้วยังเป็นการสูญเสียพลังงานอีกด้วยเป็นผลให้เชื้อเพลิงที่ใช้เพิ่มขึ้น ดังนั้นการซ่อมแซมรอยรั่วจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้พลังงานไม่สูญหายไปมากขึ้น ถ้าอาคารหรือโรงงานใดที่ไม่มีรอยรั่ว ควรหมั่นตรวจสอบอยู่เสมอเมื่อเกิดปัญหาจะได้รีบแก้ไข ซึ่งมาตรการการซ่อมรอยรั่วนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงตัวแปรที่สำคัญของมาตรการซ่อมรอยรั่วในระบบไอน้ำ

ตัวแปรที่สำคัญ	ค่าที่ได้	ที่มา
ปริมาณไอน้ำที่รั่ว (kg/hr); S_2		จากการตรวจวัด
เอนธาลปีของไอน้ำ (kcal/kg); h_w		คุณสมบัติของไอน้ำ
ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ (hr/year); HPY		จากการตรวจวัด
ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป (kcal/year)		สมการ 4.33
ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง;LHV		คุณสมบัติของเชื้อเพลิง
ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/m^3); D_f		คุณสมบัติของเชื้อเพลิง
ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย (฿/ m^3)		จากข้อมูลด้านการตลาด
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง (m^3/year)		สมการ 4.34
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้(฿/ year)		สมการ 4.35

1. ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป

$$\text{ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป} = S_2 \times h_w \times HPY \qquad (4.33)$$

โดยที่ S_2 = ปริมาณไอน้ำที่รั่ว (kg/hr)

h_w = เอนธาลปีของไอน้ำ (kcal/kg)

HPY = ชั่วโมงการทำงานของหม้อไอน้ำ (hr/year)

2. ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง

$$\text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่สูญเสียไป}}{\text{ค่าความร้อนเชื้อเพลิง} \times \text{ความหนาแน่นเชื้อเพลิง}} \qquad (4.34)$$

3. ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

$$\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} = \text{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ลดลง} \times \text{ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย} \qquad (4.35)$$

5. มาตรการการหุ้มฉนวนวาล์วและหน้าแปลน

ในโรงงานที่มีหม้อไอน้ำ โดยส่วนมากมักจะไม่ได้ใส่ใจกับเรื่องนี้เท่าใดนัก แต่เนื่องจากหน้าแปลนมีพื้นที่ผิวค่อนข้างมาก ความร้อนที่สูญเสียไปจึงเป็นผลให้ต้องใช้เชื้อเพลิงในการต้มน้ำมากขึ้น ยิ่งถ้ามีหลาย ๆ ตัวรวมกันก็ยิ่งทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็นเลย ดังนั้นโรงงานควรทำการหุ้มฉนวนใยแก้วที่วาล์วและหน้าแปลน ให้มีขนาดความหนาที่เหมาะสม (อุณหภูมิที่ผิวฉนวนหลังหุ้มไม่ควรสูงเกิน 50 °C ตามที่ร่างกฎกระทรวงกำหนดไว้) ซึ่งจะช่วยลดการ สูญเสียพลังงานความร้อนและปริมาณการใช้เชื้อเพลิงลงได้

6. มาตรการเปลี่ยนน้ำมันเตาเกรด A มาใช้น้ำมันเตาเกรด C

เนื่องจากน้ำมันเตาเกรด A เมื่อเทียบกันกับน้ำมันเตาเกรด C แล้ว พบว่ามีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน(มีค่าความร้อนใกล้เคียงกัน) และเนื่องด้วยน้ำมันเตาเกรด C นั้นมีราคาถูกกว่าน้ำมันเตาเกรด A เพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงานและเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย จึงควรหันมาใช้น้ำมันเตาเกรด C แทน เนื่องจากน้ำมันเตาเกรด C มีความหนืดมากกว่าน้ำมันเตาเกรด A จึงจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิน้ำมันจาก 74°C เป็น 110 °C ถึงจะมีความหนืดเท่าเดิมและนำกลับไปใช้กับหัวเผาตัวเดิมได้ ซึ่งรายละเอียดการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์มาตรการเปลี่ยนน้ำมันเตา

รายการ	ค่าที่ได้	ที่มา
น้ำมันเตาเกรด A ราคาเฉลี่ยต่อลิตร (฿/l); B_a		จากการตรวจวัด
น้ำมันเตาเกรด C ราคาเฉลี่ยต่อลิตร (฿/l); B_c		จากการตรวจวัด
ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด A ต่อปี (l/year);W_a		จากการตรวจวัด
ค่าใช้จ่ายการซื้อน้ำมันลดลง (฿/year); B_o		สมการ 4.36
ค่าความร้อนของน้ำมันเตาเกรด A (kcal/kg); HL_a		จากคุณสมบัติเชื้อเพลิง
ความหนาแน่นของน้ำมันเตาเกรด A (kg/l); D_a		จากคุณสมบัติเชื้อเพลิง
ค่าความร้อนทั้งหมดของการใช้น้ำมันเตาเกรด A (kcal); Q_{Ha}		สมการ 4.37
ค่าความร้อนของน้ำมันเตาเกรด C (kcal/kg); HL_c		จากคุณสมบัติเชื้อเพลิง
ความหนาแน่นของน้ำมันเตาเกรด C (kg/l); D_c		จากคุณสมบัติเชื้อเพลิง

ตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์มาตรการเปลี่ยนน้ำมันเตา(ต่อ)

รายการ	ค่าที่ได้	ที่มา
ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด C ต่อปี (l/yaer); W_c		สมการ 4.38
ปริมาณน้ำมันเตาเกรด C ที่เพิ่มขึ้น (l/year); W_d		สมการ 4.39
ค่าใช้จ่ายจากปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (฿/year); B_p		สมการ 4.40
อุณหภูมิเดิมที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันเตา (°C); T_1		จากการตรวจวัด
อุณหภูมิใหม่ที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันเตา (°C); T_2		จากการตรวจวัด
ค่าความร้อนจำเพาะน้ำมันเตาเกรด C (kcal/l-°C); Cp_c		จากคุณสมบัติเชื้อเพลิง
ความร้อนในการอุ่นน้ำมันเตาเพิ่มขึ้น (GJ); Q_h		สมการ 4.41
ค่าใช้จ่ายคิดเป็นปริมาณไฟฟ้า (kWh/year); B_t		สมการ 4.42
ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (฿/kWh); B_k		จากข้อมูลโรงงาน
ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ (฿/year); B_h		สมการ 4.43
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (฿/year); Bt_o		สมการ 4.44
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ (฿/year)		สมการ 4.45

1. ค่าใช้จ่ายการซื้อน้ำมันลดลง (B_o)

$$B_o = W_a \times (B_a - B_c) \qquad (4.36)$$

โดยที่ B_o = ค่าใช้จ่ายการซื้อน้ำมันลดลง (฿/year)
W_a = ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด A ต่อปี (l/year)
B_a = น้ำมันเตาเกรด A ราคาเฉลี่ยต่อลิตร (฿/l)
B_c = น้ำมันเตาเกรด C ราคาเฉลี่ยต่อลิตร (฿/l)

2. ค่าความร้อนทั้งหมดของการใช้น้ำมันเตาเกรด A (Q_{Ha})

$$Q_{Ha} = W_a \times D_a \times HL_a \qquad (4.37)$$

โดยที่ Q_{Ha} = ค่าความร้อนทั้งหมดของการใช้น้ำมันเตาเกรด A (kcal)
W_a = ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด A ต่อปี (l/year)

D_a = ความหนาแน่นของน้ำมันเตาเกรด A (kg/l)

HL_a = ค่าความร้อนของน้ำมันเตาเกรด A (kcal/kg)

3. ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด C ต่อปี (Q_c)

$$W_c = Q_{Ha} / (HL_c \times D_c) \quad (4.38)$$

โดยที่ W_c = ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด C ต่อปี (l/year)

HL_c = ค่าความร้อนของน้ำมันเตาเกรด C (kcal/kg)

D_c = ความหนาแน่นของน้ำมันเตาเกรด C (kg/l)

4. ปริมาณน้ำมันเตาเกรด C ที่เพิ่มขึ้น (Q_d)

$$W_d = W_c - W_a \quad (4.39)$$

โดยที่ W_d = ปริมาณน้ำมันเตาเกรด C ที่เพิ่มขึ้น (l/year)

W_c = ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด C ต่อปี (l/year)

W_a = ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด A ต่อปี (l/year)

5. ค่าใช้จ่ายจากปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (B_p)

$$B_p = B_c \times W_d \quad (4.40)$$

โดยที่ B_p = ค่าใช้จ่ายจากปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (฿/year)

B_c = น้ำมันเตาเกรด C ราคาเฉลี่ยต่อลิตร (฿/l)

W_d = ปริมาณน้ำมันเตาเกรด C ที่เพิ่มขึ้น (l/year)

6. ความร้อนในการอุ่นน้ำมันเตาเพิ่มขึ้น (Q_h)

$$Q_h = W_c \times Cp_c \times (T_2 - T_1) \times 4.184 \times 10^{-6} \quad (4.41)$$

โดยที่ Q_h = ความร้อนในการอุ่นน้ำมันเตาเพิ่มขึ้น (GJ)

W_c = ปริมาณการใช้น้ำมันเตาเกรด C ต่อปี (l/year)

Cp_c = ค่าความร้อนจำเพาะน้ำมันเตาเกรด C (kcal/l-°C)

T_2 = อุณหภูมิใหม่ที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันเตา (°C)

T_1 = อุณหภูมิเดิมที่ใช้ในการอุ่นน้ำมันเตา (°C)

7. ค่าใช้จ่ายคิดเป็นปริมาณไฟฟ้า (B_t)

$$\mathbf{B_t = Q_h / 0.0036} \qquad \textbf{(4.42)}$$

โดยที่ B_t = ค่าใช้จ่ายคิดเป็นปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)

Q_h = ความร้อนในการอุ่นน้ำมันเตาเพิ่มขึ้น (GJ)

8. ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ (B_h)

$$\mathbf{B_h = B_t \times B_k} \qquad \textbf{(4.43)}$$

โดยที่ B_h = ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ (฿/year)

B_t = ค่าใช้จ่ายคิดเป็นปริมาณไฟฟ้า (kWh/year)

B_k = ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (฿/kWh)

9. รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Bt_o)

$$\mathbf{Bt_o = B_p + B_h} \qquad \textbf{(4.44)}$$

โดยที่ Bt_o = รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (฿/year)

B_p = ค่าใช้จ่ายจากปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (฿/year)

B_h = ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิ (฿/year)

10. ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

$$\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} = B_o - Bt_o \quad (4.45)$$

โดยที่ B_o = ค่าใช้จ่ายการซื้อน้ำมันลดลง (฿/year)

Bt_o = รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (฿/year)

7. มาตรการปรับปรุงการ Blowdown ของน้ำ

ตามมาตรฐานค่า Total Dissolve Solid (TDS) ของน้ำภายในหม้อไอน้ำควรมีค่าประมาณ 3,500 ppm หากมีค่า TDS ต่ำกว่าหรือสูงกว่าก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไอน้ำลดลง และเป็นเหตุให้ต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยที่รายละเอียดของมาตรการได้แสดงไว้ดังตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์มาตรการเปลี่ยนน้ำมันเตา

ตัวแปรที่สำคัญ	ค่าที่ได้	ที่มา
ปริมาณน้ำที่นำไปใช้จริง kg/hr ; S		สมการ 4.48
ปริมาณน้ำป้อน(kg/hr) ; W		จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำโบว์ดาวน์ (°C) ; T_b		จากการตรวจวัด
TDS น้ำป้อน (ppm) ; TDS_W		จากการตรวจวัด
TDS ของน้ำใน Boiler (ppm) ; TDS_B		จากการตรวจวัด
%Blowdown		สมการ 4.46
Blowdown (kg/hr)		สมการ 4.47
$Blowdown_{จริง}$ (kg/hr)		สมการ 4.49
$\%Blowdown_{ปรับปรุง}$		สมการ 4.50
$Blowdown_{ปรับปรุง}$ (kg /hr)		สมการ 4.51
$Blowdown_{ลดลง}$ (kg /hr)		สมการ 4.52
ค่าความร้อนน้ำมันเตา (kcal/kg)		คุณสมบัติของเชื้อเพลิง
ปริมาณความร้อน $Blowdown_{ลดลง}$ (kcal/hr)		สมการ 4.53
ปริมาณน้ำมันเตาที่ ลดลงได้ (kg /hr)		สมการ 4.54
ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้(kg /year)		สมการ 4.55

ก่อนปรับปรุง

จาก $$\%Blowdown = \frac{TDS_W \times 100\%}{TDS_B - TDS_W} \quad (4.46)$$

จาก $$Blowdown = \%Blowdown \times F_W \quad (4.47)$$

และ $$S = W - Blowdown \quad (4.48)$$

จะได้ว่า $$Blowdown_{จริง} = \frac{\%Blowdown \times S}{100\% - \%Blowdown} \quad (4.49)$$

