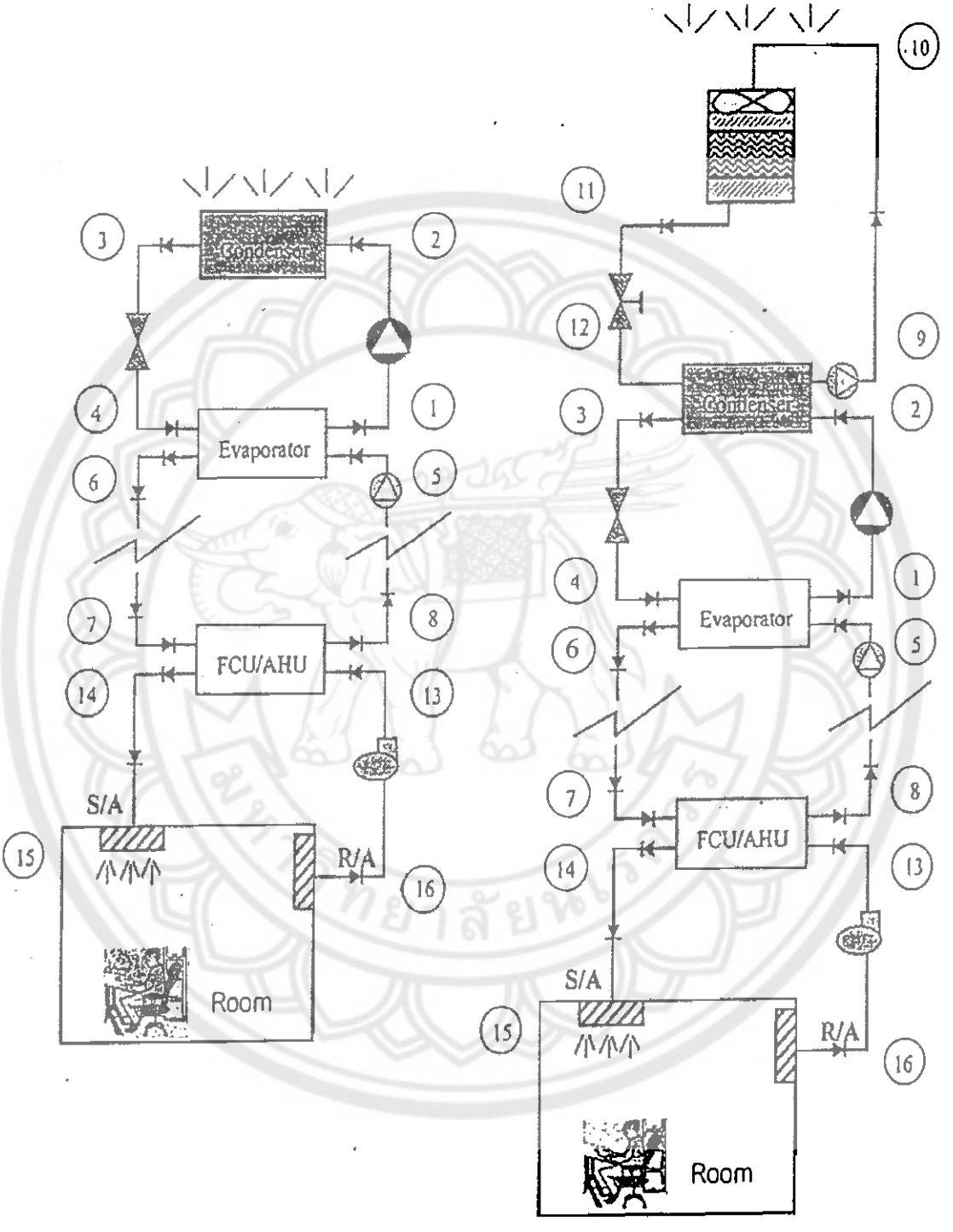
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลาง (Central Air Conditioning System)

ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลางเป็นระบบปรับอากาศสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น โรงแรม, สำนักงาน, โรงพยาบาล, ห้างสรรพสินค้า, มหาวิทยาลัย เป็นต้น ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นแบบส่วนกลาง ซึ่งจะเป็นการทำความเย็นให้แก่อากาศภายในอาคารโดยอ้อม กล่าวคือจะไม่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศโดยตรง แต่จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นบริเวณอีแวปโพเรเตอร์จนกลายเป็นน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำไหลไปตามระบบท่อโดยอาศัยแรงดันของเครื่องสูบน้ำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องที่คอยล์น้ำเย็น (Fan Coil Unit, FCU) หรือที่เครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit, AHU) สาเหตุที่ต้องใช้น้ำเย็นเป็นตัวกลางถ่ายทอดความเย็นนี้ เนื่องจากน้ำสามารถสูบจ่ายไปได้ไกล โดยไม่มีปัญหาการรั่วและควบคุมปริมาณได้ง่าย ซึ่งก็จะมีผลทำให้การควบคุมอุณหภูมิแม่นยำขึ้นและต้นทุนต่ำกว่าสารทำความเย็นมาก การติดตั้งเครื่องอัดสารทำความเย็นก็สามารถติดตั้งภายในห้องติดตั้งโดยเฉพาะจึงไม่ทำให้มีปัญหาเสียงดัง

ระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นแบบส่วนกลางจะมีหลักการระบายความร้อนจากเครื่องทำน้ำเย็น 2 ชนิด คือ ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled Type) และชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Type) ซึ่งอุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลางจะประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญคือ เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) เครื่องสูบน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น (Chilled Water Pump/Condenser Water Pump) หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) เครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit/Fan Handing Unit) ระบบท่อพร้อมอุปกรณ์ประกอบท่อ (Piping and Fitting) ดังรูปที่ 2.1



ก.การระบายความร้อนด้วยอากาศ ข.การระบายความร้อนด้วยน้ำ

รูปที่ 2.1 แสดงระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นแบบส่วนกลาง

คือ คอนเดนเซอร์

คือ อีแวปโพเรเตอร์

คือ เครื่องจ่ายลมเย็น/เครื่องส่งลมเย็น

คือ เครื่องอัดสารทำความเย็น

คือ เครื่องสูบน้ำ

คือ วาล์วลดความดัน

คือ วาล์วควบคุมอัตราการไหล

คือ เครื่องเป่าลมเย็น

คือ หอผึ่งน้ำระบายความร้อน

คือ ระบบท่อ

รูปที่ 2.2 แสดงสัญลักษณ์ของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง

2.1.1 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นแบบส่วนกลาง (Central Air Conditioning System)

หลักการทำงานของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลางชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ และชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ จะเป็นไปตามวงจรดงแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแต่ละวงจรจะทำงานสัมพันธ์กัน ดังนี้

2.1.1.1 วงจร 1-2-3-4 : วงจรสารทำความเย็น (Refrigeration Side Loop) คือวงจรในการทำความเย็นแบบอัดไอของเครื่องทำน้ำเย็น โดยมีหลักการดังนี้คือ เมื่อสารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากได้แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นกลับจากอาคาร (Chilled Water Return) ที่อีแวปโพเรเตอร์ (Evaporator) แล้ว ก็จะส่งไปที่เครื่องอัด (Compressor) โดยจะอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและส่งผ่านไประบายความเย็นให้กับน้ำหล่อเย็นอุณหภูมิต่ำหรืออากาศภายนอกแล้วแต่ชนิดของการระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นผลทำให้ไอระเหยของสารทำความเย็นเกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวก่อนจะส่งผ่านวาล์วลดความดันแล้วจะทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิและความดันต่ำลงพร้อมที่จะส่งผ่านอีแวปโพเรเตอร์เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำเย็นอุณหภูมิสูงที่มาจากอาคารต่อไป

2.1.1.2 วงจร 5-6-7-8 : วงจรด้านน้ำเย็น (Chilled Water Side Loop) คือ วงจรการทำน้ำเย็นอุณหภูมิต่ำเพื่อส่งไปยังเครื่องส่งลมเย็น โดยมีหลักการดังนี้คือ น้ำเย็นเมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำยาทำความเย็นที่อีแวปโพเรเตอร์แล้ว จะมีอุณหภูมิลดลงและจะส่งไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในอาคารที่ เครื่องส่งลมเย็น (AHU) หรือคอยล์น้ำเย็น (FCU) โดยอาศัยแรงดันจากเครื่องสูบน้ำไปตามระบบท่อและเมื่อน้ำเย็นผ่านเครื่องส่งลมเย็นหรือคอยล์น้ำเย็นแล้วน้ำเย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นไหลกลับเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้แก่สารทำความเย็นที่อีแวปโพเรเตอร์ อีกครั้ง

