

บทที่ 8 หอฝึ่งน้ำ

8.1 องค์ประกอบของระบบ

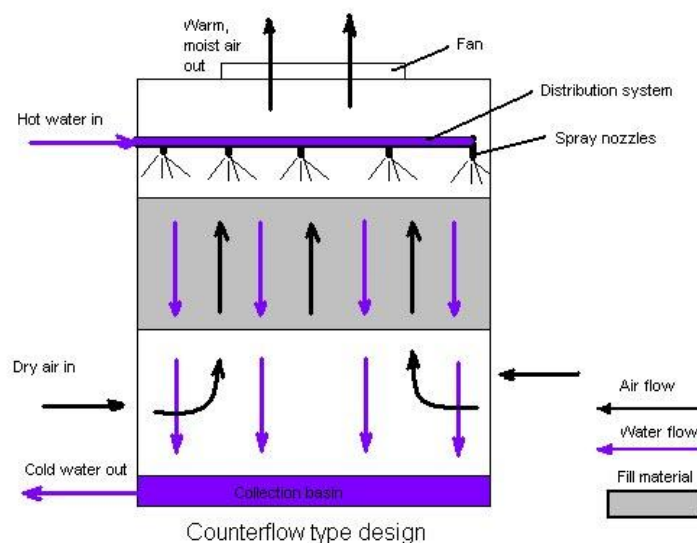
หอฝึ่งน้ำ เป็นส่วนหนึ่งของระบบทำความเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับน้ำที่ใช้หล่อเย็นคอนเดนเซอร์ หอฝึ่งน้ำหล่อเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง จะทำให้อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นต่ำลง มีผลต่อการประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็น และความสามารถในการทำทำความเย็นสูงขึ้น นับได้ว่า หอฝึ่งน้ำหล่อเย็นเป็น อุปกรณ์ที่สำคัญในการทำงานของระบบทำความเย็น โดยสามารถแยกได้เป็นประเภท 2 ประเภท ได้ดังนี้

8.1.1 น้ำและอากาศไหลสวนกัน (Counter Flow)

หอฝึ่งน้ำชนิดนี้จะปล่อยน้ำที่อุณหภูมิสูงไหลลงมาจากด้านบน และดูดอากาศเข้าทางด้านล่าง ทำให้น้ำและอากาศไหลสวนทางกัน ดังรูป



รูปที่ 8.1 หอฝึ่งน้ำ แบบน้ำและอากาศไหลสวนทาง (Counter Flow)



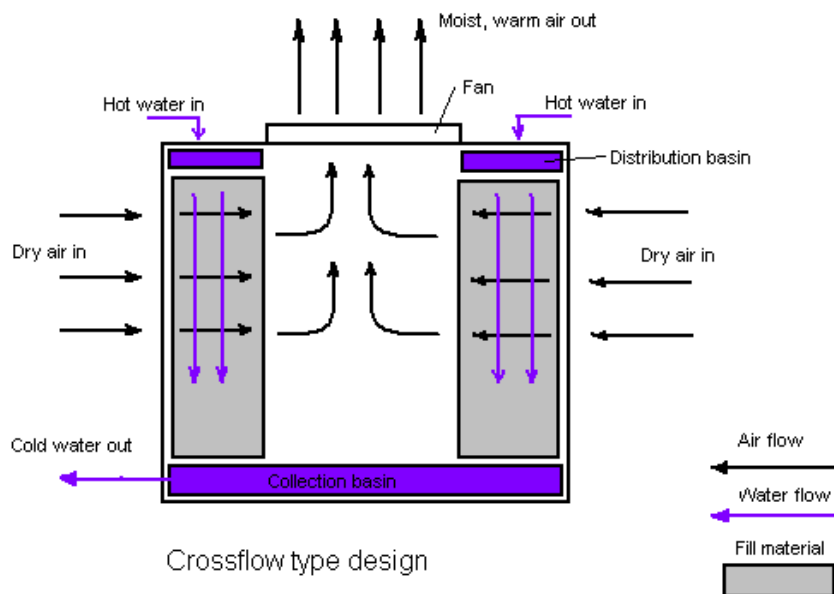
รูปที่ 8.2 ลักษณะการถ่ายเทความร้อน แบบน้ำและอากาศไหลสวนทาง (Counter Flow)

8.1.2 น้ำและอากาศไหลแบบตั้งฉากกัน (Cross Flow)

หอฝึ่งน้ำชนิดนี้จะปล่อยน้ำอุณหภูมิสูงไหลลงมาจากด้านบน และดูดอากาศเข้าจากด้านข้างทำให้น้ำและอากาศไหลตั้งฉากกัน ดังรูป