หลังปรับปรุง (TDS_B = 3,500 ppm)

จาก $$\mathbf{\%Blowdown_{ปรับปรุง} = \frac{TDS_W \times 100\%}{3500 - TDS_W}} \quad (4.50)$$

$$\mathbf{Blowdown_{ปรับปรุง} = \frac{\%Blowdown_{ปรับปรุง} \times S}{100\% - \%Blowdown}} \quad (4.51)$$

$$\mathbf{Blowdown_{ลดลง} = (\%Blowdown_{จริง} - \%Blowdown_{ปรับปรุง})\ Blowdown_{จริง}} \quad (4.52)$$

ที่ความดันไอน้ำใช้งานที่ 7 kg/cm^2 ที่อุณหภูมิอ้างอิง 25.0°C จะได้ว่า

$$\mathbf{ปริมาณความร้อน\ Blowdown_{ลดลง} = Blowdown_{ลดลง} \times (T_b - 25.0)\ kcal/kg} \quad (4.53)$$

$$\mathbf{ปริมาณน้ำมันเตาที่ ลดลง = \frac{ปริมาณความร้อน\ Blowdown ที่ลดลง}{ค่าความร้อนน้ำมันเตา}} \quad (4.54)$$

$$\mathbf{ปริมาณเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ = ปริมาณน้ำมันเตาที่ ลดลง \times เวลาทำงาน} \quad (4.55)$$

4.2 หม้อน้ำมันร้อน(Hot Oil)

หม้อน้ำมันร้อนมักพบในโรงงานอุตสาหกรรม มีหน้าที่ส่งน้ำมันไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรักษาอุณหภูมิของอุปกรณ์ให้เป็นไปตามที่ต้องการ เพื่อให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุด ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้นั้นเหมือนกับหม้อไอน้ำ คือ น้ำมันเตาเกรด A และ เกรด C น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ขี้เลื่อย เป็นต้น

4.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ลักษณะคล้ายกับหม้อไอน้ำคือ การทำสมดุลความร้อน โดยข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 4.7 เพื่อใช้วิเคราะห์หาประสิทธิภาพของหม้อน้ำมันร้อน(Hot Oil)

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์หม้อน้ำมันร้อน

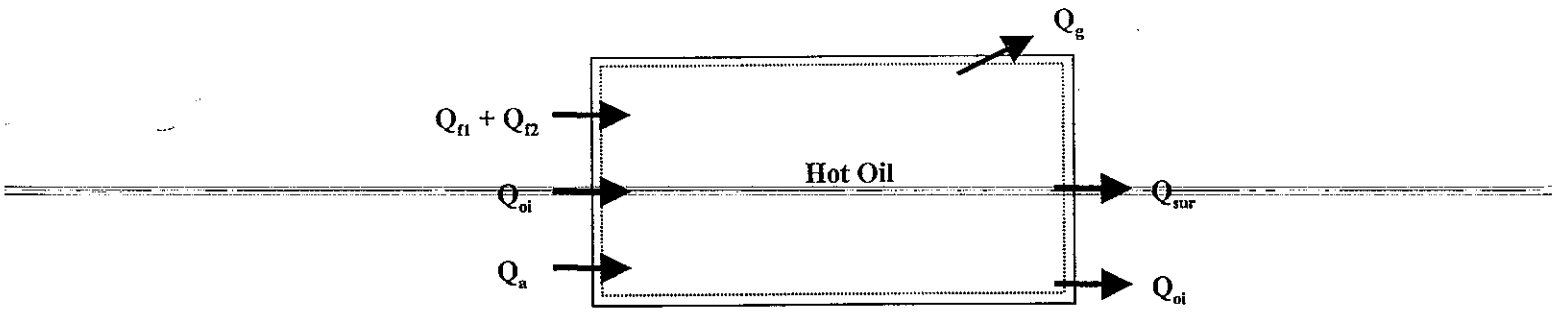
สภาวะการใช้งาน		ที่มา
กำลังการผลิตติดตั้ง	อัตราการผลิตความร้อน (kW)	ข้อมูลเครื่อง
	ความดันน้ำมันร้อนสูงสุด (kg/cm^2)	ข้อมูลเครื่อง
	อุณหภูมิน้ำมันร้อนสูงสุด ($^\circ C$)	ข้อมูลเครื่อง
	อัตราการไหลของน้ำมันร้อนสูงสุด (l/s)	ข้อมูลเครื่อง
กำลังการผลิตจริง	ความดันน้ำมันร้อนที่ใช้งาน (kg/cm^2)	จากการตรวจวัด
	ค่าความร้อนจำเพาะน้ำมันร้อน (kcal/kg-$^\circ C$); Cp_o	คุณสมบัติของน้ำมัน
	ค่าความหนาแน่นน้ำมันร้อน (kg/l) ; D_o	คุณสมบัติของน้ำมัน
	อัตราการไหลของน้ำมันร้อน (l/s) ; F_o	จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิน้ำมันร้อนเข้า ($^\circ C$) ; T_{oi}	จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิน้ำมันร้อนออก ($^\circ C$) ; T_{oe}	จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิอากาศอ้างอิง ($^\circ C$) ; T_r	25 $^\circ C$
เชื้อเพลิง	ชนิด	จากการตรวจวัด
	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (SCMH) l/hr ; F	จากการตรวจวัด/คำนวณ
	ค่าความร้อนต่ำ (kcal/kg) ; LHV	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง
	ค่าความร้อนจำเพาะ Cp (kcal/kg-$^\circ C$) ; Cp_f	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง
	อุณหภูมิเชื้อเพลิงป้อนเข้าเผาไหม้ ($^\circ C$) ; T_f	จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์หม้อน้ำมันร้อน(ต่อ)

สภาวะการใช้งาน			ที่มา
เชื้อเพลิง(ต่อ)	ค่าความหนาแน่นเชื้อเพลิง (kg/l) ; D_f		คุณสมบัติของเชื้อเพลิง
	อุณหภูมิอ้างอิง ($^{\circ}C$) ; T_r		25 $^{\circ}C$
หัวเผา	ชนิด		จากการตรวจวัด
	การควบคุมหัวเผาแบบ		จากการตรวจวัด
	ปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงสูงสุด (SCMH) l/hr		จากการตรวจวัด
	ความดันก๊าซหรือน้ำมันส่ง/กลับ (psig)		จากการตรวจวัด
เครื่องสูบน้ำมันร้อน	ค่าพิกัดติดตั้ง	กำลังไฟฟ้า (kW)	ข้อมูลเครื่อง
		Head (m)	ข้อมูลเครื่อง
		อัตราการไหล (l/s)	ข้อมูลเครื่อง
	ค่าตรวจวัด	กำลังไฟฟ้า (kW)	จากการตรวจวัด
		Head (m)	จากการตรวจวัด
		อัตราการไหล (l/s)	จากการตรวจวัด
ระบบอุ่นเชื้อเพลิง (Preheater)	ประเภทของอุปกรณ์		ข้อมูลเครื่อง
	อุณหภูมิใช้งานสูงสุด ($^{\circ}C$)		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิก่อนอุ่น ($^{\circ}C$)		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิหลังอุ่น ($^{\circ}C$)		จากการตรวจวัด
อากาศป้อน	อุณหภูมิอากาศป้อนเข้าเผาไหม้ ($^{\circ}C$) ; T_a		จากการตรวจวัด
	อัตราส่วนอากาศ ; M		สมการ 4.60
	ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (m^3/kg_{fuel}) ; A_O		สมการ 4.61
	ปริมาณอากาศใช้จริง (m^3/kg_{fuel}) ; A		สมการ 4.62
	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศป้อน(kcal/Nm^3 $^{\circ}C$); Cp_a		คุณสมบัติของอากาศ
	อุณหภูมิอ้างอิง ($^{\circ}C$) ; T_r		25 $^{\circ}C$
ก๊าซเสีย	อุณหภูมิ ($^{\circ}C$) ; T_g		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ O_2 (%)		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ CO_2 (%)		จากการตรวจวัด
	ปริมาณ CO (ppm)		จากการตรวจวัด
	ปริมาณก๊าซเสียทางทฤษฎี (m^3/m^3_{fuel}) ; G_O		สมการ 4.65/4.66

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์หม้อน้ำมันร้อน(ต่อ)

สภาวะการใช้งาน			ที่มา
	ปริมาณก๊าซเสียจริง (m^3/m^3_{fuel}) ; G		สมการ 4.67
	ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศป้อน(kcal/m^3°C); Cp_g		คุณสมบัติของอากาศ
	อุณหภูมิอากาศอ้างอิง (°C) ; T_r		25 °C
ผนังหม้อน้ำมัน	ด้านหน้า	อุณหภูมิ (°C)	จากการตรวจวัด
		พื้นที่ผิว (m^2)	จากการตรวจวัด
	ด้านหลัง	อุณหภูมิ (°C)	จากการตรวจวัด
		พื้นที่ผิว (m^2)	จากการตรวจวัด
	ด้านข้าง	อุณหภูมิ (°C)	จากการตรวจวัด
		พื้นที่ผิว (m^2)	จากการตรวจวัด
ประสิทธิภาพหม้อน้ำมันร้อน	ความร้อนเข้า Q in (kcal/hr)	ความร้อนแฝงเชื้อเพลิง (Q_{f1})	สมการ 4.56
		ความร้อนสัมผัสเชื้อเพลิง (Q_{f2})	สมการ 4.57
		ความร้อนอากาศป้อนเข้า (Q_a)	สมการ 4.59
		ความร้อนน้ำมันป้อนเข้า (Q_{oi})	สมการ 4.58
	ความร้อนออก Q out (kcal/hr)	ความร้อนจากน้ำมันร้อน (Q_{oe})	สมการ 4.71
		ความร้อนก๊าซเสีย (Q_g)	สมการ 4.64
		ความร้อนสูญเสียผ่านผนัง (Q_{sur})	สมการ 4.68
		ความร้อนสูญเสียอื่นๆ (Q_o)	สมการ 4.72
	ความร้อนรวม Q total (kcal/hr)	ความร้อนรวม (Q_t)	สมการ 4.73
	ประสิทธิภาพหม้อน้ำมันร้อน $\eta_{Hot\ Oil}$ (%)		สมการ 4.74
สภาพการใช้งานและการบำรุงรักษา			



รูปที่ 4.2 *สมดุลความร้อนของหม้อน้ำมันร้อน*

การทำสมดุลความร้อนของหม้อน้ำมันร้อน (Heat Balance of Hot Oil)

$$\text{ปริมาณความร้อนเข้า} = \text{ปริมาณความร้อนออก} \qquad (4.1)$$

ปริมาณความร้อนเข้า

1. ความร้อนจากเชื้อเพลิง (kcal/hr)

1.1 ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Q_{f1})

$$Q_{f1} = F \times D_f \times LHV \qquad (4.56)$$

1.2 ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง(Q_{f2})

$$Q_{f2} = F \times D_f \times Cp_f \times (T_f - T_r) \qquad (4.57)$$

โดยที่ Q_{f1} = ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง(kcal/hr)

Q_{f2} = ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง(kcal/hr)

F = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (l/hr)

D_f = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/l)

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kcal/kg)

Cp_f = ค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง (kcal/kg°C)

T_f = อุณหภูมิของเชื้อเพลิงก่อนเข้าหม้อน้ำมันร้อน (°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

2. ความร้อนสัมผัสของน้ำมันป้อน (Q_{oi})

$$Q_{oi} = F_o \times D_o \times Cp_o \times (T_{oi} - T_r) \quad (4.58)$$

โดยที่ Q_{oi} = ความร้อนสัมผัสของน้ำมันป้อน (kcal/hr)
F_o = ปริมาณน้ำมันป้อน (kg/hr)
D_o = ความหนาแน่นของน้ำมัน (kg/l)
Cp_o = ค่าเอนธาลปีของน้ำมันป้อนที่อุณหภูมิอ้างอิง (kcal/kg)
T_{oi} = อุณหภูมิของน้ำมันก่อนเข้าหม้อน้ำมันร้อน (°C)
T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

3. ความร้อนสัมผัสของอากาศป้อน (Q_a)

$$Q_a = A \times F \times D_f \times Cp_a \times (T_a - T_r) \quad (4.59)$$

โดยที่ Q_a = ความร้อนสัมผัสของอากาศป้อน (kcal/hr)
A = ปริมาณอากาศป้อนที่ใช้จริง (m^3/kg_{fuel})
F = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (l/hr)
D_f = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/l)
Cp_a = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศป้อน (0.31 kcal/kg°C)
T_a = อุณหภูมิอากาศป้อน (°C)
T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

3.1 การคำนวณหาค่า A

จาก อัตราส่วนอากาศ (M) $= \dfrac{21}{21 - O_2}$ (4.60)

ปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Ao) $= \dfrac{0.85\ LHV + 2}{1{,}000}$ ...สำหรับเชื้อเพลิงเหลว (4.61)

หรือปริมาณอากาศทางทฤษฎี (Ao) $= \frac{1.01\ LHV + 0.5}{1,000}$ ...สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง **(4.62)**