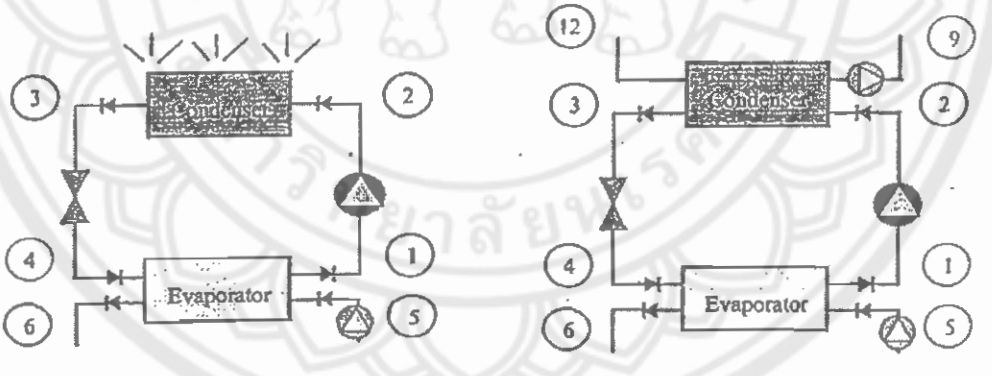
2.1.1.3 วงจร 2-3/9-10-11-12 : วงจรด้านระบายความร้อน (Condenser Side Loop) คือวงจรในการระบายความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นกลับจะถูกส่งไประบายความร้อนด้วยอากาศจะมีหลักการดังนี้ สารทำความเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากน้ำเย็นกลับจะถูกส่งไประบายความร้อนกับอากาศที่คอนเดนเซอร์ สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำจะมีหลักการดังนี้ สารทำความเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากน้ำเย็นกลับจะถูกส่งไประบายความร้อนกับน้ำหล่อเย็นที่คอนเดนเซอร์ หลังจากนั้นน้ำหล่อเย็นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะถูกเครื่องสูบน้ำ (Pump) เพิ่มแรงดันให้ไหลไปตามระบบท่อส่งไประบายความร้อนที่หอผึ่งน้ำก่อนที่จะกลายเป็นน้ำหล่อเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำไหลกลับเข้าคอนเดนเซอร์ อีกครั้งหนึ่ง

2.1.1.4 วงจร 13-14-15-16 : วงจรด้านอากาศ (Air Side Loop) คือวงจรการทำความเย็นให้กับอากาศภายในห้องต่างๆ โดยมีหลักการดังนี้ อากาศภายในห้องที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกพัดลมที่เครื่องส่งลมเย็นดูดกลับเข้ามาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำภายในคอยล์เย็นให้กลายเป็นอากาศอุณหภูมิต่ำก่อนที่จะถูกส่งเข้าไปในห้องปรับอากาศผ่านหน้ากากจ่ายลมเย็นหรือท่อลมเย็นต่อไป

ในโครงสร้างนี้มุ่งศึกษาถึงวงจรสารทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ เนื่องจากจะนำข้อมูลในส่วนนี้มาวิเคราะห์หาการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งในส่วนของข้อมูลเกี่ยวกับส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำเย็นรวมไปถึงอุปกรณ์ที่สำคัญของระบบปรับอากาศแบบทำความเย็นจากส่วนกลางสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ง.

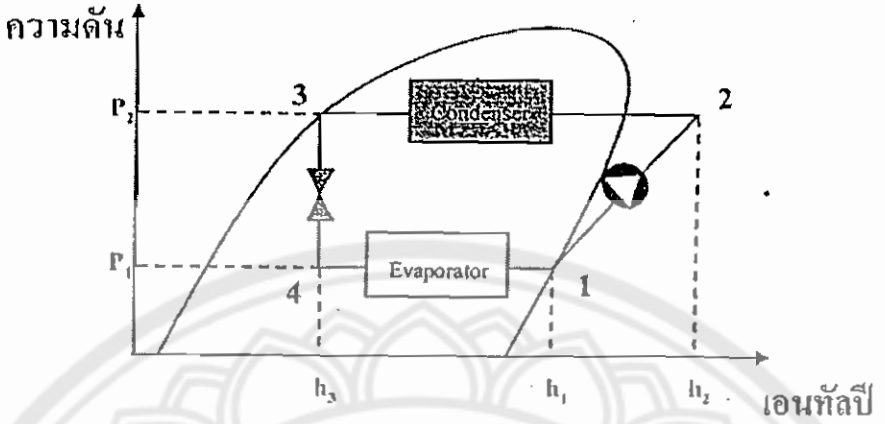
2.2 หลักการทำงานของเครื่องอัดสารทำความเย็น

เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอจะประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญคือ เครื่องอัดไอ (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องทำระเหย (Evaporator) และวาล์วขยายตัว (Expansion Valve) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 และสามารถแสดงได้ด้วยวัฏจักรสารทำความเย็น (Refrigerant Cycle) ดังรูปที่ 2.4 ได้ดังนี้



ก.ระบายความร้อนด้วยอากาศ ข.ระบายความร้อนด้วยน้ำ

รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 2.4 แสดงวัฏจักรของสารทำความเย็น

จากรูปสามารถแสดงตามกระบวนการได้ 4 กระบวนการ ดังนี้

2.2.1 กระบวนการอัดไอ 1 - 2 (Compressor Process)

สารทำความเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำระเหยในสถานะอิ่มตัวที่ความดันและอุณหภูมิต่ำที่สภาวะที่ 1 ถูกเพิ่มความดันโดยการอัดตัวแบบไอเซนโทรปิคในคอมเพรสเซอร์ไปสู่สภาวะที่ 2 ซึ่งเป็นร้อนยวดยิ่งที่สภาวะนี้จะถูกทำให้เย็นลงในคอนเดนเซอร์

2.2.2 กระบวนการควบแน่น 2 - 3 (Condensation Process)

ความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทไปสู่อากาศที่ใช้ระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ซึ่งจะกระทำในสภาวะความดันคงที่ (P Constant) เมื่อสารทำความเย็นผ่านคอนเดนเซอร์จะอยู่ในสภาพของเหลวอิ่มตัว (สภาวะที่ 3) และจะถูกลดความดันขณะผ่านกระบวนการลดความดันในวาล์วขยายตัว

2.2.3 กระบวนการลดความดันในวาล์วขยายตัว 3 - 4 (Throttling Process)

เป็นการลดความดันของสารทำความเย็นจากสภาวะที่ 3 ไปสู่สภาวะที่ 4 โดยการกระทำในสภาวะเอนทัลปีคงที่ (h Constant) ซึ่งในกระบวนการนี้จะเป็นของผสมระหว่างสารทำความเย็นและไอของสารทำความเย็น สารทำความเย็นในสภาวะนี้มีความดันและอุณหภูมิต่ำและไหลเข้าสู่เครื่องทำระเหยเพื่อรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น

2.2.4 กระบวนการทำระเหย 4 - 1 (Evaporation Process)

ความร้อนจากผลิตภัณฑ์จะถูกดูดเพื่อใช้ในการระเหยของของเหลวให้เป็นก๊าซพลังงานหรือความร้อน ซึ่งกระทำในสภาวะความดันคงที่ (P Constant)

2.3 ความสามารถของเครื่องปรับอากาศ

จากกฎข้อที่หนึ่งทางเทอร์โมไดนามิกส์ (First Law Efficiency of Thermodynamics) เป็นการพิจารณาถึงพลังงานที่ใช้อยู่ในระบบว่ามีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหนการใช้ประโยชน์ทางด้านพลังงานเป็นอย่างไร เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การประเมินประสิทธิภาพพิจารณาจากสมการพลังงานดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

พลังงานที่ใส่ในระบบ = พลังงานที่ระบบผลิตได้หรือได้รับ + พลังงานที่สูญเสีย (2.1)

ประสิทธิภาพกฎข้อที่หนึ่ง = (พลังงานที่ระบบผลิตหรือได้รับจริง) / (พลังงานที่ใส่ในระบบ) (2.2)

2.3.1 สมรรถนะการทำความเย็นหรือพลังงานไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/Ton)

อัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถที่จะแสดงความพันธ์ให้อยู่ในรูปของผลคูณของอัตราการไหลของน้ำโดยมวล (Mass Flow Rate) ความร้อนจำเพาะของน้ำ (Specific Heat) และค่าอุณหภูมิแตกต่างของน้ำเย็น (Temperature Different) ได้ดังนี้

$$Q = (\dot{m_w}) \times (C_p) \times (\Delta T) \qquad (2.3)$$

โดยที่

Q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน (Btu/min)
$\dot{m_w}$	คือ	อัตราการไหลของน้ำโดยมวล (lb/min)
C_p	คือ	ความร้อนจำเพาะของน้ำ (1 Btu/lb F)
ΔT	คือ	ค่าอุณหภูมิแตกต่างของน้ำเย็น (F)

จากสมการที่ 2.3 เปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำโดยมวล (lb/min) ให้อยู่ในรูปของอัตราการไหลของน้ำโดยปริมาตร (GPM, gallons/min) จะได้ดังสมการที่ 2.4

$$Q = (8.02) \times (\rho_w) \times (C_p) \times (GPM) \times (\Delta T) \qquad (2.4)$$

ที่สภาวะมาตรฐานความแน่นของน้ำ (ρ_w) จะมีค่า 62.4 lb/ft^3 ดังนั้นสมการที่ 2.4 จะเปลี่ยนรูปเป็นดังสมการที่ 2.5

$$Q = 500 \times (GPM) \times (\Delta T) \qquad (2.5)$$

แต่หน่วยที่นิยมใช้สำหรับหาอัตราการถ่ายเทความร้อน คือ ตันความเย็น (Ton of Refrigerant, Ton) ซึ่งประมาณ 1 ตันความเย็นนี้หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ใช้สำหรับละลายน้ำแข็ง 1 ตัน (2,000 lb, 907.8 kg) ในเวลา 24 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 12,000 Btu/hr (3,513.725 w) นั่นคือ 1 ตันความเย็น มีค่าเท่ากับอัตราการถ่ายเทความร้อนในรูปของตันความเย็น ดังนี้

$$12{,}000 \times (Ton) = 500 \times (GPM) \times (\Delta T) \qquad (2.6)$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้ดังสมการที่ 2.7

$$Ton = \frac{(GPM \times \Delta T)}{24} \qquad (2.7)$$

โดยที่

Ton คือ ความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระเต็มพิกัด โดยมีหน่วยเป็น “ตันความเย็น (Ton of Refrigerant)”

GPM คือ ปริมาณน้ำเย็นที่ไหลผ่านส่วนทำน้ำเย็น โดยมีหน่วยเป็น “แกลลอน/นาที (Gallons/min)”

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นระหว่างด้านส่งและด้านน้ำเย็นกลับ โดยมีหน่วยเป็น “องศาฟาเรนไฮต์ (° F)”

การคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า

$$kW = \frac{\sqrt{3} \times V \times \left(\frac{I_R + I_S + I_T}{3} \right) \times \cos\phi}{1000} \qquad (2.8)$$

โดยที่

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยมีหน่วยเป็น "Voltage (V)"

I_R คือ กระแสไฟฟ้าของเส้นที่ 1 โดยมีหน่วยเป็น "Amperes"

I_S คือ กระแสไฟฟ้าของเส้นที่ 2 โดยมีหน่วยเป็น "Amperes"

I_T คือ กระแสไฟฟ้าของเส้นที่ 3 โดยมีหน่วยเป็น "Amperes"

COSØ คือ ตัวประกอบกำลังระบบไฟฟ้า

kW คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำความเย็นทั้งระบบ โดยมีหน่วยเป็น "กิโลวัตต์"

ซึ่งสมการที่ 2.7 และ 2.8 สามารถหาความสัมพันธ์ของสมรรถนะการทำความเย็นหรือพลังไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/Ton) ได้ ดังนี้

$$\text{kW/Ton} = \frac{\text{พลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอัดไอ (kW)}}{\text{ความสามารถในการทำความเย็น (Ton)}} \qquad (2.9)$$

เมื่อทำการคำนวณค่าสมรรถนะการทำความเย็น (kW/Ton) ของเครื่องทำน้ำเย็นออกมาเรียบร้อยแล้ว นำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน คือ มาตรฐานการปรับอากาศในอาคารตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้มีการตราพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ขึ้นดังตารางที่ 2.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ระบบการปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคารจะต้องมีค่าพลังงานไฟฟ้าเต็มพิกัด (Full Load) หรือที่ภาระใช้งานจริง (Actual Load) ไม่เกินค่าตาม**ตาราง ดังต่อไปนี้**

ตารางที่ 2.1 ค่าพระราชบัญญัติกฎหมายควบคุมอาคารที่ติดตั้งระบบปรับอากาศ

(ที่มา : http://artdd.com/knowledge/energy/encon-mnul.htm)

ประเภทเครื่องปรับอากาศ (เกณฑ์วัดประสิทธิภาพ)	อาคารเก่า	อาคารใหม่
(1) เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ		
- เครื่องทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal Chiller)		
ขนาดมากกว่า 251 ถึง 500 ตันความเย็น	0.70	0.84
ขนาดมากกว่า 501 ตันความเย็นขึ้นไป	0.67	0.80
- เครื่องทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Chiller)		
ขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 ตันความเย็น	0.98	1.18
ขนาดมากกว่า 35 ตันความเย็น	0.91	1.10
- เครื่องแบบเป็นชุด (Package Unit)	0.88	1.06
- เครื่องทำน้ำเย็นแบบสกรู (Screw Chiller)	0.70	0.84
(2) เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ		
- ส่วนทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง (Centrifugal Chiller)		
ขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 250 ตันความเย็น	1.40	1.61
ขนาดมากกว่า 251 ตันความเย็นขึ้นไป	1.20	1.38
- ส่วนทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Chiller)		
ขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 ตันความเย็น	1.30	1.50
ขนาดมากกว่า 51 ตันความเย็น	1.25	1.44
- เครื่องทำความเย็นแบบเป็นชุด (Package Unit)	1.38	1.58
- เครื่องทำความเย็นแบบติดหน้าต่าง/แยกส่วน (Window/Split type)	1.40	1.61

หมายเหตุ อาคารเก่า คือ อาคารที่ขออนุญาตก่อสร้างก่อนวันที่ 12 ธันวาคม 2538

อาคารใหม่ คือ อาคารที่ขออนุญาตก่อสร้างก่อนหลังที่ 12 ธันวาคม 2538

2.3.2 สัมประสิทธิ์ในการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP)

จะบอกถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องปรับอากาศนั้นๆ ถ้าค่า COP ยิ่งสูง มากเท่าไรสมรรถนะของเครื่องก็ยิ่งดีเท่านั้น ค่า COP สามารถหาได้ 2 วิธีคือ

2.3.2.1 หาค่าจากการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่อง

$$COP = \frac{\text{ความสามารถในการทำความเย็น } (kW_{th})}{\text{พลังงานที่เครื่องใช้ } (kW)} \qquad (2.10)$$

โดยที่

$$kW_{th} = \frac{Ton}{3.25}$$

2.3.2.2 หาค่าจากชาร์ท P-h Diagram ดังรูปที่ 2.4

$$COP = \frac{\text{ความร้อนที่ต้องการนำออกจากส่วนปรับอากาศ } (4 \rightarrow 1)}{\text{พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพลสเซอร์ } (1 \rightarrow 2)} \qquad (2.11)$$

จากสมการที่ 2.11 สามารถเขียนได้ดังนี้ คือ

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \qquad (2.12)$$

โดยที่

h_1 คือ เอนทัลปีที่สภาวะที่ 1 ตาม P-h Diagram

h_2 คือ เอนทัลปีที่สภาวะที่ 2 ตาม P-h Diagram

h_3 คือ เอนทัลปีที่สภาวะที่ 3 ตาม P-h Diagram

h_4 คือ เอนทัลปีที่สภาวะที่ 4 ตาม P-h Diagram

2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณการใช้พลังงาน

เมื่อทราบค่าสมรรถนะการทำความเย็นหรือพลังงานไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/Ton) แล้ว สามารถวิเคราะห์หาปริมาณการใช้พลังงาน ดังสมการที่ 2.13 ดังนี้

$$\text{การใช้พลังงานไฟฟ้า} = (\text{kW/Ton}) \times (\text{Ton}) \times (\text{hr}) \qquad (2.13)$$

โดยที่

kW/Ton	คือ	ค่าสมรรถนะการทำความเย็น
Ton	คือ	ขนาดการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น
hr	คือ	ชั่วโมงกรทำงานของเครื่อง