รูปที่ 8.3 หอฝึ่งน้ำ แบบน้ำและอากาศไหลแบบตั้งฉากกัน (Cross Flow)



รูปที่ 8.4 ลักษณะการถ่ายเทความร้อน แบบน้ำและอากาศไหลแบบตั้งฉากกัน (Cross Flow)

องค์ประกอบของหอผึ่งน้ำ ประกอบด้วย

1. ตัวถัง (Casing) ทำหน้าที่ เป็นโครงสร้างของ หอผึ่งน้ำ
2. แผงรังผึ้ง (Filling) ทำหน้าที่ กระจายน้ำร้อนให้ละเอียด เพื่อประโยชน์ในการถ่ายเทความร้อน
3. ถาดน้ำร้อนบน (Hot Water Basin) ทำหน้าที่ รับน้ำร้อนจากระบบเพื่อกระจายลงบนแผงรังผึ้ง
4. พัดลม (Fan) ทำหน้าที่ ดูดอากาศรอบๆ หอผึ่งน้ำเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง อากาศกับน้ำร้อน
5. ถาดน้ำเย็นล่าง (Cold Water Basin) ทำหน้าที่ รับน้ำที่ผ่านการระบายความร้อน จากแผงรังผึ้ง
6. ช่องอากาศเข้า (Air in let) ทำหน้าที่ เป็นช่องทางเข้าของอากาศเข้าสู่ แผงรังผึ้งเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ
7. ช่องอากาศออก (Air out let) ทำหน้าที่ เป็นช่องทางระบายอากาศ ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว

8.2 นิยามประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ

8.2.1 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb Temperature) คืออุณหภูมิที่อากาศมีปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ที่ความชื้น 100 % RH

8.2.2 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulb Temperature) หมายถึง ค่าอุณหภูมิที่สภาวะปกติ

8.2.3 ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน (η_{CT}) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลต่างของน้ำเข้าและออกจากหอผึ่งน้ำ กับผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าหอผึ่งน้ำและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

$$\eta_{CT} = \frac{T_{Win} - T_{Wout}}{T_{Win} - T_{wb}} \times 100$$

โดยที่

η_{CT} = ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน (%)

T_{Win} = อุณหภูมิน้ำเข้า (°C / °F)

T_{Wout} = อุณหภูมิน้ำออก (°C / °F)

T_{wb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C / °F)

8.3 กฎหมายที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันไม่มีกฎหมายเกี่ยวกับการสำรวจ ตรวจสอบ หรือวิเคราะห์ประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ

8.4 แนวทางการสำรวจและการเก็บข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

เครื่องมือหรือมาตรวัดที่ต้องใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ

- เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
- เครื่องมือวัดอุณหภูมิน้ำ
- Psychrometric Chart ที่ระดับความดันบรรยากาศ 101.3 kPa. หรือ โปรแกรมในการช่วยคำนวณหาอุณหภูมิกระเปาะเปียก

8.4.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์

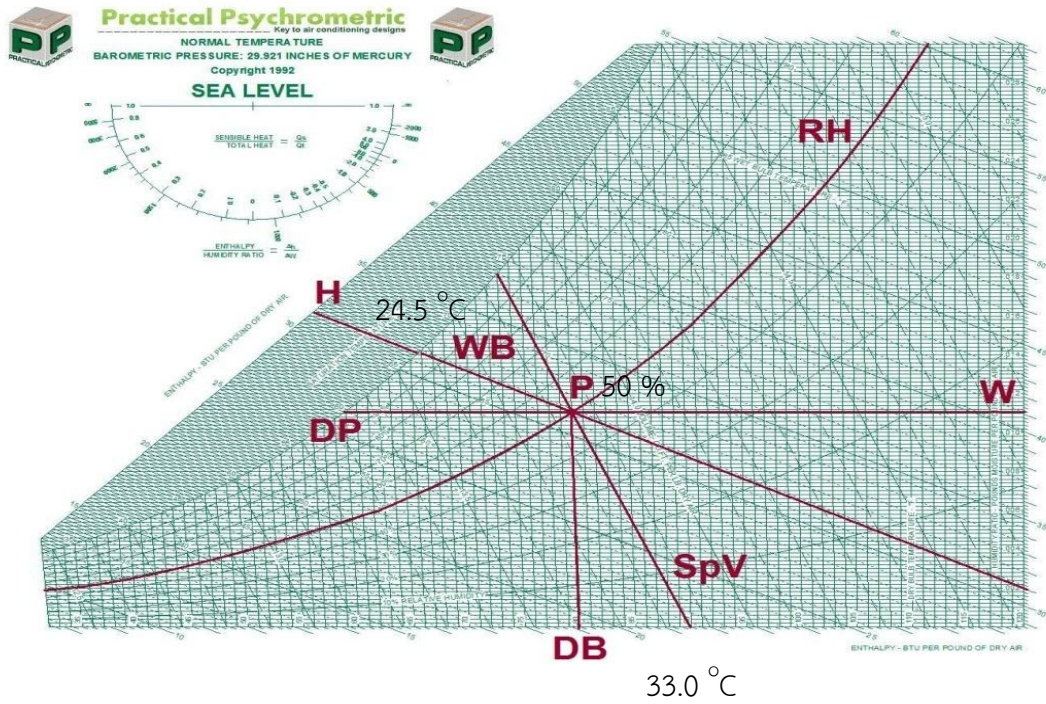
1. ตรวจวัดค่าอุณหภูมิน้ำเข้าหอฝิ่งน้ำ (T_{win}) บริเวณถาดบนของหอฝิ่งน้ำในหน่วยของ $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$
2. ตรวจวัดค่าอุณหภูมิน้ำออกหอฝิ่งน้ำ (T_{wout}) บริเวณถาดล่างของหอฝิ่งน้ำในหน่วยของ $^{\circ}\text{C}$ หรือ $^{\circ}\text{F}$
3. ตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบริเวณที่อากาศเข้าหอฝิ่งน้ำ
4. นำค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในข้อ 3 หาค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) ใน