ปริมาณอากาศที่ใช้จริง (A) $= MA_o$ **(4.63)**

โดยที่ O_2 = % ออกซิเจนในไอเสีย

LHV = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kcal/kg)

ปริมาณความร้อนออก

1. ความร้อนจากไอเสีย (Q_g)

$$Q_g = G \times F \times D_f \times Cp_g \times (T_g - T_r) \quad \textbf{(4.64)}$$

โดยที่ Q_g = ความร้อนจากไอเสีย (kcal/hr)

G = ปริมาณไอเสียจริง (m^3/kg_{fuel})

F = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (l/hr)

D_f = ความหนาแน่นของเชื้อเพลิง (kg/l)

Cp_g = ค่าความร้อนจำเพาะของไอเสีย (kcal/kg°C)

T_g = อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

1.1 การคำนวณหาค่าปริมาณไอเสียจริง (G)

จาก ปริมาณไอเสียทางทฤษฎี (Go) $= \frac{1.11\ LHV}{1,000}$ .....สำหรับเชื้อเพลิงเหลว **(4.65)**

ปริมาณไอเสียทางทฤษฎี (Go) $= \frac{0.89\ LHV + 1.65}{1,000}$ ...สำหรับเชื้อเพลิงแข็ง **(4.66)**

ปริมาณไอเสียจริง (G) $= G_0 + (M - 1)\ A_0$ **(4.67)**

2. ความร้อนสูญเสียจากผนังหม้อน้ำมันร้อน (Q_{sur})

$$Q_{sur} = Q_c + Q_r \quad (4.68)$$

โดยที่ Q_{sur} = ความร้อนสูญเสียจากผนังหม้อน้ำมันร้อน (kcal/hr)

Q_c = ความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน (kcal/hr)

$$= 4.88 \times 10^{-8} \times E \times a \times [(273 + T_{sur})^4 - (273 + T_r)^4] \quad (4.69)$$

Q_r = ความร้อนจากการพาความร้อนที่ผิวหม้อน้ำมันร้อน (kcal/hr)

$$= h_c \times a \times (T_{sur} - T_r) \quad (4.70)$$

E = ค่า Emissitivity ของพื้นผิวหม้อน้ำมันร้อน (ประมาณ 0.7-0.9)

a = พื้นที่ผิวผนังหม้อน้ำมันร้อน

T_{sur} = อุณหภูมิผิวผนังหม้อน้ำมันร้อน (°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง (°C)

h_c = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวหม้อน้ำมันร้อน (W/m^2-°C)

$= 1.5 (T_{sur} - T_r)^{1/4}$ (พื้นผิวแนวตั้ง)

$= 2.2 (T_{sur} - T_r)^{1/4}$ (พื้นผิวแนวนอน - ด้านบน)

$= 1.1 (T_{sur} - T_r)^{1/4}$ (พื้นผิวแนวนอน - ด้านล่าง)

3. ความร้อนที่น้ำมันร้อนได้รับ (Q_{oi})

$$Q_{oi} = F_o \times D_o \times Cp_o \times (T_{oe} - T_r) \quad (4.71)$$

โดยที่ Q_{oi} = ความร้อนที่น้ำมันร้อนได้รับ (kcal/hr)

F_o = อัตราการไหลของน้ำมัน(l/hr)

D_o = ความหนาแน่นของน้ำมัน(kg/l)

Cp_o = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมัน (kcal/kg°C)

T_{oe} = อุณหภูมิน้ำมันออก(°C)

T_r = อุณหภูมิอ้างอิง(°C)

4. ความร้อนสูญเสียอื่น ๆ (Q_o)

$$Q_o = (O_{fl} + O_{f2} + Q_a + Q_o) - (Q_g + Q_{sur} + Q_{oi}) \quad (4.72)$$

โดยที่ Q_o = ความร้อนสูญเสียอื่น ๆ (kcal/hr)

5. ความร้อนทั้งหมดที่ผลิต (Q_t)

$$Q_t = (O_{fl} + O_{f2} + Q_a + Q_o) \quad (4.73)$$

โดยที่ Q_t = ความร้อนทั้งหมดที่ผลิต (kcal/hr)

6.ประสิทธิภาพหม้อน้ำมันร้อน ($\eta_{Hot\ Oil}$)

$$\eta_{Hot\ Oil} = \frac{Q_{oi} \times 100\%}{(O_{fl} + O_{f2} + Q_a + Q_o)} \quad (4.74)$$

4.2.2 มาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

เนื่องจากการทำงานของระบบหม้อน้ำมันร้อนนั้นมีลักษณะคล้าย ๆ กับ หม้อไอน้ำ ดังนั้นมาตรการในระบบหม้อน้ำมันร้อนนั้นจะคล้ายกับในระบบหม้อไอน้ำเช่นกัน โดยมีลักษณะการคำนวณในทำนองเดียวกัน เช่น มาตรการหุ้มฉนวนท่อส่งน้ำมันร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิ มาตรการการปรับปรุงคุณภาพการเผาไหม้ มาตรการเปลี่ยนน้ำมันเตาเกรด A มาใช้น้ำมันเตาเกรด C มาตรการการหุ้มฉนวนวาล์วและหน้าแปลน มาตรการซ่อมรอยรั่ว

4.3 ระบบอัดอากาศ(Air Compressor)

ระบบอัดอากาศคือการนำอากาศจากภายนอกหรือจากแหล่งที่ต้องการมาเพิ่มความดันด้วย Compressor แล้วเก็บไว้ในถังเก็บอากาศ ซึ่งจะนำอากาศความดันสูงในถังเก็บอากาศไปใช้ประโยชน์ต่อ

ไป เช่น การทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ระบบนิวเมตริก เติมลม พ่นสี ฯ ซึ่งชนิด Compressor ที่ใช้มีอยู่หลายชนิดเช่น ชนิดลูกสูบ เป็นต้น

4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ ระบบอัดอากาศ จะมีรายละเอียดของการคำนวณหาประสิทธิภาพ ของเครื่องอัดอากาศ ปริมาณลมรั่วในระบบ ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นได้แสดงไว้ดังตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศลำดับที่		ค่าที่ได้	ที่มา
ประเภท/แบบ			ข้อมูลเครื่อง
ผู้ผลิต			ข้อมูลเครื่อง
ปีที่ผลิต			ข้อมูลเครื่อง
เวลาการทำงาน (hr/year)			จากการตรวจวัด
กำลังการผลิตอากาศอัดออกแบบ	อากาศอัดที่ผลิต (m^3/hr)		ข้อมูลเครื่อง
	ความดันอากาศอัดสูงสุด (kg/cm^2)		ข้อมูลเครื่อง
	อุณหภูมิอากาศอัดสูงสุด(^oC)		ข้อมูลเครื่อง
กำลังการผลิตอากาศอัดจริง	อากาศอัดที่ผลิตจริง (m^3/hr.)		จากการตรวจวัด
	ความดันอากาศอัดสูงสุด(kg/cm^2)		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิอากาศอัด(^oC)		จากการตรวจวัด
ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (%)			สมการ 4.76
สภาวะอากาศและความชื้นรอบห้องเครื่อง Air Comp (^oC / %RH)			จากการตรวจวัด
ระบบระบายความร้อน			จากการตรวจวัด
น้ำหล่อเย็น (กรณีระบายความร้อนด้วยน้ำ)	อุณหภูมิเข้า (^oC)		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิออก (^oC)		จากการตรวจวัด
	ปริมาณการไหล (l/s)		จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์ระบบอัดอากาศ(ต่อ)

เครื่องอัดอากาศลำดับที่		ค่าที่ได้	ที่มา
น้ำหล่อเย็น (กรณีระบายความร้อนด้วยอากาศ)	อุณหภูมิเข้า (°C)		จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิออก (°C)		จากการตรวจวัด
	ปริมาณการไหล (m^3/s)		จากการตรวจวัด
อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศอัด (หลังผ่าน After Cooler) (°C)			จากการตรวจวัด
ข้อมูลด้านไฟฟ้า	V (Load/Unload)		จากการตรวจวัด
	Ir (Load/Unload)		จากการตรวจวัด
	Is (Load/Unload)		จากการตรวจวัด
	It (Load/Unload)		จากการตรวจวัด
	kW (Load/Unload)		จากการตรวจวัด
	P.F. (Load/Unload)		จากการตรวจวัด
	kVA. (Load/Unload)		จากการตรวจวัด
	HR-Meter (Load/Total)		จากการตรวจวัด
ระบบอัดอากาศ			จากการตรวจวัด
ปริมาณลมรั่วในระบบ (m^3/hr) ; q_r			สมการ 4.77
ความดันอากาศเริ่มต้น (bar)			จากการตรวจวัด
ความดันอากาศสุดท้าย (bar)			จากการตรวจวัด
ปริมาณลมอัดอากาศรวมของระบบอัดอากาศที่ทำได้ (m^3/hr) ; q_t			สมการ 4.78
เวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องจากความดันเริ่มต้นจนถึงความดันสุดท้าย (Sec) ; t_3			จากการตรวจวัด
เวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องจากความดัน 6 bar จนถึง 7 bar (Sec) ; t_1			จากการตรวจวัด
เวลาที่ทำให้ความดันลดลงจากความดัน 7 bar จนถึง 6 bar (Sec) ; t_2			จากการตรวจวัด
ปริมาณอากาศอัดตามพิกัดเครื่อง (m^3/hr) ; q_s			จากการตรวจวัด
ปริมาณอากาศอัดทดสอบ (m^3/hr) ; q_a			สมการ 4.75
%การรั่ว			สมการ 4.79

การคำนวณ

1. ปริมาณอากาศอัดทดสอบ(q_a)

$$q_a = \frac{\text{ขนาดถัง x (ความดันสุดท้าย - ความดันเริ่มต้น) x 3,600 x 273}}{t_3 \times P_{abs} \times \text{อุณหภูมิอากาศอัด}} \quad (4.75)$$

โดยที่ q_a = ปริมาณอากาศอัดทดสอบ(m^3/hr)

t_3 = เวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องจากความดันเริ่มต้นจนถึงความดันสุดท้าย(s)

2. ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ

$$\text{ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศ (\%)} = \frac{q_a}{\text{อากาศอัดที่ผลิตออกแบบ}} \times 100\% \quad (4.76)$$

3. ปริมาณลมรั่วในระบบ (q_r)

$$q_r = \frac{q_a \times t_1}{t_1 + t_2} \quad (4.77)$$

โดยที่ t_1 = เวลาที่ใช้ในการเดินเครื่องจากความดัน 6 bar จนถึง 7 bar (s)

t_2 = เวลาที่ทำให้ความดันลดลงจากความดัน 7 bar จนถึง 6 bar (s)

4. ปริมาณลมอัดอากาศรวมของระบบอัดอากาศที่ทำได้(q_t)

$$q_t = \Sigma q_{ai} \quad (4.78)$$

โดยที่ q_t = ปริมาณลมอัดอากาศรวมของระบบอัดอากาศที่ทำได้ (m^3/hr)

q_{ai} = ปริมาณลมอัดของเครื่องอัดอากาศตัวที่ i (m^3/hr)

$$\%\text{การรั่ว} = \frac{q_r}{q_t} \times 100\% \quad (4.79)$$

4.3.2 มาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

1. มาตรการซ่อมแซมรอยรั่วในระบบอัดอากาศ

ในระบบอัดอากาศนั้นโดยทั่วไปต้องแป็นระบบปิดเพราะความดันภายในไม่เท่ากับความดันภายนอกแต่ในโรงงาน/อาคาร เมื่อมีการต่อท่อจากเครื่องอัดอากาศสู่ที่ใช้งานต้องมีวาล์ว ข้อต่อ ข้องอ เมื่อต่อไม่สนิทหรือมีการชำรุดเสียหายจึงเป็นเหตุให้อากาศความดันสูงที่อยู่ภายในท่อเกิดการรั่วออกสู่ภายนอกทำให้ความดันในท่อลดลง จึงต้องใช้ไฟฟ้าเดินเครื่องอัดอากาศให้ได้ความดันที่ต้องการโดยใช่เหตุ ดังนั้นจึงควรซ่อมแซมไม่ให้เกิดรอยรั่วในท่อโดยอากาศรั่วไม่ควรเกิน 5 % ซึ่งได้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงรายละเอียดของมาตรการซ่อมแซมรอยรั่วในระบบอัดอากาศ

ตัวแปรที่สำคัญ	ค่าที่ได้	ที่มา
% อากาศรั่วที่ลดลง (m^3/hr)		สมการ 4.80
ปริมาณอากาศรั่วที่ลด (m^3/day); q_{save}		สมการ 4.81
ค่าพลังงานไฟฟ้า (฿/kWh)		จากการตรวจวัด
พลังงานไฟฟ้ารวมที่ลดลง (kWh/day)		สมการ 4.82
พลังงานไฟฟ้ารวมที่ลดลง (kWh/year)		สมการ 4.83
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้		สมการ 4.84

1. เปอร์เซ็นต์อากาศรั่วที่ลดลง

$$\%\text{ อากาศรั่วลดลง} = \%\text{ การรั่วของระบบ} - 5\% \quad (4.80)$$

2. ปริมาณอากาศรั่วที่ลด (q_{save})

$$q_{save} = \%\text{อากาศรั่วที่ลดลง} \times \Sigma q_a \times \text{ชั่วโมงทำงานต่อวัน} \quad (4.81)$$

โดยที่ q_{save} = ปริมาณอากาศรั่วที่ลด(m^3/day)

Σq_a = ปริมาณการผลิตอากาศอัดรวม(m^3/hr)

จากผลการตรวจวัดการใช้พลังงานต่อเนื่องของระบบอัดอากาศในแต่ละวันโดยเฉลี่ย สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ ดังนี้

ในการผลิตอากาศอัดรวม Σq_a ใช้พลังงานไฟฟ้ารวม = X (kWh/day)

ดังนั้นที่ q_{save} ใช้พลังงานไฟฟ้า ดังข้อ 3.