เมื่อทราบถึงปริมาณการใช้พลังงาน โดยมีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ของเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องเก่าแล้ว สามารถนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องเก่าที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพหรือเปรียบเทียบเครื่องทำน้ำเย็นใหม่เมื่อทำการเปลี่ยนได้ดังนี้

$$\text{พลังงานที่ประหยัดได้} = (\text{kWh})_{\text{Old}} - (\text{kWh})_{\text{New}} \qquad (2.14)$$

โดยที่

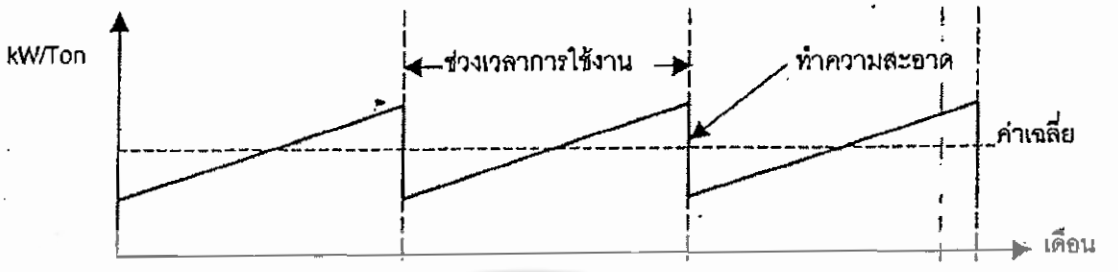
$(\text{kWh})_{\text{Old}}$	คือ	ปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องเก่า
$(\text{kWh})_{\text{New}}$	คือ	ปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องใหม่

2.5 การใช้โอโซนในระบบเครื่องทำน้ำเย็น

2.5.1 สภาพของปัญหา

ระบบปรับอากาศหรือระบบทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller) เป็นระบบที่ใช้น้ำหรือสารทำความเย็นเป็นตัวกลางในการส่งความเย็นและใช้น้ำเป็นตัวกลางในการระบายความร้อน ปัญหาของระบบที่ใช้น้ำในระบบการระบายความร้อนนี้ จะมีปัจจัยหลักที่สำคัญในการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ได้แก่ คุณภาพน้ำ สภาพอากาศแวดล้อมและการบำรุงรักษา ตะกรันและคราบสกปรกที่เกิดขึ้นในระบบ การระบายความร้อนด้วยน้ำเป็นปัญหาที่หลีกเลี่ยงได้ยาก ปัญหาดังกล่าวนี้ก่อให้เกิดผลเสียต่อสมรรถนะในการใช้งานและรวมถึงสมรรถนะในการใช้พลังงาน ถึงแม้โดยทั่วไปจะมีการบำรุงรักษาและมีการทำความสะอาดรักษาสภาพน้ำที่ใช้ให้อยู่ในระดับมาตรฐานแล้วก็ตาม แต่ระยะเวลาในการดำเนินการที่เหมาะสม ก็เป็นเรื่องที่กำหนดได้ยาก ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำหล่อเย็นที่ใช้และโอกาสที่จะสามารถทำความสะอาดได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพเดิมนั้น ควรจะดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐานการใช้งานตามข้อแนะนำของผู้ผลิต เพื่อให้การใช้งานของเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำน้ำเย็น เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

จากสภาพปัญหาดังกล่าว เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิด ตะกรันและคราบสกปรกภายในท่อของคอนเดนเซอร์ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำและการถ่ายเทความร้อนที่ด้อยประสิทธิภาพ ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตามความหนาของตะกรันและแรงดันภายในระบบสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการทำความเย็นลดต่ำลง จนเมื่อถึงเวลาทำความสะอาด จึงจะสามารถล้างและขจัดตะกรัน ทำให้การใช้พลังงานและสมรรถนะการใช้งานอยู่ในสภาพเดิมได้ อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาที่ใช้งานจนถึงเวลาการให้บริการเครื่องปรับอากาศจะลดสมรรถนะลงตามเวลา ซึ่งสมรรถนะจะต่ำลงมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับสภาพน้ำที่ใช้หล่อเย็น ในหลายกรณีการใช้งานจริงจะไม่สามารถปฏิบัติให้เป็นไปตามค่ามาตรฐานหรือตามที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ได้ ก็จะทำให้สมรรถนะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว และทำให้มีการสิ้นเปลืองไฟฟ้ามากกว่าปกติ ดังรูปที่ 2.5 แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นที่ลดลงตามเวลาและจะเพิ่มขึ้นเมื่อถึงเวลาล้างทำความสะอาด ซึ่งค่าเฉลี่ยจะสูงกว่าค่าที่เริ่มต้นใช้งานเมื่อทำความสะอาดใหม่ๆ



รูปที่ 2.5 แสดงถึงสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

จากสภาพปัญหาดังกล่าวปัจจุบันได้มีการเสนอแนวทางการทำความสะอาดท่อคอนเดนเซอร์อย่างต่อเนื่อง เพื่อผลในการทำให้ท่อระบายความร้อน มีผิวถ่ายเทความร้อนที่อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ โดยใช้เครื่องเติมโอโซนเพื่อเกิดปฏิกิริยาทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียในน้ำได้ ทำให้ตะใคร่น้ำและสิ่งมีชีวิตซึ่งอาศัยแบคทีเรียเป็นอาหารไม่สามารถเจริญเติบโตได้ และทำให้ไม่เกิดตะใคร่จับผิวแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งแนวทางในการดำเนินการดังกล่าวจะกล่าวถึงผลดีและผลเสียจากการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวรวมทั้งค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องซึ่งเพิ่มจากอุปกรณ์ที่ใช้งานตามปกติ

2.5.2 หลักการทำงาน

การลดอุณหภูมิของน้ำจากกระบวนการผลิตให้มีอุณหภูมิต่ำลงนั้น วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันคือการใช้หอผึ่งน้ำ (Cooling tower) ความร้อนจากน้ำจะถูกถ่ายเทไปให้อากาศซึ่งใช้เป็นตัวระบายความร้อน น้ำเหล่านี้เมื่อมีอุณหภูมิต่ำลงแล้วก็จะถูกนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก ในการลดอุณหภูมิของน้ำโดยการใช้หอผึ่งน้ำนี้ น้ำส่วนหนึ่งจะเกิดการระเหยออกไป ซึ่งจะทำให้น้ำที่นำกลับไปใช้ในกระบวนการมีความเข้มข้นของสารที่ละลายอยู่ในน้ำนั้นสูงขึ้น

น้ำที่ถูกหมุนเวียนกลับไปใช้จะเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโต ของพวกสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การที่น้ำยังมีความอุ่นอยู่และการได้รับสารอาหารจากอากาศที่ไหลผ่านหอผึ่งน้ำนี้ จึงทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตเล็กๆ หลายประเภทรวมถึงพวกสาหร่ายด้วย ซึ่งสิ่งมีชีวิต **เหล่านี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้เกิดไบโอฟาวลิ่ง (Biofouling) และการกัดกร่อนซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ (Microbiologically Influenced Corrosion หรือ MIC) ขึ้นได้ ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลง เนื่องจากจะไปขัดขวางการไหลของน้ำ ทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ สั้นลง เพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ปั๊มที่มีกำลังมากขึ้นและยังเป็นแหล่งเชื้อที่ทำให้เกิดโรคต่างๆ ได้**

วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำจากหอผึ่งน้ำนั้นมีสารเคมีที่ใช้อยู่หลายชนิด ทั้งที่เป็น Oxidizing chemical และ non-oxidizing chemical ซึ่งเป็น biocide ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ammonia compound, Isothiazolin, Chlorinated phenolics และ Glutaraldehydes ซึ่งสารเคมีบางตัวยังคงถูกใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่ก็มีหลายตัวที่ถูกห้ามใช้ เนื่องจากมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สาร biocide ที่เป็นตัว oxidizing ที่ยังใช้กันอยู่ในปัจจุบันโดยทั่วไป เช่น คลอรีน, กรดซัลฟูริก, สารประกอบของฟอสฟอรัสและสังกะสี ซึ่งการใช้สารเคมีเหล่านี้จำเป็นต้องมีความระมัดระวังในเรื่องการเก็บรักษา การใช้หรือการปล่อยทิ้งสารเคมีเหล่านี้และต้องแน่ใจว่าสัดส่วนของสารเคมีที่ใช้ต้องมีความเหมาะสมและต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับอัตราการปล่อยทิ้งด้วย (Blowdown)