Psychrometric Chart โดยมีขั้นตอนการหา ดังนี้

- นำค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศไป Plot ลงบน Psychrometric Chart โดยเริ่มจากนำค่าอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จากข้อ 3 ลากเส้นขึ้นไปในแนวตั้ง ไปตัดกับเส้นความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ (จากข้อ 3) แล้วลากเฉียงขึ้นไปให้ขนานกับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกแล้วอ่านค่า ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 33.0°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50.0 % จะสามารถหาอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ 24.5°C ดังรูป 8.5

5. นำค่าที่ได้จากการตรวจวัดและ Psychrometric Chart มาคำนวณหาประสิทธิภาพหอฝิ่งน้ำ ดังสมการต่อไปนี้

$$\eta_{CT} = \frac{T_{win} - T_{wout}}{T_{win} - T_{wb}} \times 100$$



รูปที่ 8.5 แผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart)

ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลและวิเคราะห์

รายการ	หน่วย	สัญลักษณ์	No.	แหล่งที่มา
หมายเลขเครื่อง	-	-		
สถานที่ใช้งาน	-	-		
เวลาเปิดใช้งาน	-	-		ข้อมูล เปิด-ปิด
ปีที่ติดตั้งใช้งาน	-	-		ปีที่ติดตั้ง
ยี่ห้อ	-	-		Name Plate
รุ่น/ประเภท (Cross Flow , Counter Flow)	-	-		Name Plate
ลักษณะ/ระยะการบำรุงรักษา	-	-		ช่วงเวลาการบำรุงรักษา
ค่าพิกัด	Cooling Capacity	TR	-	Name Plate
	จำนวนพัดลม	ชุด	-	Name Plate
	กำลังไฟฟ้าของพัดลม	kW	-	Name Plate
	อัตราการไหลของน้ำ	L/min	-	Name Plate
	อัตราการไหลของลม	m ³ /min	-	Name Plate
	อุณหภูมิน้ำเข้า	°F	-	Name Plate
	อุณหภูมิน้ำออก	°F	-	Name Plate
	อุณหภูมิอากาศเข้า WB	°F	-	Name Plate
	ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน	%	-	Name Plate
ค่าการตรวจวัด	อุณหภูมิอากาศเข้า	°F	T _{in}	ตรวจวัด
	ความชื้นอากาศเข้า	%RH	RH _{in}	ตรวจวัด
	อุณหภูมิ Ambient	°F	AT	ตรวจวัด
	ความชื้น Ambient	%RH	ARH	ตรวจวัด
	อุณหภูมิกระเปาะเปียก Ambient	°F	T _{wb}	คำนวณ หรือ Psychrometric Chart
	ความเร็วลม	m/s	V	ตรวจวัด
	พื้นที่หน้าตัดพัดลม	m ²	A	ตรวจวัด
	อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	L/min	F	ตรวจวัด
	อุณหภูมิน้ำเข้า	°F	T _{win}	ตรวจวัด
	อุณหภูมิน้ำออก	°F	T _{wout}	ตรวจวัด
	TC	Ton	Q _c	$Q_c = F_c \times (T_{win} - T_{wout}) / 24$
ไฟฟ้า	V	Volt	V	ตรวจวัด
	A1	Amp	I1	ตรวจวัด
	A2	Amp	I2	ตรวจวัด
	A3	Amp	I3	ตรวจวัด
	KW	kW	W	ตรวจวัด
	P.F.	-	PF	ตรวจวัด
ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน	%	η_{CT}	$\eta_{CT} = (T_{win} - T_{wout}) / (T_{win} - T_{wb})$	
หมายเหตุ				