3. พลังงานไฟฟ้ารวมที่ลดลง

$$\text{พลังงานไฟฟ้ารวมที่ลดลง} = \frac{(q_{save})(X)}{\Sigma q_a} \qquad (4.82)$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้ารวมที่ลดลง} = \text{พลังงานไฟฟ้ารวมที่ลดลง x วันทำงานต่อปี} \qquad (4.83)$$

4. ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้

$$\text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้ x วันทำงานต่อปี} \qquad (4.84)$$

หมายเหตุ: ผลการประหยัดที่คำนวณได้ในมาตรการนี้อ้างอิง ณ ความดันใช้งาน 7 บาร์เกจ เท่านั้น

2. มาตรการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

ในการอัดอากาศเข้าเครื่องอัดอากาศนั้นเมื่ออากาศที่มีอุณหภูมิสูงถูกนำไปใช้ในการอัดจะทำให้สูญเสียกำลังไฟฟ้ามากขึ้นเพราะอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะอัดตัวยากทำให้ต้องใช้แรงดันในกาศอัดอากาศเพื่อให้ได้ความดันที่ต้องการเพิ่มขึ้นแต่ถ้าอุณหภูมิของอากาศที่ใช้อัดมีค่าต่ำจะทำให้อากาศหดตัวสามารถอัดได้เพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้าในการอัดลดลงและทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง

สูตรที่ใช้คำนวณความสามารถในการประหยัดพลังงาน

1. จากสูตรหากำลังในการอัดอากาศของคอมเพรสเซอร์ (W_{comp})

$$W_{comp} = \frac{kRT_{in}}{k-1}\left[1-(P_{out}/P_{in})^{\frac{k-1}{k}}\right] \quad (4.85)$$

โดยที่ k = ค่าคงที่ = 1.4 สำหรับอากาศ

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T_{in} = อุณหภูมิอากาศก่อนอัดก่อนการปรับปรุง (K)

T'_{in} = อุณหภูมิอากาศก่อนอัดหลังการปรับปรุง (K)

P_{out} = ความดันอากาศหลังอัด (ความดันขณะใช้งาน)

P_{in} = ความดันอากาศก่อนอัด (ความดันขณะใช้งาน)

ก่อนปรับปรุง $W_{comp} = \frac{kRT_{in}}{k-1}\left[1-(P_{out}/P_{in})^{0.23}\right]$ (4.86)

หลังปรับปรุง $W'_{comp} = \frac{kRT'_{in}}{k-1}\left[1-(P'_{out}/P_{in})^{0.23}\right]$ (4.87)

(4.87) / (4.86), $\frac{W'_{comp}}{W_{comp}} = \frac{T'_{in}}{T_{in}}$ (4.88)

2. เปอร์เซ็นต์กำลังขับที่ลดลง

เปอร์เซ็นต์กำลังขับที่ลดลง = $W_{comp} - W'_{comp}$ (4.89)

3. พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง = เปอร์เซ็นต์กำลังขับที่ลดลงx กำลังไฟฟ้าของเครื่องอัด x %Load x %การทำงาน x ชั่วโมงทำงานต่อปี (4.90)

4.3.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศ ต้องประกอบด้วย การออกแบบระบบที่ดี การเลือกใช้ประเภทและขนาดของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสม ขนาดของถังเก็บอากาศมีปริมาณที่เพียงพอกับลักษณะของงาน ขนาดของท่อเมนต้องโตพอที่จะทำให้ความเร็วของอากาศไม่สูงเกินไปจนเป็นสาเหตุของการสูญเสียความดันและการแยกคอนเดนเสททำได้ยากเกินไป การออกแบบระบบความดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน การอัดอากาศความดันที่สูงแล้วไปลดอีกที่ที่จุดใช้งานจะทำให้ระบบความดันที่สม่ำเสมอ แต่การกำหนดความดันที่สูงมาก จะมีผลต่อให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ดีก็มีส่วนต่อการใช้พลังงาน เมื่อออกแบบให้ดีแล้วการใช้งานและการบำรุงรักษาต้องดีด้วย การประหยัดพลังงานในระบบอัดอากาศสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1. การทำความสะอาดไส้กรองอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้ปริมาณอากาศอัดด้านจ่ายออกมีประสิทธิภาพ ซึ่งหากไส้กรองตันจะทำให้ปริมาณอากาศด้านจ่ายออกลดลง และมีผลทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อดูดอากาศเข้าเครื่องอย่างเพียงพอ

2. การปรับตั้งค่าความดันของเครื่องอัดอากาศ ควรจะตั้งค่าที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งการตั้งค่าความดันสูงกว่าที่ต้องการนั้น ทำให้ต้องเสียพลังงานมากขึ้นและยังสิ้นเปลือง ณ จุดที่ไม่มีตัวควบคุมความดัน รวมถึงไปจุดที่มีลมรั่วไหลด้วย หากสามารถลดความดันได้ 0.5 bar จะประหยัดพลังงานของเครื่องอัดอากาศได้ถึง 4% และยังเป็นการลดปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดด้วยรั่วไหลได้ด้วย

3. การทำความสะอาด After Cooler ของเครื่องอัดอากาศ อากาศอัดที่ออกจากคอมเพรสเซอร์ซึ่งมีอุณหภูมิสูง จะต้องผ่านการระบายความร้อนด้วยอากาศเพื่อลดอุณหภูมิลงโดยผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่เรียกว่า After Cooler ซึ่งหากมีสิ่งสกปรกหรือฝุ่นละอองจับที่อุปกรณ์ดังกล่าว จะทำให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนลดลง อุณหภูมิของอากาศอัดที่ออกจาก After Cooler จะสูงกว่าที่ควรเป็น (อุณหภูมิจุดน้ำค้าง หรือ Dew Point มีค่าสูง) เป็นผลให้ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศอัดกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ง่าย ซึ่งนอกจากจะทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ลมอัดเกิดความเสียหายแล้ว ยังจะทำให้เครื่องอัดอากาศต้องทำงานเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยอากาศอัดส่วนหนึ่งที่สูญเสียไปขณะระบายน้ำออกจากระบบด้วย Automatic Drain ทางโรงงานจึงควรทำความสะอาด After Cooler อย่างสม่ำเสมอ

4. ท่อดูดอากาศ การออกแบบควรให้ท่อดูดอากาศนำอากาศจากภายนอก โดยให้ได้รับอากาศที่เย็น, แห้ง และสะอาด ในกรณีที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง $3^{\circ}C$ จะทำให้ใช้พลังงานลดลง 1% การได้รับอากาศแห้งจะทำให้ลดความจำเป็นที่ต้องอัดไอน้ำให้ได้ความดันเท่ากับอากาศ แล้วความดันของไอน้ำก็ไม่สามารถใช้ประโยชน์ใด ๆ ไอน้ำจำนวนนี้จะควบแน่นเป็นหยดน้ำหรือที่เรียกว่าคอนเดนเสท เมื่อคอนเดนเสทเกิดขึ้นจำเป็นต้องกำจัดออกด้วยวิธีการต่าง ๆ ส่วนความสะอาดของอากาศนั้นจะมีผลต่อฟิลเตอร์ เมื่ออากาศมีฝุ่นมากจะทำให้ฟิลเตอร์อุดตัน มีผลให้อากาศไหลเข้าน้อยลงและมากจะทำให้ฟิลเตอร์อุดตัน มีผลให้อากาศไหลเข้าน้อยลงและอัตราส่วนความดันอากาศสูงขึ้น ซึ่งมีผลทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้น

5. After cooler เนื่องจากอากาศที่ดูดเข้าไปมีความชื้นผสมเข้าไปด้วย ตัวอย่างเช่นอากาศอุณหภูมิ $35^{\circ}C$ ความชื้น 80% จะมีปริมาณน้ำในอากาศเป็น 0.0317 กิโลกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ในกรณีของเครื่องอัดอากาศขนาด 25 m^3/min จะมีปริมาณน้ำที่ผ่านเข้าเครื่องอัดอากาศเป็น 47.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง ถ้าไม่มี after cooler ความชื้นจำนวน 47.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจำนวน 41.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง น้ำจำนวนนี้เมื่อไหลเข้าไปในระบบท่อย่อมจะสร้างปัญหาต่าง ๆ เช่น ทำให้ท่อเป็นสนิมอันเป็นสาเหตุไปสู่ท่อผุและมีรูรั่วในที่สุด ส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงานต่อไป การติดตั้ง after cooler และ receiver ตามปกติแล้วจะสามารถแยกน้ำจากอากาศอัดในช่วงแรกนี้ให้ประมาณ 70% หรือน้ำยังคงไหลเข้าระบบท่ออีก 8.1 กิโลกรัม/ชั่วโมงการติดตั้ง after cooler จะช่วยลดปัญหานี้จากคอนเดนเสทลงได้มาก

6. Air Dryer ในลักษณะงานบางอย่างต้องการความชื้นในอากาศน้อยหรือต้องการความสะอาดมากเช่น การใช้อากาศอัดในการพ่นสีหรือในอุตสาหกรรมอาหาร Air Dryer จึงเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นที่ทำให้อากาศสะอาดและแห้งสนิท Air Dryer จะสามารถแยกความชื้นในอากาศอัดออกได้ถึง 96% สำหรับระบบอื่น ๆ เช่นการใช้อากาศในระบบควบคุม หรือ power การใช้ Air Dryer ก็เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ เนื่องจากการใช้ Air Dryer จะทำให้มีความชื้นเข้าไปในระบบท่อน้อยมาก ความชื้นจำนวนน้อยนี้จะไม่สามารถกลั่นตัวออกเป็นหยดน้ำหรือคอนเดนเสทออกมาได้ ซึ่งจะทำให้ลดการผุของท่อได้อย่างมาก ลดการติดขัดของอุปกรณ์ที่ใช้ลม นอกจากนี้การใช้ Air Dryer ยังไม่จำเป็นต้องมี Air trap และการต่อท่อแยกโค้งขึ้นอีกด้วย ตามรูปที่ 6.1 การตัด Air trap ออกไปทำให้ลดจุดการรั่วไหลใหญ่ได้อีกจุดหนึ่ง

7. ถังเก็บอากาศ สำหรับระบบที่มีความต้องการอากาศสม่ำเสมอ ถังเก็บอากาศควรจะมีขนาดประมาณ 10 วินาทีของขนาดเครื่องอัดอากาศ ตัวอย่างเช่น เครื่องอัดอากาศขนาด 25 m^3/min ควรจะมีขนาดของถังเก็บอากาศเป็น 4.2 m^3 ถังเก็บอากาศนี้จะช่วยให้ความดันในระบบสม่ำเสมอในกรณีที่ออกแบบให้ถังมีขนาดใหญ่มากจะสามารถรับปริมาณอากาศที่เกินกำลังของเครื่องอัดได้ในเวลาอันสั้นได้ ถังเก็บอากาศยังช่วยลดอุณหภูมิอากาศ ทำให้คอนเดนเสทแยกออกจากอากาศอัดได้บางส่วน การที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงจะช่วยลดความเสียดทานของอากาศกับผนังท่อลงได้

8. ท่อเมน ท่อเมนควรจะมีขนาดที่ใหญ่พอที่จะไม่ให้ความเร็วของอากาศภายในสูงเกินไป ตามปกติความเร็วของอากาศในท่อไม่ควรเกิน 6 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการสูญเสียความดันในท่อมากจนเกินไป การที่อากาศมีความเร็วสูงมาก ทำให้มีปัญหาในการแยกคอนเดนเสทออกอากาศอีกด้วย ลักษณะการต่อท่อเมนสำหรับระบบที่ใหญ่ท่อเมนนิยมต่อเป็นวงแหวน (Ring Main) สำหรับระบบที่เล็กการต่อเป็นแนวตรงก็ใช้ได้ ระบบของท่อเมน ต้องได้รับการดูแลให้มีการรั่วของอากาศไม่ให้เกิน 5% อีกด้วย