ปัจจุบันนี้การใช้โอโซนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ได้ถูกใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในยุโรป เอเชียและในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากโอโซนเป็นตัว Oxidizing biocide ซึ่งสามารถออกซิไดส์ (Oxidizes) สารออแกนิกส์ได้ง่าย สามารถใช้ฆ่าแบคทีเรีย ไวรัสทุกชนิดและพวกสาหร่ายต่างๆ ได้ ดังนั้นการใช้โอโซนในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในปัจจุบัน นอกเหนือจากการใช้สารเคมีต่างๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น

2.5.3 การใช้โอโซนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบหอผึ่งน้ำเย็นที่สำคัญและพบได้บ่อย คือ การเจริญเติบโตของพวกสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เช่น พวกแบคทีเรีย ไวรัส การเกิดตะกรันและการเกิดการกัดกร่อน ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาในระบบหอผึ่งน้ำนั้น โดยทั่วไปจะใช้สารเคมี เช่น พวกคลอรีน กรดซัลฟูริก สารประกอบของสังกะสีและฟอสฟอรัส ซึ่งการใช้สารเคมีในการปรับปรุงนั้นในปัจจุบันได้เกิดข้อจำกัดในด้านของสิ่งแวดล้อมขึ้น ดังนั้น การใช้โอโซนในการใช้เป็นสารไบโอไซด์ (Biocide) จึงได้รับการยอมรับมากขึ้นในปัจจุบัน

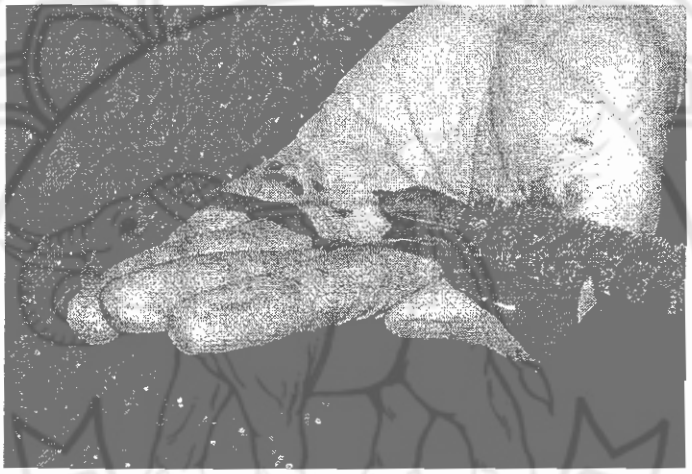
เนื่องจากโอโซนเป็นสารออกซิไดส์ที่แรง จึงสามารถที่จะทำลายพวกสิ่งมีชีวิตเล็กๆ เช่น แบคทีเรีย ไวรัส สาหร่าย ได้เป็นอย่างดี แบคทีเรียที่มีอยู่ภายในน้ำในระบบหอผึ่งน้ำนั้น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด "biofilm" ขึ้น (biofilm คือ กลุ่มของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวที่เปียก ซึ่งมีลักษณะเหนียวหนืด) ซึ่งในการบำบัดน้ำนั้น biofilm เป็นหัวข้อที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการบำบัด เนื่องจาก biofilm เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาที่สำคัญขึ้น ซึ่งได้แก่

2.5.3.1 แร่ธาตุต่างๆ ในน้ำจะจับตัวกับ biofilm และทำให้เกิดบริเวณที่เรียกว่า non-turbulent ซึ่งจะทำให้เกิดตกผลึกขึ้น

2.5.3.2 Biofilm จะเป็นสาเหตุที่สำคัญทำให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งเรียกว่า Microbillogically Infulenced Corrosion หรือ MIC ซึ่งเป็นการกัดกร่อนที่เกิดจากพวกเชื้อจุลินทรีย์

เช่นแบคทีเรีย เนื่องจาก biofilm จะเป็นแหล่งที่พักพิงของพวก anaerobic bacteria ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้จะหลั่งสารที่เป็นกรดหรือเกิดการ metabolize เหล็ก โดยเฉพาะพวก Salfate Reducing Bacteria (SRB) และ Acid Producing Bacteria (APB) ปฏิกิริยาต่างๆ ของแบคทีเรียเหล่านี้จะทำให้เกิดกรด ซึ่งทำให้ pH มีค่าต่ำลง ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่หรือการกัดกร่อนเป็นหลุม (localized or pitting corrosion)

2.5.3.3 Biofilm ถูกคิดว่าเป็นแหล่งที่อยู่ของพวก Legionella Pneumophilla ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่ทำให้เกิดโรค Legionnaires



รูปที่ 2.6 เมือก Bio-Film

แบคทีเรียที่สามารถออกสิไดส์เหล็กและแมงกานีสได้สามารถเร่งให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กเหนียว (Castiron) และการสะสมของสารที่ผนังด้านในของท่อเหล็กเหนียว โดยทั่วๆ ไป ปัญหาของ MIC มักจะพบที่ส่วนที่มีการไหลของน้ำในท่อเหล็กอย่างช้าๆ หรือไม่ไหลเลย ในระบบจัดส่งน้ำซึ่งแบคทีเรียที่สามารถสร้างสารสะสมที่ผนังภายในของท่อได้ มีบทบาทสำคัญในการทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็ก ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ผลโดยตรงก็ตาม แบคทีเรียที่สามารถออกซิไดส์เหล็กได้ ที่พบอยู่บ่อยๆ ได้แก่ แบคทีเรียที่มีรูปร่างเป็นเส้นใยยาว เช่น สายพันธุ์ Sphaerotilus, Crenothrix และ Leptothrix เป็นต้น ซึ่งต่างจากพวกที่เป็นท่อนกลมยาวหรือสายพันธุ์ Gallionella แบททีเรียเหล่านี้ จะออกซิไดส์เฟอร์รัสไอออนทำให้เป็นเฟอร์ริกไอออนหรือแมงกานัสไอออนเป็นแมงกานิกไอออน เพื่อที่จะใช้พลังงานที่ได้ในการเจริญเติบโต

จุลินทรีย์ที่สามารถออกซิไดส์เหล็กได้ จะสร้างสภาวะสำหรับการสะสมคลอไรด์ไอออนและผลิตเหล็กคลอไรด์และแมงกานิกคลอไรด์ที่อยู่ในสภาพกรด และมีคุณสมบัติที่กัดกร่อนต่อ

เหล็กกล้าไร้สนิม อย่างไรก็ตาม กลไกในการกัดกร่อนของแบคทีเรียที่สะสมสารที่มีคุณสมบัติกัดกร่อนบนผนังท่อนี้ ก็คือมีการสร้างเซลล์ที่มีความแตกต่างกันของระดับออกซิเจนขึ้นมานั่นเอง

ส่วนมาก การกัดกร่อนนั้นจะเป็นผลเนื่องจาก การที่มี SRB สะสมอยู่ภายใต้ของสารสะสมที่อยู่ในผนังด้านในของท่อ ก็น่าจะเป็นไปได้ที่แบคทีเรียที่ออกซิไดส์เหล็กหรือแมงกานีสนี้จะสามารถเลือกแบคทีเรียชนิดอื่นที่จะมาช่วยในการสร้างสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของตัวเองได้ นอกจากนี้แบคทีเรียพวก Gallionella ยังมีชีวิตอยู่ได้โดยจะอาศัย SRB หรือแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศอื่นๆ ในการคงรักษาสภาวะที่ชอบอากาศอยู่ในสภาวะแวดล้อมของตัวเองได้ ตามกฎทั่วไปแบคทีเรียที่ออกซิไดส์โลหะนั้นจะต้องใช้ออกซิเจนอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ก็จะช่วยสร้างสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ โดยเฉพาะ SRB ได้เป็นอย่างดี

2.5.4 ข้อดีข้อเสียของการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำ

2.5.4.1 ข้อดี

2.5.4.1.1 **โอโซนสามารถนำไปใช้ได้ในช่วงของ pH ที่กว้างและสามารถทำปฏิกิริยาได้รวดเร็วกับแบคทีเรีย ไวรัส และพวกโปรโตซัว และมีคุณสมบัติเป็นสารฆ่าเชื้อได้แรงกว่าคลอรีน** ประมาณ 3,000 เท่า โอโซนสามารถกำจัดปัญหาของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และปัญหาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตเล็กๆ ได้หลากหลาย นอกจากนี้โอโซนยังสามารถกำจัดกลิ่นและรสได้อีกด้วย