8.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ตัวอย่างที่ 1 : หอฝึ่งน้ำขนาด 600 Ton แบบ Counter Flow มีค่าพิกัดและค่าตรวจวัด ดังต่อไปนี้

Name	CT-02		
Data	Maker	Liangchi	
	Model	600 RT	
	Cooling Capacity	2,340,000	kcal/hr
	Water Flow Rate	7,500	lpm
	Air Flow Rate	3,750	m ³ /min
	Water Temp Inlet	37.8	°C
	Water Temp Outlet	32.2	°C
	Wet Bulb Temp	28.3	°C
	Thermal Transfer Eff.	58.9%	
	Fan Motor	15	hp
Audit	15-07-2009 @ 14.00 น.		
	Air Flow Rate	2,562	m ³ /min
	Water Temp Inlet	36.7	°C
	Water Temp Outlet	32.7	°C
	Inlet Air Temp	32.3	°C
	%RH	77.9	%
	Fan Motor	11.2	kW

การคำนวณหาค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ด้วย Psychrometric Chart

1. ค่าอุณหภูมิอากาศ เท่ากับ 32.3 °C / 77.9% RH
2. ลากเส้นบนแผนภูมิ อุณหภูมิ 32.3 °C ขึ้นไปในแนวดิ่ง **1** จนตัดกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ 77.9 % RH **2** ขีดเส้นในแนวเฉียงขึ้นไปจนตัดกับเส้นไอน้ำอิ่มตัว **3**
3. อ่านค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ได้เท่ากับ 29.0 °C
4. คำนวณหาค่าประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อน
จากสมการ

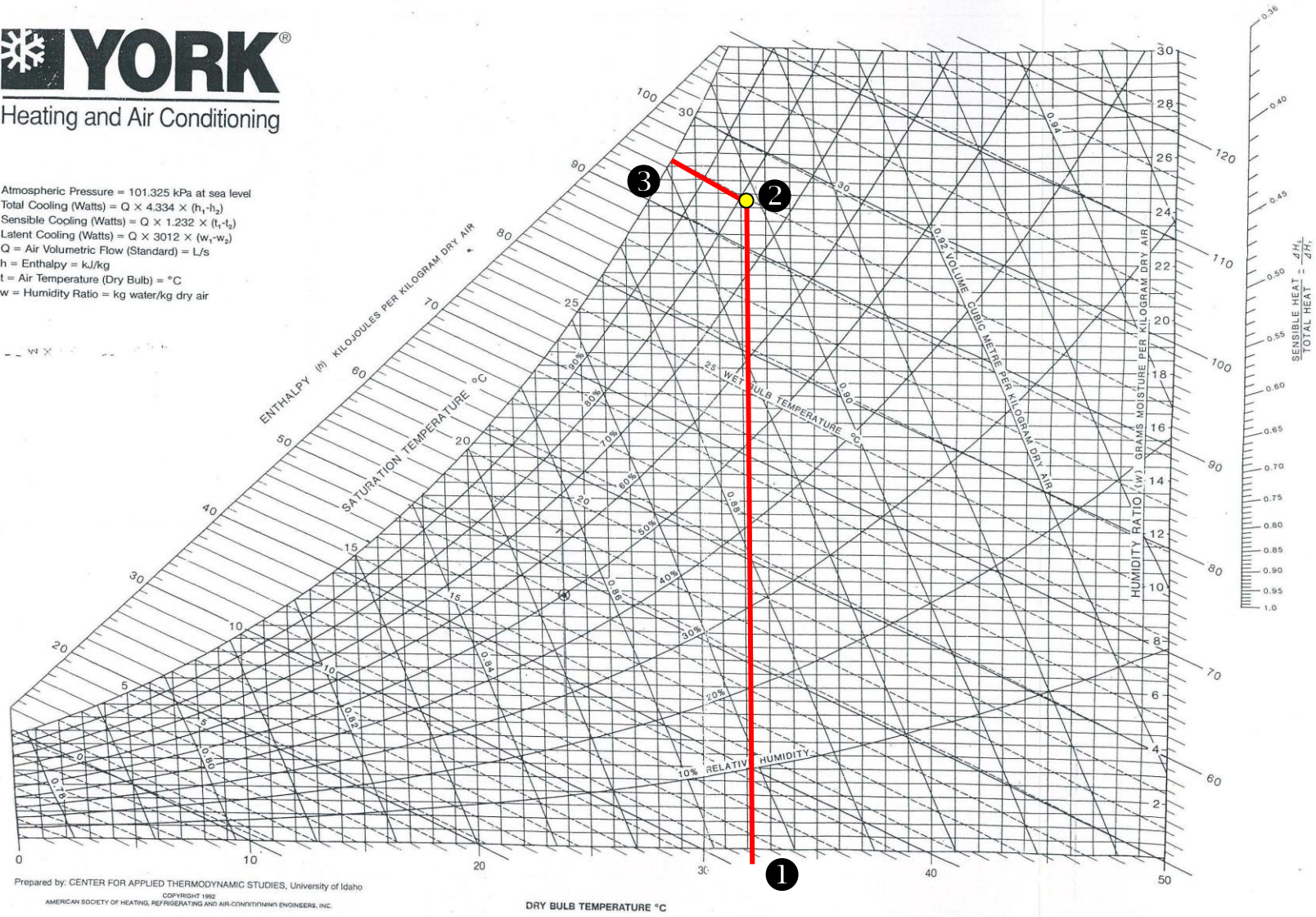
$$\eta_{CT} = \frac{T_{Win} - T_{Wout}}{T_{Win} - T_{wb}} \times 100$$