9. ในกรณีที่ความดันของอากาศ ที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ระดับและมีปริมาณการใช้ใกล้เคียงกัน ตัวอย่าง เช่นในโรงงานหนึ่งใช้อากาศมีความดันเป็น 2 ระดับ คือ กลุ่มหนึ่งใช้อากาศที่มีความดัน 6.0 bar ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งใช้อากาศที่มีความดัน 3.0 bar ในกรณีที่ทั้งสองกลุ่มมีปริมาณการใช้อากาศใกล้เคียงการใช้งานในลักษณะนี้โรงงานส่วนใหญ่จะผลิตอากาศที่ความดัน 7.0 bar ทั้งหมด แล้วลดความดันลงให้เหมาะสมกับจุดใช้งานที่ปลายทางการใช้งานในลักษณะนี้สำหรับกลุ่มที่ใช้ความดัน 3.0 bar จะสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก เพราะว่าต้องผลิตอากาศที่ความดัน 7.0 bar แต่ต้องลดความดันแล้วใช้งานเพียง 3.0 bar การใช้งานในลักษณะนี้ควรผลิตอากาศ อากาศแยกระบบ ระบบแรกผลิตที่ความดัน 7.0 bar เพื่อป้อนให้กลุ่มที่มีความต้องการของกลุ่ม 3.0 bar การใช้งานในลักษณะที่จะช่วยให้กลุ่มที่มีใช้ความดัน 3.0 bar ลดการใช้พลังงานลงได้ประมาณ 33%ในกรณีที่การใช้อากาศเป็นปริมาณที่เท่ากันของทั้งสองกลุ่ม การแบ่งผลิตอากาศในลักษณะนี้จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ 16.5% ของพลังงานที่ใช้ผลิตอากาศอัดทั้งหมด ได้เมื่อแบ่งเป็นสองระบบแล้วก็อาจจะต่อท่อและวาล์วลดความดันระหว่างระบบทั้งสองเพื่อใช้ในกรณีฉุกเฉิน

10.การใช้อากาศอัดเป่า ควรหลีกเลี่ยงการใช้อากาศอัดเป่าทำความสะอาด การเป่าให้แห้ง และอื่น ๆ ควรเลือกใช้พัดลมก่อน พัดลมใช้พลังงานน้อยกว่าอากาศอัดมากในปริมาณลมที่เป่าเท่ากัน ในกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้อากาศอัดเป่าควรเลือกใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า air inspirator ซึ่งใช้ชื่อทางการค้าว่า Jet flow อุปกรณ์ในลักษณะที่จะสามารถลดการใช้พลังงานสำหรับการเป่าลดได้ถึง 50% ของการใช้งานปกติ

11. การลดการสูญเสียเนื่องจากการรั่วไหลของอากาศ จากการเข้าไปตรวจวัดการใช้พลังงานพบว่าตามจุดต่อต่าง ๆ ของระบบท่ออัดอากาศ มีการรั่วไหลของอากาศอัด ทางโรงงานควรที่จะจัดทีมตรวจสอบและทำเครื่องหมายบริเวณที่มีการรั่วไหล และจัดบุคลากรทางด้านซ่อมบำรุงเข้าไปซ่อมแซมตามช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อไป โดยทีมตรวจสอบและซ่อมบำรุงอาจจะจัดให้มีตารางการตรวจสอบและซ่อมบำรุง ทุก 1-2 เดือน เพื่อลดการสูญเสียอากาศอัดจากการรั่วไหลให้มากที่สุด

4.4 เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ(Water Chiller , Water Cooled Type)

ระบบนี้เป็นเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำโดยใช้ Cooling Tower เป็นตัวระบายความร้อน เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้มีหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในอาคารให้เป็นไปตามที่ต้องการ ที่สามารถทำให้ผู้ที่อยู่ภายในรู้สึกสบาย ซึ่งระบบนี้มักใช้สำหรับอาคารใหญ่ ๆ ที่มีภาระทางความร้อนสูง (มากกว่า 50 ตัน ขึ้นไป)

4.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยทั่วไปจะทำการคำนวณหาค่า kW/TR เพราะมีกฎกระทรวงบังคับ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากหัวข้อ 2.3.3 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งได้แสดงรายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูลดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

จุดที่ตรวจวัด	ตัวแปรที่ตรวจวัด	หมายเลขเครื่องทำน้ำเย็น		ที่มา
		CH-1 ขนาด..... TR	CH-2 ขนาด..... TR	
น้ำเย็น	อุณหภูมิเข้า (°C); T_{in}			จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิออก (°C); T_{out}			จากการตรวจวัด
	ปริมาณการไหล (l/s)			จากการตรวจวัด
น้ำหล่อเย็น	อุณหภูมิเข้า (°C)			จากการตรวจวัด
	อุณหภูมิออก (°C)			จากการตรวจวัด
	ปริมาณการไหล (l/s)			จากการตรวจวัด
ข้อมูลด้านไฟฟ้า	V			จากการตรวจวัด
	Ir			จากการตรวจวัด
	Is			จากการตรวจวัด
	It			จากการตรวจวัด
	kW			จากการตรวจวัด
	P.F.			จากการตรวจวัด
	kVA			จากการตรวจวัด
เวลาทำงาน (ชั่วโมงต่อปี)				จากการตรวจวัด
ความสามารถในการทำความเย็น (TR)				สมการ 4.91
สมรรถนะของเครื่อง(kW/TR)				สมการ 4.92

1. ความสามารถในการทำความเย็น

$$\text{ความสามารถในการทำความเย็น} = \left(\frac{\text{ปริมาณการไหล} \times 60 \times (T_{out} - T_{in})}{50.4} \right)_{\text{น้ำเย็น}} \qquad (4.91)$$

2. สมรรถนะของเครื่อง

$$\text{สมรรถนะของเครื่อง} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้}}{\text{ความสามารถในการทำความเย็น}} \quad (4.92)$$

4.5เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน และเครื่องปรับอากาศแบบเป็นชุด

เครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วน(Split type) และชนิดเป็นชุด(Package) มีลักษณะการให้ความเย็นแก่อาคารโดยตรง กล่าวคือสารทำความเย็นจะเป็นตัวรับความร้อนภายในอาคารโดยตรง ซึ่งต่างกับเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้น้ำรับความเย็นกับสารทำความเย็นแล้วนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอาคารอีกที ซึ่งเป็นการให้ความเย็นแก่อาคารโดยอ้อม

4.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการวิเคราะห์หาค่า kW/TR ซึ่งได้แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.11

1. การคำนวณ CMM และ enthalpy ด้านจ่าย

$$\mathbf{CMM_s = V_s \times A_s \times 60} \quad (4.93)$$

โดยที่ CMM_s = อัตราการไหลของอากาศด้านจ่าย (m^3/min)

V_s = ความเร็วลมด้านจ่าย (m/s)

A_s = พื้นที่หน้ากากด้านจ่าย (m^2)

$$\mathbf{H_s = 1.005 \times T_s + b \times (2501.3 + 1.82 \times T_s)} \quad (4.94)$$

โดยที่ $$B = 0.622 \times (a \times P) / (101.325 - (a \times P)) \quad (4.95)$$

$$P = 0.000000010618393 \times T_s^6 - 0.0000010869575 \times T_s^5 + 0.000042080891 \times T_s^4 - 0.00070999723 \times T_s^3 + 0.0072562898 \times T_s^2 + 0.028402986 \times T_s + 0.61150476 \quad (4.96)$$

$$a = \%Rh_s / 100$$

H_s = ค่า enthalpy ของอากาศด้านจ่าย (kJ/kg)

$\%Rh_s$ = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศด้านจ่าย

T_s = อุณหภูมิอากาศด้านจ่าย (K)

หมายเหตุ : สามารถหาค่า H_s จาก Psychrometric Chart ในรูปที่ 4.3 ได้

2. การคำนวณ CMM และ enthalpy ด้านกลับ

$$CMM_r = V_r \times A_r \times 60 \quad (4.97)$$

โดยที่ CMM_r = อัตราการไหลของอากาศด้านกลับ (m^3/min)

V_r = ความเร็วลมด้านกลับ (m/s)

A_r = พื้นที่หน้ากากด้านกลับ (m^2)

$$H_r = 1.005 \times T_r + b \times (2501.3 + 1.82 \times T_r) \quad (4.98)$$

โดยที่

$$B = 0.622 \times (a \times P) / (101.325 - (a \times P)) \quad (4.99)$$

$$P = 0.000000010618393 \times T_r^6 - 0.0000010869575 \times T_r^5 + 0.000042080891 \times T_r^4 - 0.00070999723 \times T_r^3 + 0.0072562898 \times T_r^2 + 0.028402986 \times T_r + 0.61150476 \quad (4.100)$$

$$a = \%Rh_r / 100$$

H_r = ค่า enthalpy ของอากาศด้านกลับ (kJ/kg)

$\%Rh_r$ = ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศด้านกลับ

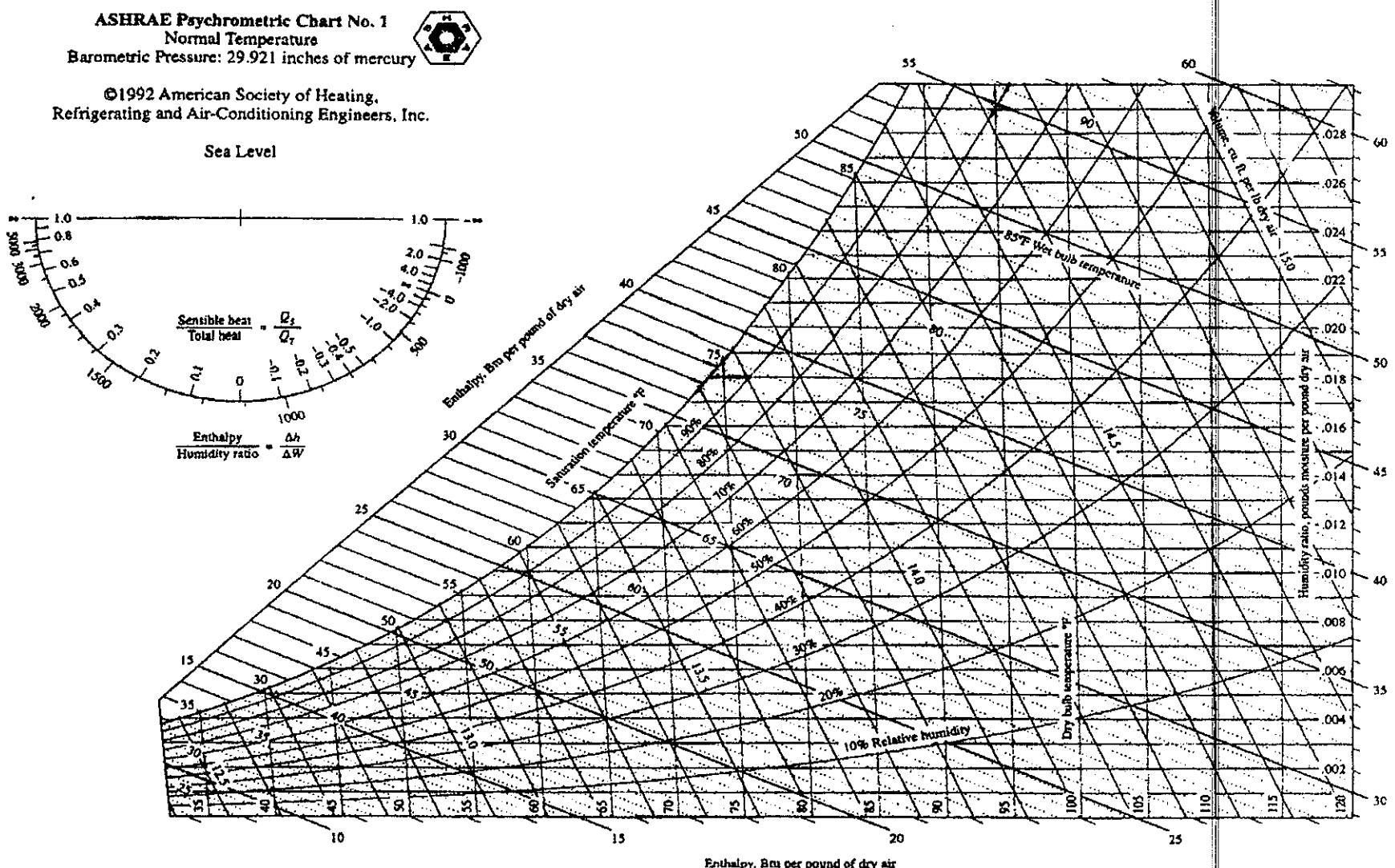
T_r = อุณหภูมิด้านจ่าย (K)

หมายเหตุ : สามารถหาค่า H_s จาก Psychrometric Chart ในรูปที่ 4.3 ได้

ตารางที่ 4.11 *แสดงข้อมูลการตรวจวัดและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน*

รายการ	หมายเลขเครื่อง	เวลาทำงาน (ชั่วโมงต่อปี)	ค่าพิกัด		อากาศด้านจ่าย				อากาศด้านกลับ				ผลการตรวจวัด		ระดับการใช้พลังงาน (kW/TR)	ค่าแก้ไข		ระดับการใช้พลังงาน (kW/TR)	บันทึกสภาพเครื่องและลักษณะการใช้งาน
			การทำความเย็น (TON)	ไฟฟ้า (kW)	CMM	%RH	Temp (oC)	Hs (kJ/kg)	CMM	%RH	Temp (oC)	Hr (kJ/kg)	การทำความเย็น (TON)	ไฟฟ้า (kW)		การทำความเย็น (TON)	ไฟฟ้า (kW)		
	อ้างอิงรายชื่อ	อ้างอิงรายชื่อ	อ้างอิงรายชื่อ	อ้างอิงรายชื่อ	สมการ 4.93	อ้างอิงรายชื่อ	อ้างอิงรายชื่อ	สมการ 4.94	สมการ 4.97	อ้างอิงรายชื่อ	อ้างอิงรายชื่อ	สมการ 4.98	สมการ 4.101	อ้างอิงรายชื่อ	สมการ 4.103	อ้างอิงตาราง	อ้างอิงตาราง	สมการ 4.102	อ้างอิงรายชื่อ

Psychrometric chart at 1 atm total pressure. (From the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA; used with permission.)