2.5.4.1.2 ไม่ทิ้งสิ่งตกค้างที่เป็นพิษ เช่น Trihalomethane

2.5.4.1.3 เพิ่มการจับตัวเป็นก้อน (Coagulation)

2.5.4.1.4 ช่วยกำจัดเหล็กและแมงกานีส

2.5.4.2 ข้อเสีย

2.5.4.2.1 ค่าใช้จ่ายจะสูงกว่าวิธีการเดิมที่ใช้คลอรีนเป็นสารฆ่าเชื้อ

2.5.4.2.2 ค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือและด้านการดำเนินงานสูง และการหาผู้เชี่ยวชาญในด้านการบำบัดด้วยโอโซนยาก

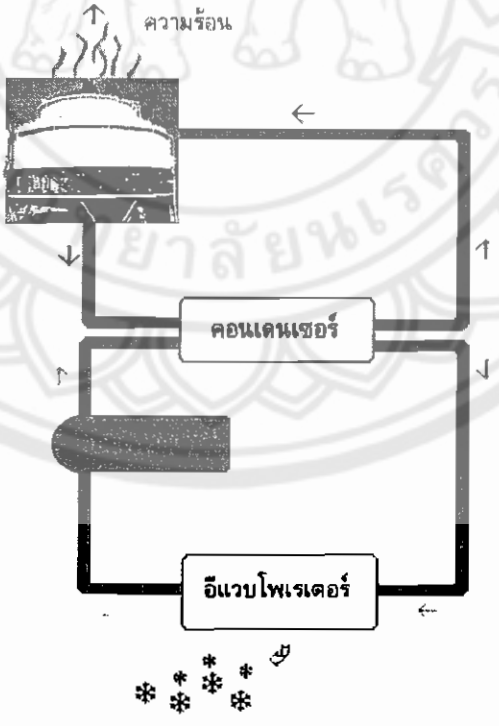
2.5.4.2.3 สารที่หลงเหลือจากการใช้โอโซนจะไม่ได้เป็นสารฆ่าเชื้อ จึงไม่ได้ยับยั้งหรือป้องกันการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่จะเจริญเติบโตขึ้นใหม่ครั้งต่อไป

2.5.4.2.4 เมื่อมีการใช้โอโซน ระบบอาจจะต้องมีการบำบัดเพื่อลดความกระด้างของน้ำ make up ก่อนที่จะนำไปใช้หรืออาจจะต้องมีการเติมสารเคมีบางอย่างลงไป เช่น Polyphosphate เพื่อป้องกันการเกิด Carbonate scale

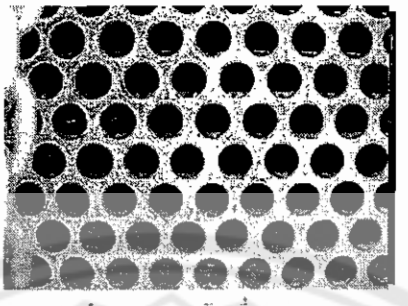
2.5.4.2.5 โอโซนสามารถละลายในน้ำได้น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคลอรีน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคที่พิเศษในการ mixing น้ำกับโอโซน

2.6 ระบบล้างท่ออัตโนมัติ (บอลเทคนิค, Ball Technic)

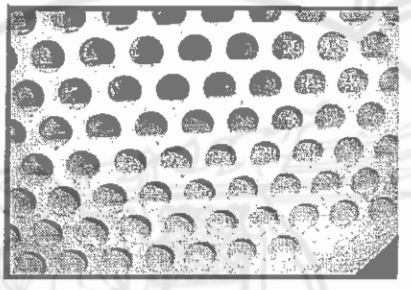
การทำงานที่สมบูรณ์ของคอนเดนเซอร์ สำหรับเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีความสำคัญอย่างมาก การใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป เพราะคุณสมบัติที่ดีของน้ำ คือ หาได้ง่าย ไม่เป็นพิษและราคาถูก แต่น้ำก็เป็นตัวทำละลายที่ดีและปนเปื้อนได้ง่าย เกิดปัญหาตามมา คือ ความสกปรกอันเนื่องมาจาก สารแขวนลอยและสารละลายในน้ำทั้งหลาย รวมทั้งเชื้อรา, แบคทีเรีย ฯลฯ ซึ่งจะไปเกาะที่ผิวภายในท่อระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ ทำตัวเป็นฉนวนสกัดกั้นการระบายความร้อนและขัดขวางการไหลของน้ำหล่อเย็น ทำให้ปั๊มน้ำต้องทำงานหนักขึ้นและเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างเห็นได้ชัดเจนและเมื่อมีความร้อนซึ่งเกิดจากการระบายความร้อนออกของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน ความร้อนเหล่านี้จะทำให้น้ำที่ไหลผ่านท่อระบายความร้อนเกิด “ตะกรัน” ซึ่งจะไปเกาะและอุดอยู่ภายในท่อระบายความร้อนที่น้ำไหลผ่าน ส่งผลถึงการทำงานของระบบเครื่องทำความเย็นและ/หรือระบบระบายความร้อนทั้งระบบ ทำให้เสียค่าไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นและการที่มีตะกรันสะสมตัวหนาขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขั้นอุดตันและปิดกั้นทางเดินของน้ำ ทำให้ต้องมีการหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดระบบระบายความร้อน ซึ่งจะมีผลกระทบอย่างมากต่ออุตสาหกรรมและอาคารที่ต้องใช้เครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 2.7 Cooling เป็นระบบเปิด



ก.ท่อระบายความร้อนที่สะอาด



ข.ท่อระบายความร้อนที่มีตะกรันจับหนา

รูปที่ 2.8 แสดงท่อระบายความร้อนที่สะอาดและท่อระบายความร้อน
ที่มีตะกรันจับตัวหนา

จากการทดลองพบว่าความหนาของตะกรันขนาด 0.3 mm. จะทำให้การระบายความร้อนลดลงไป 21% ซึ่งหมายความว่า หากตะกรันหนาเพียง 1.0 mm. จะทำให้การระบายความร้อนลดลงไปถึง 49%

การระบายความร้อนที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง อันมีสาเหตุมาจากระบบระบายความร้อนสกปรก ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นหรือระบบระบายความร้อนลดลงอย่างรวดเร็ว

ป
ทส
ว687
ก2
ส341ก
2548
i. 38694162
25
สำนักหอสมุด
17 มี.ค. 2551

EFFECT OF SCALE ON HEAT TRANSFER

$CaCO_3$ Scale Thickness (mm)	Heat Transfer Coefficient ($BTU/ft^2/°F$)	Percent Loss of Heat Transfer
0	92.77	0
0.3	73.68	21%
0.6	61.12	34%
0.9	52.20	44%
1.2	45.60	56%
1.6	39.52	57%

Source : Phillip Kotz
"Clean System Approach to Air Conditioning"
Heating Piping Air Conditioning Apr 1986

รูปที่ 2.9 แสดงตารางการระบายความร้อนที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง
อันมีสาเหตุมาจากตะกรันที่หนาขึ้น

2.6.1 การแก้ปัญหา

2.6.1.1 การแก้ปัญหาแบบดั้งเดิม

2.6.1.1.1 ใช้สารเคมี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกรันและมวลชีวภาพ :

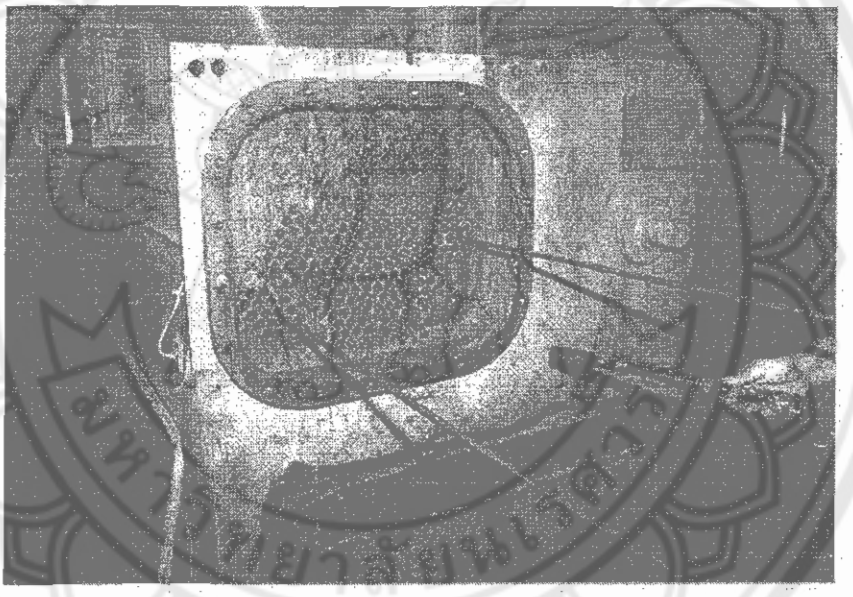
วิธีนี้ใช้กันมานานแล้ว เพราะง่ายและสะดวก การลงทุนเบื้องต้นต่ำ แต่ผลที่ได้รับไม่แน่นอน ค่าใช้จ่ายสูง สิ้นเปลืองมาก มีอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่อยู่ใกล้เคียง ต้องมีสถานที่เก็บสารเคมีและก่อให้เกิดปัญหาอย่างมาก กับสิ่งแวดล้อมและก็ต้องใช้วิธีการทำความสะอาดท่ออย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีนี้ใช้ไม่ได้ผล