$$\eta_{CT} = \frac{36.7 - 32.7}{36.7 - 28.6} \times 100$$

$$\eta_{CT} = 49.4 \%$$



Atmospheric Pressure = 101.325 kPa at sea level
 Total Cooling (Watts) = $Q \times 4.334 \times (h_1 - h_2)$
 Sensible Cooling (Watts) = $Q \times 1.232 \times (t_1 - t_2)$
 Latent Cooling (Watts) = $Q \times 3012 \times (w_1 - w_2)$
 Q = Air Volumetric Flow (Standard) = L/s
 h = Enthalpy = kJ/kg
 t = Air Temperature (Dry Bulb) = °C
 w = Humidity Ratio = kg water/kg dry air



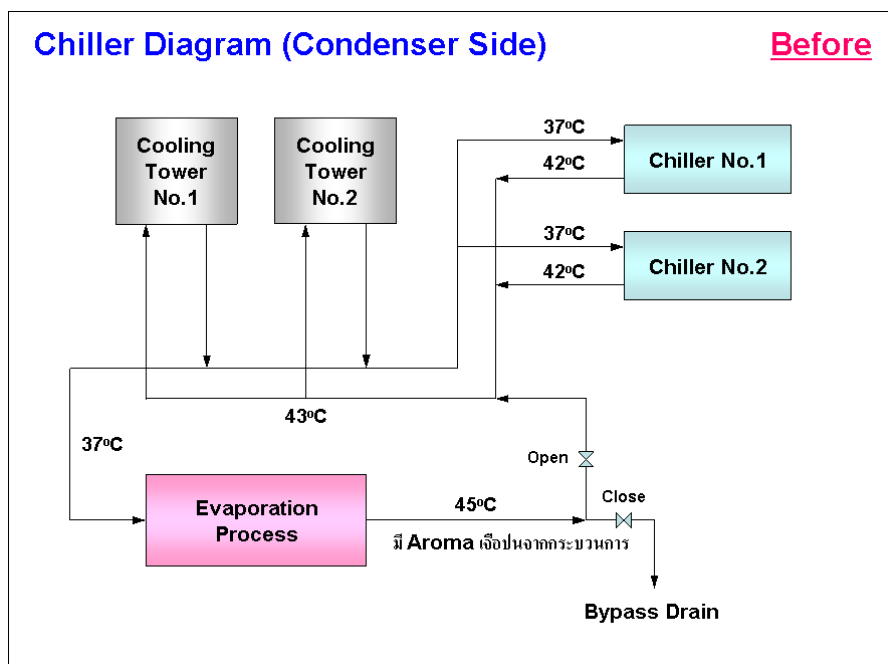
รูปที่ 8.6 รูปภาพแสดงการหาค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ

8.6 ตัวอย่างมาตรการที่ประสบความสำเร็จ

ตัวอย่างที่ 1 : การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นโดยการลดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งาน