รูปที่ 4.3 *Psychrometric Chart*

ในทางปฏิบัติอัตราการไหลของอากาศด้านจ่าย(CMM_s)จะไม่เท่ากับอัตราการไหลของอากาศด้านกลับ(CMM_r) ดังนั้นในการคำนวณหาค่า ตันความเย็น TR เราจะใช้ค่าของ CMM_r เนื่องจากอากาศด้านกลับมีความเร็วไม่มาก กล่าวคือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศด้านกลับ มีความปั่นป่วนที่น้อยกว่าอากาศด้านจ่าย ซึ่งเป็นผลให้ความเร็วอากาศในแต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกัน

3. การคำนวณหาระดับการใช้พลังงาน

$$TR = CMM_r \times (H_r - H_s) \times (5.707/1000) \times \text{ค่าแก้ไขการทำความเย็น} \quad (4.101)$$

โดยที่ TR = การทำความเย็นแก้ไข (TR = Ton of Refrigerant)

ค่าแก้ไขการทำความเย็น = Correction Factor (ดูภาคผนวก)

H_r = ค่า enthalpy ของอากาศด้านกลับ (kJ/kg)

H_s = ค่า enthalpy ของอากาศด้านจ่าย (kJ/kg)

$$\text{ระดับการใช้พลังงาน} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าแก้ไข}}{TR} \quad (4.102)$$

โดยที่ กำลังไฟฟ้าแก้ไข = กำลังไฟฟ้าที่วัดได้(kW) x ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า (4.103)

ค่าแก้ไขกำลังไฟฟ้า = Correction Factor (ดูภาคผนวก)

4.5.2 มาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

1. มาตรการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดประสิทธิภาพสูง (High EER)

ระบบปรับอากาศเป็นระบบหนึ่งที่มีการใช้ไฟฟ้าในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการประหยัดพลังงานในส่วนนี้ย่อมทำให้การใช้ไฟฟ้าลดลงในสัดส่วนที่มากพอสมควร ในโรงงาน/อาคารส่วนใหญ่มักจะไม่ค่อยสนใจเท่าไรนัก โดยตามกฎกระทรวงได้กำหนดไว้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน(split type)ในอาคารเก่าต้องมีค่า kW/TR ไม่เกินกว่า 1.61 สำหรับอาคารเก่า และ 1.40 สำหรับอาคารใหม่ สำหรับเครื่องปรับอากาศเก่าที่มีอายุการใช้งานมากจะกินไฟมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากค่าใช้

จ่ายก็ย่อมสูงขึ้น จึงควรเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศแยกส่วนประสิทธิภาพสูงซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายก็ลดลง ซึ่งรายละเอียดมาตรการได้แสดงในตาราง 4.12 และ 4.13

ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูลมาตรการระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุง

ก่อนปรับปรุง	ค่าที่ได้	ที่มา
ขนาดการทำความเย็น (Btu/hr)		จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)		จากการตรวจวัด
%การใช้งานเฉลี่ย (%)		จากการตรวจวัด
ค่าสมรรถนะในการทำความเย็น (kW/TR)		สมการ 4.104
อุณหภูมิกระเปาะแห้งเข้าคอยล์ร้อน (°C)(DBT)		จากการตรวจวัด
อุณหภูมิกระเปาะเปียกคอยล์เย็น(°C) (WBT)		จากการตรวจวัด
ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น		จากตาราง collection factor
ค่าแก้ไขกำลังงานไฟฟ้า		จากตาราง collection factor
ชั่วโมงการทำงาน (hr/day)		จากการตรวจวัด
จำนวนวันทำงาน(day/year)		จากการตรวจวัด
ค่าความเย็นรวมที่ทำได้ (Btu/year)		สมการ 4.105
การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)		สมการ 4.106

$$\text{ค่าสมรรถนะในการทำความเย็น} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้}}{\text{ขนาดการทำความเย็น}} \qquad (4.104)$$

$$\text{ค่าความเย็นรวมที่ทำได้} = \text{ขนาดการทำความเย็น} \times \text{ชั่วโมงการทำงานต่อปี} \times (\%\text{การทำงาน}) \qquad (4.105)$$

$$\text{การใช้พลังงานไฟฟ้า ก่อนปรับปรุง} = \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้} \times \text{ชั่วโมงการทำงานต่อปี} \times (\%\text{การทำงาน}) \qquad (4.106)$$

ตารางที่ 4.13 แสดงข้อมูลมาตรการระบบปรับอากาศหลังปรับปรุง

หลังปรับปรุง	ค่าที่ได้	ที่มา
ขนาดการทำความเย็น (Btu/hr)		ขนาดเดียวกับก่อนปรับปรุง
EER ของเครื่องปรับอากาศประหยัดไฟ เบอร์ 5 (Btu/hr/W)		≈ 10.6
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง (kW)		สมการ 4.107
ค่าสมรรถนะในการทำความเย็น (kW/TR)		สมการ 4.108
%การใช้งานเฉลี่ย (kW/TR)		เท่ากับก่อนปรับปรุง
การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/year)		สมการ 4.109
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (kWh/year)		สมการ 4.110

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง} = \frac{\text{ขนาดการทำความเย็น}}{\text{10.6 x 1000}} \quad (4.107)$$

$$\text{ค่าสมรรถนะในการทำความเย็น} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง}}{\text{(ขนาดการทำความเย็น /12000)}} \quad (4.108)$$

$$\text{การใช้พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง} = \text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับปรุง x ชั่วโมงการทำงานต่อปี x (\%การทำงาน)} \quad (4.109)$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} = \text{พลังงานไฟฟ้า ก่อนปรับปรุง} - \text{พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง} \quad (4.110)$$

4.5.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เป็นชนิดประสิทธิภาพสูง (HIGH EER) แทนเครื่องเก่าที่ชำรุด หรือหมดอายุการใช้งาน ซึ่งได้แสดงสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเบอร์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.14

2.การปรับตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศทางโรงงานควรจะปรับตั้งอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมโดยทั่วไป จะตั้งไว้ที่ 24-25^{o}C และทำการปรับทิศทางลมให้กระจายไปทั่ว ๆ ห้องให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อรักษาอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องให้มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด

3.เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะต้องใช้อากาศในการระบายความร้อนของสารทำความเย็นออกที่ Condensing Unit โดยซึ่งหากการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นไม่ดีจะทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น จึงควรทำความสะอาด Condensing Unit อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและสารทำความเย็นดีขึ้น โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารทำความเย็นด้าน Condenser ลดลง 1°F จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น 1.5%

ตารางที่ 4.14 แสดงสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศชนิดแยกส่วนเบอร์ต่าง ๆ

เบอร์เครื่องปรับอากาศ	Btu/hr/W(EER)
เบอร์ 5	EER ≥ 10.6
เบอร์ 4	9.6≤ EER < 10.6
เบอร์ 3	8.6≤ EER < 9.6
เบอร์ 2	7.6≤ EER < 8.6
เบอร์ 1	6.6≤ EER < 7.6

4.6 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง(Lighting)

เป็นระบบที่ให้ความสว่างแก่พื้นที่เพื่อความสะดวกในการมองเห็น และการทำงาน ภายใต้กฎหมายควบคุมค่าความส่องสว่างต่อพื้นที่ ซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 2 หลอดไฟที่ใช้นั้นมีมากมายหลายขนาด สี บัลลาสต์ที่ใช้ก็มีอยู่หลายชนิด เช่น บัลลาสต์โลวลอสต์ รวมถึงโคมไฟที่ใช้คู่กันกับหลอดไฟ ดังนั้นการเลือกใช้ควรพิจารณาให้เหมาะสมกับพื้นที่ใช้งาน ซึ่งได้แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.15

4.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

คือการนำข้อมูลที่ตรวจวัดมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (W/m^2) ดังสมการที่ 4.113 แล้วนำค่าที่ได้เทียบกับกฎกระทรวงดังที่กล่าวในบทที่ 2 ถ้ามีค่าเกินกว่าค่าที่กฎกระทรวงกำหนดไว้จำเป็นต้องหามาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป โดยได้แสดงรายละเอียดดังตาราง 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงรายละเอียดของพื้นที่ที่ใช้ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ชื่อห้อง..... พื้นที่ขนาด.....ตารางเมตร		
ข้อมูล	**ค่าที่ได้**	**ที่มา**
กำลังไฟฟ้าต่อหลอด (W)		จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในบัลลาสต์ต่อหลอด (W)		จากการตรวจวัด
จำนวนหลอดต่อโคม (หลอดต่อโคม)		จากการตรวจวัด
จำนวนหลอดต่อโคม (หลอดต่อโคม)		จากการตรวจวัด
จำนวนโคมต่อพื้นที่ (โคม)		จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าติดตั้งต่อพื้นที่ (W)		สมการ 4.111
กำลังไฟฟ้าติดตั้งรวม(W)		สมการ 4.112
พื้นที่ใช้สอยรวม(m^2)		จากการตรวจวัด
ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด(W/m^2)		สมการ 4.113

กำลังไฟฟ้าติดตั้งต่อพื้นที่ = กำลังไฟฟ้าต่อหลอด + กำลังไฟฟ้าสูญเสียในบัลลาสต์ต่อหลอด x จำนวนหลอดต่อโคม x จำนวนโคมต่อพื้นที่ **(4.111)**

เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าติดตั้งต่อพื้นที่ทุกพื้นที่ของทั้งอาคารแล้วให้นำค่ากำลังไฟฟ้าติดตั้งของแต่ละพื้นที่มารวมกัน เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าติดตั้งรวมดังสมการที่ 4.112 เพื่อจะหาค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด ดังสมการที่ 4.113

กำลังไฟฟ้าติดตั้งรวม = ผลรวมของกำลังไฟฟ้าติดตั้งต่อพื้นที่ **(4.112)**

$$\text{ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าติดตั้งรวม}}{\text{พื้นที่ใช้สอยรวม}} \qquad (4.113)$$

4.6.2 มาตรการเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

1. มาตรการปรับปรุงบัลลาสต์แกนเหล็กมาใช้บัลลาสต์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ

ในโรงงาน/อาคาร ส่วนมากมักใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 18 , 36 วัตต์เป็นส่วนใหญ่ ร่วมกับบัลลาสต์แบบแกนเหล็ก (Pre-Heat Ballast) ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียประมาณ 6 - 13 วัตต์ต่อชุด ยิ่งถ้าเป็นโรงงาน/อาคารใหญ่ ๆ ที่มีหลอดไฟมาก ๆ ก็ยิ่งทำให้ความสูญเสียกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นโรงงาน/อาคารสามารถดำเนินการอนุรักษ์พลังงานได้โดยการเปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ(Low Loss Ballast)ซึ่ง มีกำลังสูญเสีย 6 วัตต์ต่อชุด ทำให้ประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ 4 – 4.5 วัตต์ต่อชุด ซึ่งจะช่วยให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงได้

2. มาตรการปรับปรุงบัลลาสต์แกนเหล็กมาใช้บัลลาสต์อิเล็คทรอนิกส์

ลักษณะเช่นเดียวกับข้อ 5.1 แต่เปลี่ยนมาใช้บัลลาสต์อิเล็คทรอนิคส์แทนโดยที่บัลลาสต์แบบแกนเหล็กเดิมมีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 10 วัตต์ต่อชุด ในขณะที่บัลลาสต์แบบอิเล็คทรอนิกส์ไม่มีกำลังสูญเสีย ทำให้ประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ 10 วัตต์ต่อชุด

3. มาตรการการติดโคมไฟแบบกระจายแสง

โคมไฟ นอกจากทำหน้าที่ยึดหลอดและอุปกรณ์ประกอบแล้ว ยังมีหน้าที่สำคัญ คือ ควบคุมทิศทางแสงให้กระจายไปตกบนพื้นที่ทำงานที่เราต้องการ นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันอันตรายใด ๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นกับหลอดไฟฟ้าอีกด้วย เมื่อทำการติดโคมไฟกระจายแสงแล้วแสงสว่างบนพื้นที่ใช้งานจะเพิ่มมากขึ้นเพราะได้มีการสะท้อนของแสงไฟที่ส่องบนเพดานกลับลงมา ทำให้สามารถลดหลอดไฟฟ้าได้ ซึ่งจะทำให้การใช้ไฟฟ้าลดลง โดยทั่วไปค่าการส่องสว่างบนพื้นที่ใช้งานที่กระทรวงกำหนดมีค่าโดยประมาณคือ 300 LUX