2.6.1.1.2 ใช้วิธีล้างทำความสะอาดเป็นระยะ (Manual Clean) :

วิธีนี้จะกระทำปีละ 1 ครั้ง หรือหลายครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งจะต้องหยุดเครื่องทำความเย็นทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง ในการทำความสะอาดแต่ละครั้งต้องใช้สารเคมีที่มีความเป็นกรดสูงและใช้ปริมาณมาก ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมและบั่นทอนอายุของท่อระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น

การขัดล้างท่อระบายความร้อนทุกๆ ท่อ เสียเวลาและกำลังงานมากและยังสร้างความบอบช้ำอย่างมากต่อท่อระบายความร้อน บ่อยครั้งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ท่อระบายความร้อนทะลุ เกิดความเสียหายอย่างมากเพราะต้องหยุดเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อซ่อมแซมเป็นเวลานาน

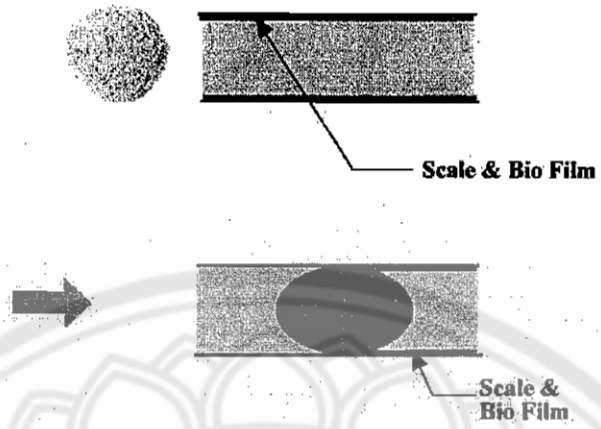
การล้างเพียง 2-3 ครั้งต่อปี บรรเทาปัญหาได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะหลังจากเริ่มใช้งานต่ออีกเพียง 2-3 วัน ตะกอน, ตะกรันและสิ่งสกปรกเหล่านี้ ก็จะกลับมาเกิดและสะสมปัญหาเหมือนเดิมและการที่ต้องหยุดผลิตเพื่อทำความสะอาดก็ก่อให้เกิดผลเสียหายกับธุรกิจอย่างเห็นได้ชัดเจน นอกจากนั้นการล้างคราบหนาของตะกอน, ตะกรันและสิ่งสกปรกเหล่านี้ ต้องใช้ความรุนแรงและเคมีภัณฑ์ เป็นสาเหตุให้อายุของท่อระบายความร้อนสั้นลงไปด้วยอย่างรวดเร็วและยังก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.10 แสดงการแก้ปัญหาแบบดั้งเดิม

2.6.1.2 การแก้ปัญหาแบบใหม่

การแก้ปัญหาที่ดีวิธีหนึ่ง คือ การล้างทำความสะอาดท่ออย่างสม่ำเสมออย่างอัตโนมัติ (Automatic Condenser Tube Cleaning System) การทำงานของระบบนี้เป็นระบบอัตโนมัติที่สมบูรณ์ โดยการใช้ลูกบอลฟองน้ำที่มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดและไม่เป็นอันตรายต่อท่อระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น มาหมุนเวียนทำความสะอาดท่อของระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ท่อของระบบระบายความร้อนปราศจากความสกปรก, ตะกอนและตะกรัน ส่งผลให้เครื่องทำน้ำเย็นมีประสิทธิภาพเต็มที่อย่างสม่ำเสมอ



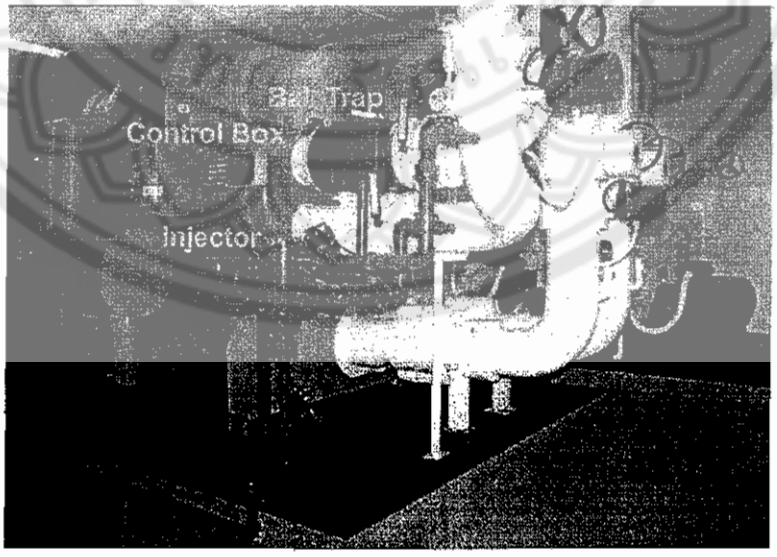
รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานของบอลเทคนิค

นอกจากจะแก้ไขปัญหาเรื่องท่อระบายความร้อนสกปรกและการเกิดตะกรันของ Condenser ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อมอีกด้วย

2.6.2 คุณลักษณะเฉพาะของระบบล้างท่ออัตโนมัติแบบ Ball Technic

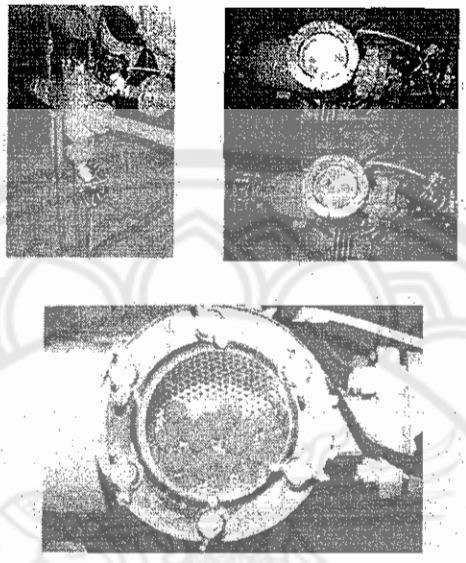
คุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์บำรุงรักษาระบบระบายความร้อน ประกอบด้วย

2.6.2.1 ลูกบอลทำจากฟองน้ำ (Sponge Ball) หรือวัสดุยืดหยุ่น (Elastomeric Rubber Ball) ที่ไม่เป็นอันตรายต่อท่อและสามารถทนการเสียดสี ทนต่ออุณหภูมิและการกัดกร่อนได้ดี



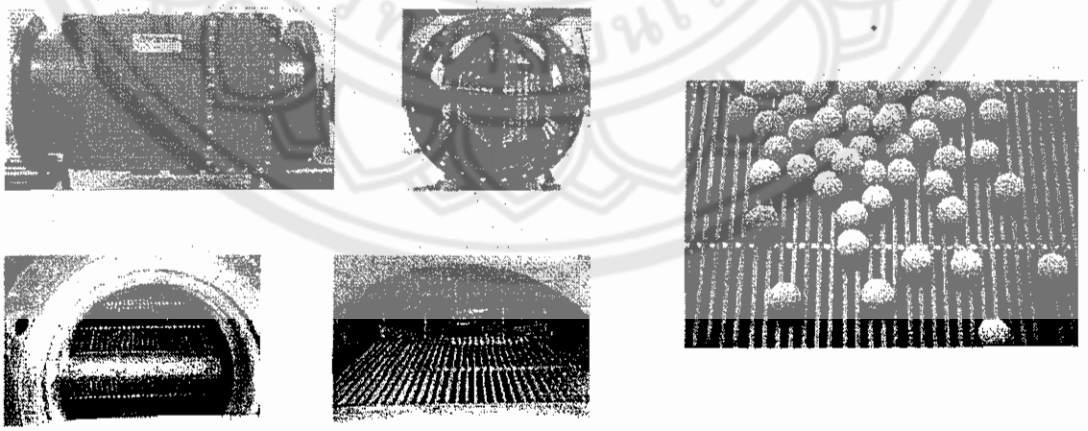
รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบของระบบกำจัดตะกรัน "Ball Technic"