ในกระบวนการ Evaporation มีการดึงน้ำหล่อเย็นบางส่วนจากระบบทำน้ำเย็น (จากหอผึ่งน้ำ) มาใช้ในการหล่อเย็นกับผลิตภัณฑ์ก่อนจะปล่อยกลับเข้าสู่หอผึ่งน้ำเพื่อลดอุณหภูมิแล้วนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งดังรูป



รูปที่ 8.7 ระบบหล่อเย็นที่ใช้งานในส่วนเครื่องทำน้ำเย็นและส่วนของ Evaporation (ก่อนปรับปรุง)

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

จากสภาพการทำงานจากระบบหล่อเย็นในลักษณะดังกล่าว ทางโรงงานพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นหลังผ่านกระบวนการ Evaporation มาแล้วนั้น จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นประมาณ 45°C ซึ่งเมื่อนำกลับมาผสมกับน้ำหล่อเย็นในระบบทำน้ำเย็นแล้ว จะมีผลทำให้อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของทั้งระบบโดยรวมสูงขึ้น นั่นคืออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในส่วนที่นำไประบายความร้อนในเครื่องทำน้ำเย็นก็จะสูงขึ้นเช่นกัน (ประมาณ 37°C) ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยความเย็นที่เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ น้ำหล่อเย็นที่ออกจากกระบวนการ Evaporation นั้นมีส่วนผสมของสาร Aroma ปะปนมาด้วย ทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำหล่อเย็น ความสะอาดของชุดคอนเดนเซอร์ และหอผึ่งน้ำ ซึ่งเป็นเหตุให้ความสามารถในการระบายความร้อนของระบบมีปัญหาเกิดขึ้นจนกระทั่งเกิดการน็อคของเครื่องทำน้ำเย็นตามมาและส่งผลกระทบต่อระบบปรับอากาศและส่วนของการผลิต โดยในกรณีดังกล่าวนี้ทางโรงงานจะทำการ Bypass น้ำหล่อเย็นในส่วนนี้ทิ้งออกไปทันที และทำการล้างทำความสะอาดชุดคอนเดนเซอร์และหอผึ่งน้ำให้กลับมาเป็นปกติ จากนั้น

จึงค่อยเปิดนำน้ำหล่อเย็นส่วนที่ทิ้งนี้กลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง (เนื่องจากน้ำหล่อเย็นที่ปล่อยทิ้งมีปริมาณค่อนข้างมาก ดังนั้นทางโรงงานจึงกลัวในเรื่องของค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปาที่เกิดขึ้นหากต้องปล่อยทิ้งออกไปทั้งหมด)



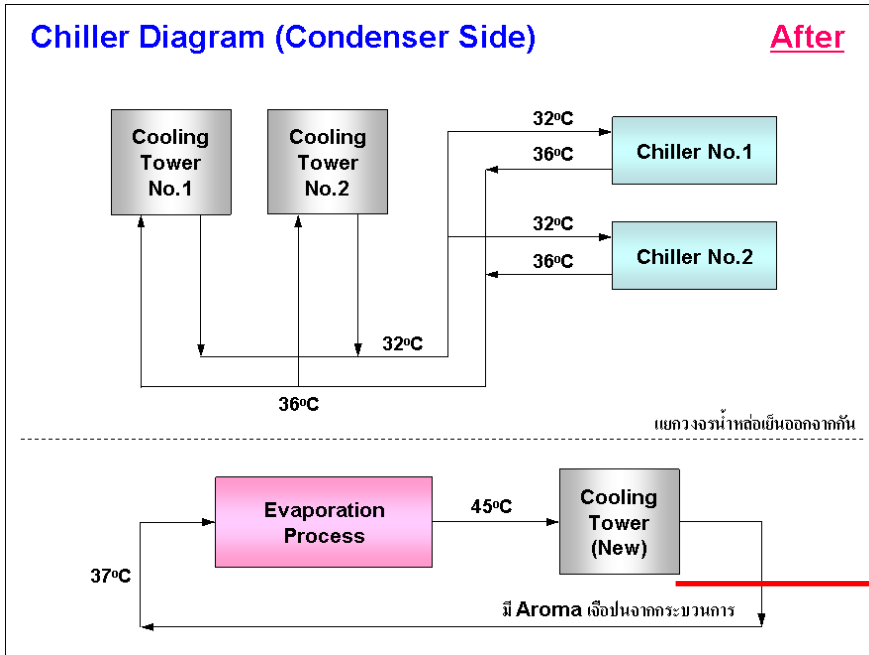
รูปที่ 8.8 อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นก่อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (ก่อนปรับปรุง)