4.6.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. ทำความสะอาดดวงโคมและหลอดอย่างสม่ำเสมอเพื่อที่จะสามารถทำให้แสงสว่างอย่างเต็มที่

2. ผนังและวัสดุโดยรอบควรเป็นส่วนสีสว่างนวล เพื่อช่วยในการสะท้อนแสงให้ดูสว่างดีขึ้น

3. ปิดไฟทุกครั้งเมื่อไม่มีความจำเป็นต้องใช้ แม้เป็นช่วงที่ไม่ต้องการใช้งานในระยะเวลาสั้น ๆ

4. ใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง คือ สามารถให้ปริมาณความสว่าง (lumens) มาก แต่ใช้กำลังไฟฟ้า (watt) ต่ำ เช่น หลอด Fluorescent ชนิดประหยัดพลังงาน (36 และ 18 watts), หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายนอก (PL), หลอดคอมแพคบัลลาสต์ภายใน (SL), หลอด High Pressure Sodium เป็นต้น

5. ติดตั้งเครื่องควบคุมเวลา (Timer) หรือ Timer Delay Switch เพื่อใช้เปิด-ปิดไฟฟ้าโดยอัตโนมัติในบริเวณที่ใช้ไฟบางเวลาห้องที่ใช้งานในช่วงเวลาสั้น ๆ คนมักจะลืมปิดไฟเมื่อเลิกใช้งาน เช่น ห้องเก็บของ ฯลฯ การทำงานของสวิทช์จะมีอยู่สองแบบ แบบแรกจะทำงานเปิด-ปิดตามเวลาที่ตั้งไว้ จะใช้กับห้องที่ทราบระยะเวลาการทำงานค่อนข้างแน่นอนตลอดทั้งวัน ซึ่งเราเรียกสวิทช์แบบนี้ว่า "Timer Switch" แบบที่สองจะเป็นสวิทช์แบบที่ต้องทำการเปิดเอง และทำการปิดโดยอัตโนมัติตามเวลาที่ตั้งไว้ ซึ่งเราเรียกสวิทช์แบบนี้ว่า "Timer Delay Switch" สวิทช์แบบนี้จะมีทั้งระบบ Electronic และระบบใช้ลาน การใช้ในระบบ Electronics จะมีพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งที่ต้องใช้ แต่ในระบบใช้ลานจะดียิ่งกว่า

6. สวิทช์แสงแดด (Photo Cell Switch) ใช้สำหรับควบคุมเปิด-ปิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร บริเวณพื้นที่ใช้งานที่ต้องการแสงสว่างเฉพาะในเวลากลางคืน เช่น โคมไฟรอบอาคาร ไฟรั้ว ไฟสนาม ไฟสาดตึก ไฟลานจอดรถ รวมทั้งไฟเพื่อการรักษาความปลอดภัย เมื่อมีการเปิดใช้งานแล้วมักลืมปิดในเวลากลางวัน การใช้ Photo Cell Switch เป็นตัวป้องกันการลืมปิดดวงโคมที่ถูกเปิดทิ้งไว้ในเวลากลางวันดังกล่าว ซึ่งเป็นการใช้พลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ในช่วงเวลาที่แสงสว่างจากดวงอาทิตย์เพียงพออยู่แล้ว

7. ทำความสะอาดช่องแสงบนหลังคาทุก ๆ ปี เพื่อเพิ่มสมรรถนะของไฟแสงสว่างในช่วงเวลากลางวันโดยจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟแทน

4.7 OTTV และ RTTV

OTTV(Overall Thermal Transfer Value) คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของพนังอาคารโดยมีหน่วยเป็น W/m^2 ส่วน RTTV (Roof Thermal Transfer Value) คือการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา โดยมีหน่วยเป็น W/m^2 ซึ่งทั้ง 2 ค่านั้นต่างมีกฎกระทรวงบังคับดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

4.7.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการคำนวณหาค่า OTTV และ RTTV โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.16และ 4.17

การคำนวณ

$$C = K/X \qquad (4.114)$$

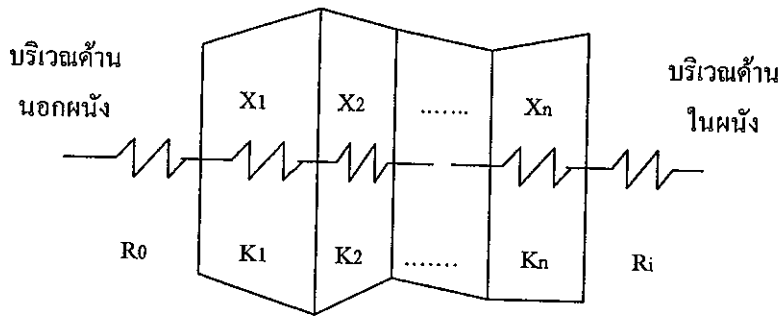
โดยที่ C = ค่าความนำความร้อน (W/m^2-°C)

K = สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m-°C)

X = ความหนาของวัสดุ(m)

$$R = 1/C = X/K \qquad (4.115)$$

R = ค่าความต้านทานความร้อน (m^2-°C / W)



รูปที่ 4.4 *แสดงผนัง n ชั้น*

ตารางที่ 4.16 แสดงรายละเอียดพนังทึบ

ชั้นที่..... ทิศ.....							
ชั้นวัสดุที่ใช้ทำผนัง	วัสดุ	ความหนา (ม.ม.)	K (W/m-°C)	R (m^2-°C / W)	U (W/m^2-°C)	A (m^2)	TDeq (°C)
1	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	คุณสมบัติวัสดุ	สมการ 4.115	สมการ 4.118	จากการตรวจวัด	จากข้อกำหนดใน พ.ร.บ. รหัส A2
2	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	คุณสมบัติวัสดุ	สมการ 4.115			
3	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	คุณสมบัติวัสดุ	สมการ 4.115			
4	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	คุณสมบัติวัสดุ	สมการ 4.115			
5	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	คุณสมบัติวัสดุ	สมการ 4.115			

ตารางที่ 4.17 แสดงรายละเอียดพนังโปร่งแสง

ชั้นที่..... ทิศ.....									
ชั้นวัสดุที่ใช้ทำผนัง	วัสดุ	ความหนา (ม.ม.)	K (W/m-°C)	R (m^2-°C / W)	U (W/m^2-°C)	A (m^2)	ΔT (°C)	SC	SF
1	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	สมการ 4.115	สมการ 4.118	จากการตรวจวัด	5	จากข้อกำหนดใน พ.ร.บ. รหัส A2	จากข้อกำหนดใน พ.ร.บ. รหัส A2
2	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	สมการ 4.115					
3	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	จากการตรวจวัด	สมการ 4.115					

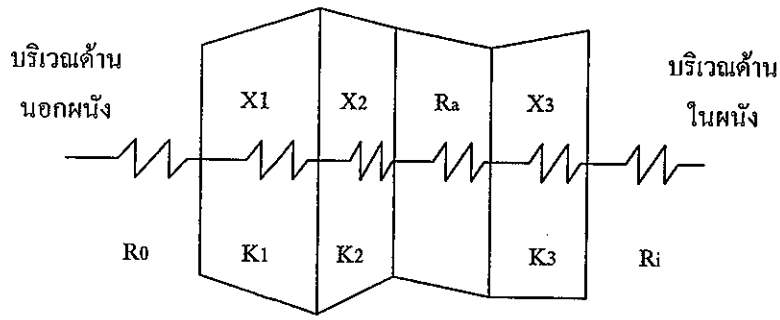
$$R_{Total} = R_0 + X_1/K_1 + X_2/K_2 + \ldots + X_n/K_n + R_i \quad (4.116)$$

R_{Total} = ค่าความต้านทานความร้อนรวม (m^2-°C / W)

$X_1, X_2, \ldots, X_n$ = ความหนาของวัสดุที่ประกอบเป็นผนังชนิดที่ 1,2,...,n ตามลำดับ

$K_1, K_2, \ldots, K_n$ = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนชนิดที่ 1,2,...,n ตามลำดับ

R_0, R_i = ค่าความต้านทานความร้อนอากาศที่ผิวด้านนอกและด้านในตามลำดับ



รูปที่ 4.5 *แสดงผนัง n ชั้นและมีช่องว่างอากาศ*

$$R_{Total} = R_0 + X_1/K_1 + X_2/K_2 + R_a + X_3/K_3 + R_i \quad (4.117)$$

R_a = ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m^2-°C / W)

$$U = 1/R_{Total} \quad (4.118)$$

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2-°C)

การคำนวณหาค่า OTTV

$$OTTV_i = (U_w)(1\text{-}WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (SC)(WWR)(SF) \quad (4.119)$$

โดยที่ $OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา(W/m^2)

U_w = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ (W/m^2-°C)

WWR = อัตราส่วนของหน้าต่างโปร่งหรือผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ (°C)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง(W/m^2-°C)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (°C)

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์(solar factor) ที่ผ่านหน้าต่างหรือผนังโปร่งแสง (W/m^2)

$$OTTV = \frac{(A_1)(OTTV_1) + (A_1)(OTTV_2) + \ldots + (A_i)(OTTV_i)}{A_1 + A_2 + \ldots + A_i} \qquad (4.120)$$

โดยที่ OTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร(W/m^2)

A_i = พื้นที่ผนังด้านที่พิจารณาซึ่งรวมผนังทึบและพื้นที่หน้าต่างและผนังโปร่งใส(m^2)

การคำนวณหาค่า RTTV

$$RTTV = (U_r)(1-RSR)(TD_{eq}) + (U_{rf})(RSR)(\Delta T) + (SC)(RSR)(SF) \qquad (4.121)$$

โดยที่ RTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร(W/m^2)

U_r = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาทึบ (W/m^2-°C)

RSR = อัตราส่วนของหลังคาโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคาส่วนทึบ (°C)

U_{rf} = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนที่โปร่งแสงที่ช่องรับแสง(W/m^2-°C)

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (°C)

SC = ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา

SF = ค่าตัวประกอบรังสีอาทิตย์(solar factor) ที่ผ่านส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา (W/m^2)

4.7.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. การลดปริมาณความร้อนผ่านผนัง

มวลความร้อน หมายถึง " ค่าที่แสดงถึงคุณสมบัติของวัสดุในการดูดกลืน และสะสมความร้อน " วัสดุที่หนักและมีความหนาแน่นสูง จะเก็บความร้อนไว้ได้มาก และใช้เวลานานในการถ่ายเทความร้อนออก ดังนั้นในภาวะอากาศที่มีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนมาก วัสดุชนิดนี้จึงเหมาะสมมากเพราะความร้อนที่เก็บสะสมไว้ที่ผนังจะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารอย่างช้า ๆ และเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง ความร้อนที่ยังสะสมในผนังก็จะถ่ายเทกลับออกสู่ภายนอก

วัสดุที่มีมวลความร้อนต่ำ จะสะสมความร้อนได้น้อย ในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกไม่ต่ำลงมากในเวลากลางคืน ในภาวะอากาศแบบนี้วัสดุที่มีน้ำหนักมากจะสะสมความร้อนไว้ตลอดเวลาในขณะที่วัสดุที่มีมวลน้อยจะไม่สะสมความร้อนไว้ วัสดุที่มีมวลน้อยสามารถถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้าในเวลากลางคืน แม้ว่าจะไม่ใช่วิธีที่ดีนัก แต่ก็ดีกว่าการเก็บความร้อนไว้ในวัสดุที่มีมวลมากซึ่งจะไม่สามารถเย็นลงอย่างรวดเร็วโดยการแผ่รังสีได้ สำหรับประเทศไทยซึ่งมีอากาศร้อนและความชื้นสูง การใช้วัสดุที่มีค่ามวลความร้อนต่ำและใช้ควบคู่กับฉนวนด้วย จะสามารถลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม ในขณะที่ภายนอกมีอุณหภูมิสูง

2. ใช้ผนังสีอ่อน ซึ่งจะสามรถสะท้อนความร้อนและรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดีกว่า หากเป็นไปได้ควรบุฉนวนผนังเพื่อลดความร้อนเพื่อลดความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่อาคารหากเพิ่มแผ่นสะท้อนรังสีบนฉนวนด้วยก็จะยิ่งลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

3. การลดปริมาณความร้อนผ่านหน้าต่าง

การใช้อุปกรณ์ในการบังแดด การบังแดดภายนอกจะดีกว่า เพราะสามารถป้องกันรังสีของดวงอาทิตย์ ไม่ให้เข้ามาภายในอาคารได้ การใช้กระจกหน้าต่างชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถดูดกลืนหรือสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ กระจกที่สามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารมีอยู่หลายชนิด เช่น กระจกสี (สามารถดูดความร้อนได้ดี) กระจกฉาบสารหรือติดฟิล์มสะท้อนแสง กระจกที่มีสภาพเปล่งรังสีต่ำ กระจก 2 ชั้น กระจกสมาร์ทกลาส

4. การลดปริมาณความร้อนผ่านหลังคา โดยการบุฉนวนพร้อมทั้งแผ่นสะท้อนรังสีใต้หลังคา และใช้วัสดุสีอ่อน

4.8 ระบบหม้อแปลงไฟฟ้า

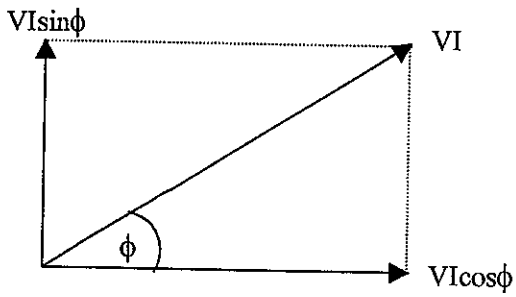
หม้อแปลงไฟฟ้ามีความสำคัญมากสำหรับอาคารและโรงงาน ไม่ว่าจะเป็นระบบแสงสว่าง ระบบทำความเย็น ฯลฯ ต่างต้องใช้ไฟฟ้าด้วยกันทั้งสิ้น หม้อแปลงจะทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแห่งประเทศ แล้วแปลงให้ได้กระแสตามที่ต้องการแล้วจึงนำไปใช้ในอาคารและโรงงานต่อไป ซึ่งหม้อแปลงที่ใช้นั้นมี่ 2 ชนิด คือ หม้อแปลงชนิดเปียกและหม้อแปลงชนิดแห้ง ซึ่งแต่ละชนิดก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งาน

4.8.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

การตรวจวัดเพื่อหาข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารหรือโรงงานสามารถทำได้โดย การใช้เครื่องบันทึกพลังงานไฟฟ้า ไปต่อเข้ากับหม้อแปลงเพื่อบันทึกค่า ซึ่งค่าที่บันทึกจะเป็นข้อมูลในรูปของกราฟ ทั้งค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องวิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟเพื่อหามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

4.8.2 มาตรการเพื่อการประหยัดพลังงาน

1. มาตรการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์



รูปที่ 4.6 *ภาพแสดงค่าทางไฟฟ้า*

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์หรือค่าตัวประกอบกำลัง จาก

$$\text{กำลังไฟฟ้าจริง(kW)} = P\cos\phi = VI\cos\phi \quad (122)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าเสมือน(kVAR)} = P\sin\phi = VI\sin\phi \quad (123)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าปรากฏ(kVA)} = [kW^2 + kVAR^2]^{1/2} \quad (124)$$

ถ้าเราสามารถลดองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าเสมือนลง กำลังไฟฟ้าปรากฏก็จะลดลง และเพราะว่ากระแสแปรผันโดยตรงกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ ดังนั้นกระแสที่จะต้องจ่ายก็จะลดลงด้วย การที่มีองค์ประกอบกำลังไฟฟ้าเสมือนมาก ทำให้ต้องจ่ายกระแสสูงโดยไม่จำเป็น การไฟฟ้าจึงมีมาตรการปรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่า 0.85 ดังนั้นค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ต่ำกว่า 0.85 จึงควรมีมาตรการปรับปรุงซึ่งในมาตรการนี้จะปรับปรุงให้มีค่าเพาเวอร์เท่ากับ 0.95 ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงการวิเคราะห์การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์

ข้อมูลในการคำนวณ	ลำดับที่หม้อแปลง ชื่อหม้อแปลง.....	ที่มา
ขนาดหม้อแปลง(kVA)		จากพิกัด
แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้(V)		จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง(kW)		จากการตรวจวัด
LOAD LOSS(kW)		จากการตรวจวัด
PF. ที่วัดได้		จากการตรวจวัด
PF. ที่ปรับปรุงใหม่		0.95
ขนาดสายตัวนำ(mm^2)		จากการตรวจวัด
จำนวนตัวนำต่อเฟส(เส้น)		จากการตรวจวัด
ความต้านทานสายต่อเมตร ($m\Omega$)		จากการตรวจวัด
ความยาวสายตัวนำ(m)		จากการตรวจวัด
ชั่วโมงทำงานต่อวัน(hr/day)		จากการตรวจวัด
วันทำงานต่อปี(day/year)		จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.18 แสดงการวิเคราะห์การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์(ต่อ)

ข้อมูลในการคำนวณ	ลำดับที่หม้อแปลง ชื่อหม้อแปลง.....	ที่มา
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย(฿/kWh)		จากการตรวจวัด
กระแสไฟฟ้าที่วัดได้(A)		สมการ 4.125
กระแสไฟฟ้าที่ปรับปรุงใหม่(A)		สมการ 4.126
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงในหม้อแปลง(kW)		สมการ 4.127
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงในสายตัวนำ(kW)		สมการ 4.129
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงรวม(kW)		สมการ 4.130
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้(kWh/year)		สมการ 4.131
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้(฿/year)		สมการ 4.132

$$\text{กระแสไฟฟ้าที่วัดได้} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง} \times 1{,}000}{1.732 \times V \times P.F_{\text{ที่วัดได้}}} \qquad (4.125)$$

$$\text{กระแสไฟฟ้าที่ปรับปรุงใหม่} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง} \times 1{,}000}{1.732 \times V \times P.F_{\text{ปรับปรุง}}} \qquad (4.126)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงในหม้อแปลง} = \text{LOAD LOSS} \times \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง}^2}{\text{ขนาดหม้อแปลง}^2} \times \frac{(P.F^2_{\text{ปรับปรุง}} - P.F^2_{\text{ที่วัดได้}})}{(P.F^2_{\text{ปรับปรุง}} \times P.F^2_{\text{ที่วัดได้}})} \qquad (4.127)$$

$$\text{ความต้านทานของบัสบาร์} = \frac{\text{ความต้านทานบัสบาร์ต่อเมตร} \times \text{ความยาวบัสบาร์ต่อชุด}}{\text{จำนวนบัสบาร์ต่อเฟส} \times 1{,}000} \qquad (4.128)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงในสายตัวนำ} = \frac{3 \times \text{ความต้านทานของบัสบาร์} \times [\text{กระแส}^2_{\text{วัดได้}} - \text{กระแส}^2_{\text{ปรับปรุง}}]}{1{,}000} \qquad (4.129)$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ลดลงรวม} = \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงในหม้อแปลง} + \text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงในสายตัวนำ} \qquad (4.130)$$

พลังงานที่ประหยัดได้ = กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมที่ลดลงรวม × ชม.ทำงานต่อปี (4.131)

ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ × ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (4.132)

4.8.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. ตู้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในโรงงานควรจัดให้มีการทำความสะอาด อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง รวมทั้งติดตั้งระบบการระบายความร้อนภายในตู้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งหากเกิดปัญหาขึ้นจะส่งผลกระทบโดยตรงกับกระบวนการผลิตของโรงงาน นอกจากนี้ ควรจัดทำผังแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้า (Single Line Diagram) ติดไว้ด้านหน้าตู้ไฟฟ้าแต่ละตู้ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบและแก้ไข

2. ควรมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าและตู้เมนไฟฟ้าต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ และควรติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้า ได้แก่ กิโลวัตต์มิเตอร์, กิโลวัตต์อาว์มิเตอร์ โวลท์มิเตอร์, แอมป์มิเตอร์และเพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ที่ตู้เมนไฟฟ้าหลักและย่อยอื่น ๆ ทั้งนี้จะทำให้สามารถทราบสภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าตามจุดต่าง ๆ ของโรงงานอย่างทั่วถึง ซึ่งจะเป็นส่วนช่วยให้การวางแผนและดำเนินการประหยัดพลังงานเป็นไปอย่างได้ผลและมีประสิทธิภาพ

3. ควรมีการจัดบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์หลักที่ใช้พลังงานไฟฟ้า ในช่วงเวลาต่าง ๆ หรืออย่างน้อยทุกชั่วโมง แล้วจัดทำเป็นกราฟค่ากำลังไฟฟ้า (kW) เพื่อตรวจสอบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และเมื่อพบว่า ช่วงเวลาใดกราฟดังกล่าวสูงขึ้นมาผิดปกติอยู่เสมอ ควรทำการหยุดการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชุดที่ไม่จำเป็น ที่ต้องใช้งานในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นไปใช้งานในช่วงเวลาอื่นที่กราฟลดลงค่า kW ที่สามารถลดลงได้ตามช่วงเวลานั้น ๆ หมายถึง ค่า Peak Demand ที่สามารถประหยัดลงได้ทั้งเดือน

4.หลีกเลี่ยงการเริ่มเดินเครื่องจักรอุปกรณ์ไฟฟ้าหลักที่กำลังไฟฟ้าสูงๆขึ้นพร้อมกัน ทั้งนี้อุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภท เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งจะเริ่มเดินเครื่องด้วยกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นชั่วขณะหลายเท่าตัว และจะลดต่ำลงในระดับคงที่เมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นควรเหลื่อมเวลาการเริ่มเดินเครื่องออกไปชั่วขณะเพื่อหลีกเลี่ยงและประหยัดค่า Peak Demand

5.เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับผลของงานที่ได้เป็นดัชนีการใช้ไฟฟ้าโดยนำข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า(หน่วย/เดือน)จากบิลค่าไฟฟ้าและปริมาณงานที่ทำได้ตลอดทั้งเดือน โดยจัดทำกราฟ

เปรียบเทียบประจำเดือนไว้ เพื่อวิเคราะห์ถึงข้อแตกต่างที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณการใช้ต่อหน่วยดังกล่าว แล้วดำเนินการแก้ไขเมื่อทราบว่าปริมาณการใช้เพิ่มขึ้น

6. ตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นประจำ เช่น สังเกตสารป้องกันความชื้นที่หม้อแปลง เมื่อพบว่า เสื่อมอายุการใช้งานแล้ว ควรแจ้งให้การไฟฟ้ามาดำเนินการเปลี่ยน ทั้งนี้สารป้องกันความชื้นดังกล่าว จะเป็นตัวป้องกันความชื้นที่เข้าสู่หม้อแปลง ซึ่งถ้าหม้อแปลงภายในเกิดความชื้น น้ำมันที่ใช้ในการระบายความร้อนของหม้อแปลงจะมีสภาพเป็นฉนวนน้อยลง อาจเกิดการลัดวงจรทำให้หม้อแปลงเสียหายอย่างร้ายแรงได้

4.9 หอผึ่งน้ำ(Cooling Tower)

หอผึ่งน้ำเป็นส่วนหนึ่งของระบบทำน้ำเย็น ทำหน้าที่ระบายความร้อนของน้ำที่รับความร้อนมาจากสารทำความเย็นใน Chiller หอผึ่งน้ำที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ ชนิด Cross Flow และ Counter Flow ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ลักษณะทิศทางของลมกับลักษณะการไหลของน้ำ

4.9.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการหาค่าสมรรถนะการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำโดยมีหน่วยเป็น Ton ซึ่งรายละเอียดการวิเคราะห์พร้อมทั้งข้อมูลที่จำเป็นได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.19 และการหาประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำ

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลการวิเคราะห์หอผึ่งน้ำ

ตัวแปรที่ตรวจวัด	หมายเลขหอผึ่งน้ำ		ที่มา
	CT-1 ขนาด.....	CT-2 ขนาด.....	
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C) ; DBT			จากการตรวจวัด
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C) ; WBT			จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำเข้า (°C) : T_{wi}			จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำออก (°C)) : T_{wo}			จากการตรวจวัด

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลการวิเคราะห์หอผึ่งน้ำ(ต่อ)

ตัวแปรที่ตรวจวัด	หมายเลขหอผึ่งน้ำ		ที่มา
	CT-1 ขนาด.....	CT-2 ขนาด.....	
ปริมาณการไหล(l/s)			จากการตรวจวัด
กำลังไฟฟ้า(kW)			จากการตรวจวัด
การระบายความร้อน(Ton)			สมการ 4.133
ประสิทธิภาพหอผึ่งน้ำ(η_C)			สมการ 4.134

1. การระบายความร้อน(Ton)

$$\mathbf{Ton} = \frac{\mathbf{60 \times (T_{wo} - T_{wi}) \times ปริมาณการไหล}}{\mathbf{113.55}} \qquad \mathbf{(4.133)}$$

โดยที่ Ton = การระบายความร้อน(Ton)

T_{wo} = อุณหภูมิน้ำออก (°C)

T_{wi} = อุณหภูมิน้ำเข้า (°C)

2. ประสิทธิภาพหอผึ่งน้ำ(η_C)

$$\eta_C = \frac{T_{wo} - T_{wi}}{T_{wi} - WBT} \times 100\% \qquad (4.134)$$

โดยที่ η_C = ประสิทธิภาพหอผึ่งน้ำ(%)

WBT = อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)