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทางโรงงานได้มีแนวทางในการปรับปรุงระบบท่อน้ำหล่อเย็นใหม่โดยการแยกวงจรน้ำหล่อเย็นในส่วนเครื่องทำน้ำเย็นและ Evaporation ออกจากกัน (ดังรูป) ทั้งนี้ในส่วนของ Evaporation นั้นจะต้องเพิ่มเติม (ติดตั้งเพิ่ม) ในส่วนของหอผึ่งน้ำสำหรับใช้ระบายความร้อนน้ำหล่อเย็นที่หมุนเวียนในกระบวนการด้วย

สภาพหลังปรับปรุง

ภายหลังการปรับปรุงพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในส่วนที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นนั้นมีค่าลดลงจาก 37°C เหลือเพียง 32°C และช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานในส่วนเครื่องทำน้ำเย็น โดยดูจากอุณหภูมิ / ความดันของสารทำความเย็น นอกจากนี้ยังเป็นการแก้ปัญหาในเรื่องของสาร Aroma ปะปนมาในน้ำอันเป็นสาเหตุหลักของความสกปรกและประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ลดลงของระบบทำน้ำเย็นได้อีกด้วย



รูปที่ 8.9 ระบบหล่อเย็นที่ใช้งานในส่วนเครื่องทำน้ำเย็นและส่วนของ Evaporation (หลังปรับปรุง)

สภาพหลังปรับปรุง

ภายหลังการปรับปรุงพบว่าอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นในส่วนที่ใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นนั้นมีค่าลดลงจาก 37°C เหลือเพียง 32°C และช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานในส่วนเครื่องทำน้ำเย็น โดยดูจากอุณหภูมิ / ความดันของสารทำความเย็น นอกจากนี้ยังเป็นการแก้ปัญหาในเรื่องของสาร Aroma ปะปนมาในน้ำอันเป็นสาเหตุหลักของความสกปรกและประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ลดลงของระบบทำน้ำเย็นได้อีกด้วย

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากการตรวจวัดค่าแรงดันน้ำยา R-22 ของเครื่องทำน้ำเย็น No.1 และ No.2 ทั้งก่อนและหลังปรับปรุง เพื่อคำนวณค่า COP ของระบบทำความเย็นบน P-h Diagram ด้วยโปรแกรม Refrigeration Utilities Version 2.84 จะได้ผลการวิเคราะห์ตามตาราง

No.	Refrigerant Pressure (Suct./Disc.)		COP		%Saving (COP Increase)
	Before (psig)	After (psig)	Before	After	
No.1	65 / 280	70 / 215	4.26	6.28	32.2%
No.2	65 / 225	65 / 205	5.57	6.28	11.3%

- หมายเหตุ :
- No.1 เป็น Base Unit และ No.2 เป็น Partial Unit
 - ข้อมูลก่อนปรับปรุง ณ วันที่ 2/11/2550
 - ข้อมูลหลังปรับปรุง ณ วันที่ 15/11/2550
 - รายละเอียดการคำนวณค่า COP ของโปรแกรมฯตามเอกสารท้ายมาตรการ

จากการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น (ก่อนปรับปรุง)

เครื่องทำน้ำเย็น No.1	=	55.9 kW x 8,760 ชั่วโมง/ปี x 80%
	=	375,648 kWh/ปี
เครื่องทำน้ำเย็น No.2	=	31.9 kW x 8,760 ชั่วโมง/ปี x 80%
	=	214,268 kWh/ปี
% Safety Factor	=	80%
พลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้	=	(375,648 x 32.2% + 214,268 x 11.3%) x 80%
	=	116,052 kWh/ปี
คิดเทียบเป็นน้ำมันดิบได้	=	$\frac{116,052 \text{ kWh/ปี} \times 3.6}{42,244,000}$
	=	0.00989 ktoe/ปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	=	116,052 kWh/ปี x 3.06 บาท/kWh
	=	355,120 บาท/ปี
เงินลงทุน	=	110,000 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	0.31 ปี

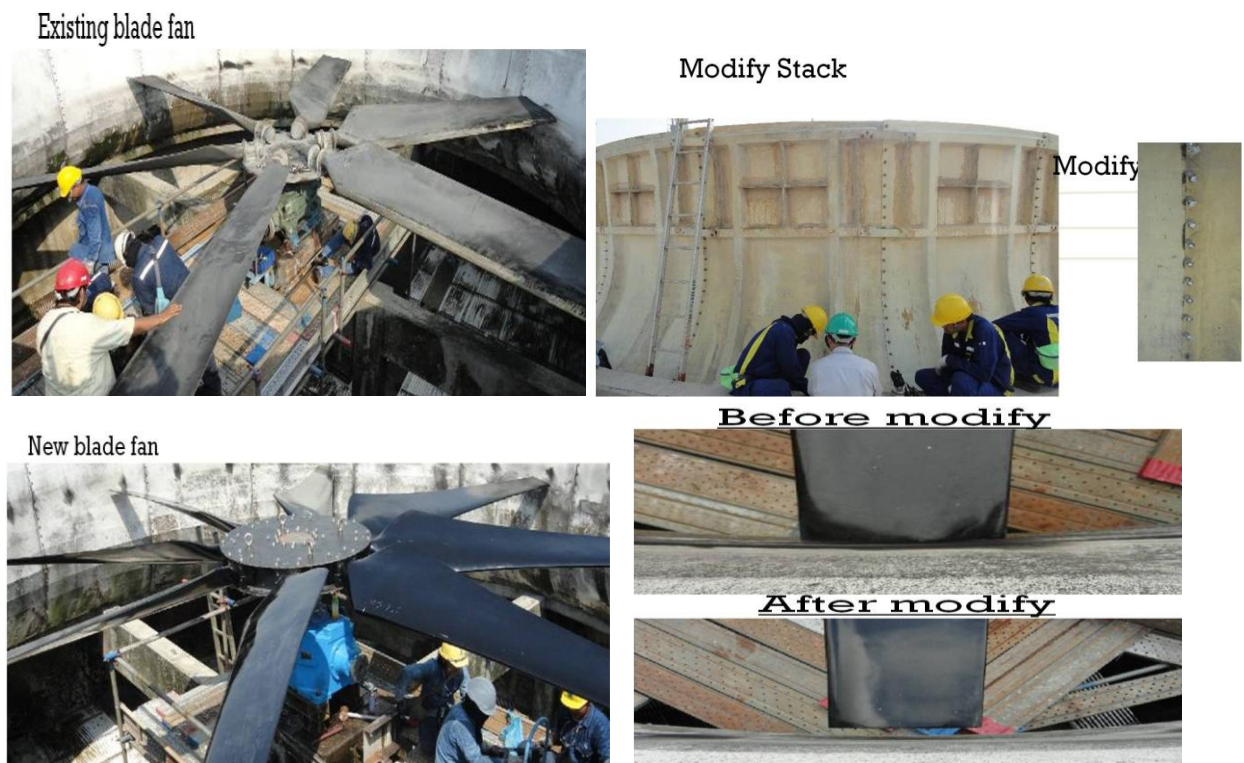
ตัวอย่างที่ 2: มาตรการ เปลี่ยนใบพัดลมของ Cooling tower เป็นชนิดประหยัดพลังงาน

แนวคิดและขั้นตอนดำเนินการ

Cooling tower ที่ใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานเป็น Cooling tower มีขนาดใหญ่ ใช้พลังงานไฟฟ้าสูง โดยใบพัดของ Cooling tower ของโรงงานเดิมเป็นชนิด Fiberglass Reinforced Vinyl Ester ซึ่งเป็นชนิดที่มีน้ำหนักค่อนข้างมากทำให้ต้องใช้กำลังในการขับ (Torque) สูง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานโรงงานจึงได้ดำเนินการเปลี่ยนชนิดของใบพัดใหม่เป็นชนิด Fiberglass Reinforced Plastic (FRP) ซึ่งมีน้ำหนักเบา ร่วมกับ Epoxy เพื่อลดแรงเสียดทาน และยังมี การปรับระยะของใบพัดให้เหมาะสมเพื่อให้ได้ปริมาณลมมากขึ้นด้วย ซึ่งมีขนาดมอเตอร์ขับของใบพัดเท่ากับ 160 kW



รูปที่ 8.10 หอผึ่งน้ำที่ดำเนินการ



รูปที่ 8.11 แสดงการเปลี่ยนใบพัดหอผึ่งน้ำ

Before replace

-Motor rated : 160 kW.

Measure power record 3 day

-Avg. Power : 132.06 kW.

-Avg. Current : 234 A.

- Air Flow rate : 7.18 m/s

After replace

: 160 kW.

: 89.60 kW.

: 171.9 A.

Energy Saving

= 32.15 %

Before replace

-Motor rated : 160 kW.

Measure power record 3 day

-Avg. Power : 124.21 kW.

-Avg. Current : 225.9 A.

- Air Flow rate : 7.90 m/s

After replace

: 160 kW.

: 95.95 kW.

: 181.3 A.

Energy Saving

= 22.75 %

Electrical saving = 602,534 kWh/yr

Cost saving = 1,681,071 THB/yr

Total Investment = 1,000,000 THB

Payback period = 0.59 yr