2.6.2.2 ชุดส่งลูกบอล (Ball Injector) ใช้เป็นที่พักลูกบอล, ที่ล้างลูกบอลและกำจัดความสกปรกออกนอกระบบ



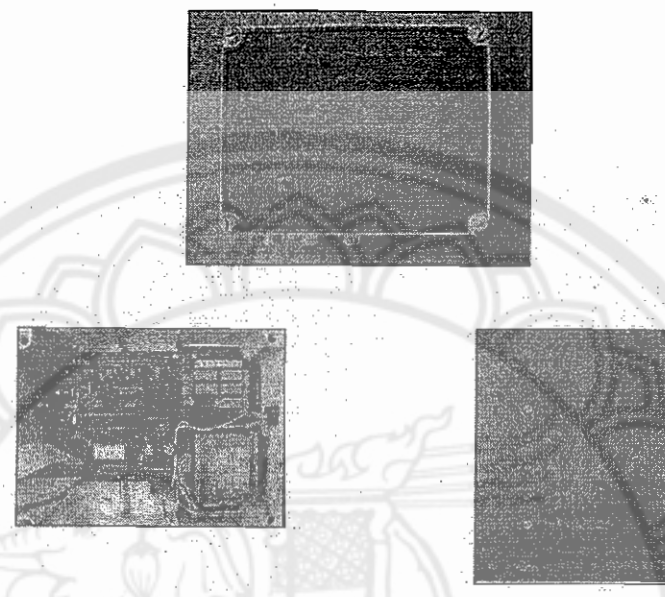
รูปที่ 2.13 แสดง Injector

2.6.2.3 ชุดดักเก็บลูกบอล (Ball Trap) ประกอบด้วยตะแกรงหรือหวีดักลูกบอล (Comb or Ball Strainer) ซึ่งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) พลาสติกหรือวัสดุอื่นที่สามารถทนอุณหภูมิและทนการกัดกร่อนได้ดีและไม่ทำให้เกิดการสูญเสียความดัน (Pressure Drop) ที่มีผลต่อการทำงานของระบบ



รูปที่ 2.14 แสดง Ball Trap

2.6.2.4 ระบบควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (PLC, Program Logic Controller)



รูปที่ 2.15 แสดง PLC. (Program Logic Control)

2.6.3 ข้อดีของเครื่องล้างท่ออัตโนมัติ

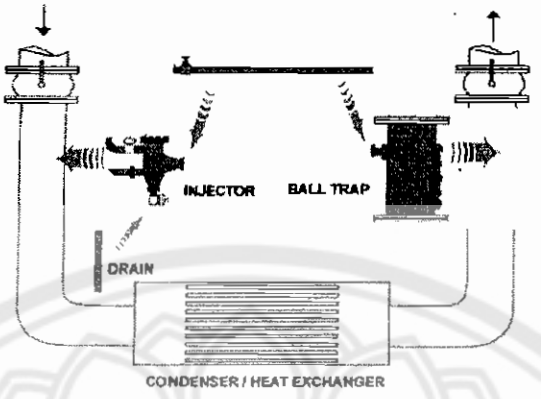
เครื่องล้างท่ออัตโนมัติ มีข้อดี คือ ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว โดยอุปกรณ์ต่างๆ สามารถติดตั้งเข้าไปในระบบได้ดังนี้

2.6.3.1 "ชุดส่งลูกบอล" (Injector) จะถูกติดตั้งกับท่อนำน้ำเข้าระบบระบายความร้อน (Condenser)

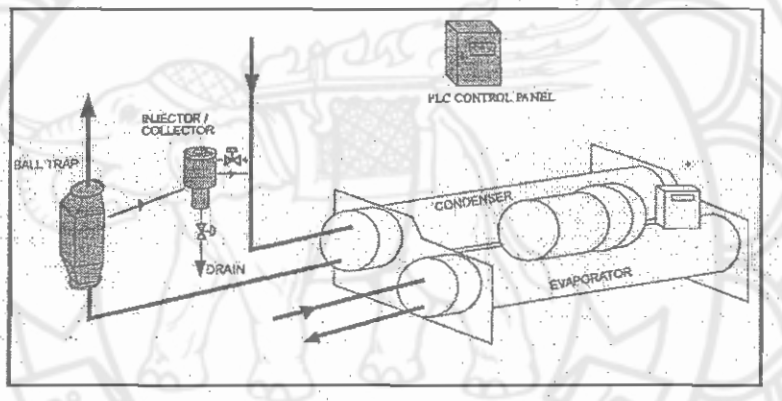
2.6.3.2 "ชุดดักเก็บลูกบอล" (Ball-Trap) จะถูกติดตั้งอยู่ที่ท่อน้ำขาออกจาก Condenser

2.6.3.3 ต่อท่อจาก "ชุดดักเก็บลูกบอล" ไปยัง "ชุดส่งลูกบอล" เพื่อนำ "ลูกบอล" กลับมาหมุนเวียนใช้ทำความสะอาด

2.6.3.4 ต่อท่อปล่อยน้ำเสียและความสกปรกที่เกิดจากการล้างลูกบอลทิ้ง (Drain)



รูปที่ 2.16 แสดงระบบของเครื่องล้างท่ออัตโนมัติ



รูปที่ 2.17 แผนผังสำหรับการติดตั้งระบบกำจัดตะกรัน "บอลเทคนิค"

2.6.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

2.6.4.1 ประหยัดพลังงาน ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นดีอย่างสม่ำเสมอ มีผลทำให้การใช้พลังงานคุ้มค่าที่สุด

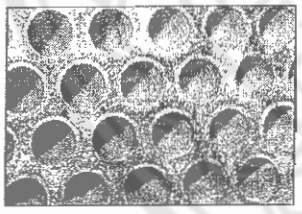
2.6.4.2 ประหยัดค่าบำบัดน้ำ เมื่อตะกอนและตะกรันไม่สามารถจับที่ท่อได้ จึงไม่จำเป็นต้องใช้เคมีภัณฑ์เพื่อบำบัดน้ำในกรณีนี้ จะมีใช้เฉพาะในส่วนของ Cooling Tower เท่านั้น

2.6.4.3 ปกป้องท่อจากการถูกกัดกร่อน มวลชีวภาพตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนของท่อและระบบระบายความร้อน จะถูกกำจัดอยู่ตลอดเวลา จนไม่มีโอกาสทำความเสียหายให้กับท่อและระบบระบายความร้อนได้เลย

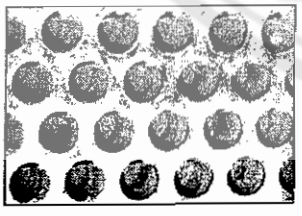
2.6.4.4 ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ เนื่องจากระบบนี้ไม่ต้องใช้เคมีภัณฑ์ใดๆ จึงมั่นใจได้ว่าไม่สร้างปัญหาให้กับสิ่งแวดล้อม

2.6.4.5 ไม่เสียเวลาหยุดเครื่องทำน้ำเย็น ระบบนี้จะทำความสะอาดท่อและระบบระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นตลอดเวลา ขณะที่เครื่องทำน้ำเย็นทำงานอยู่ จึงไม่ต้องหยุดเครื่องทำน้ำเย็นเลย

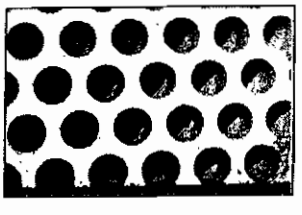
2.6.4.6 ค่าใช้จ่ายและการบำรุงรักษาต่ำ ระบบนี้มีส่วนที่เป็น Moving Part อยู่ที่วาล์วไฟฟ้า 2 ชิ้น คือ Injection Valve และ Drain Valve จึงไม่ต้องเสียค่าดูแลรักษาเครื่อง จะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับลูกบอลฟองน้ำและค่าใช้จ่ายไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (ไม่มีมอเตอร์ที่กินไฟฟ้า)



90 วัน หลังจากการติดตั้งบอลเทคนิค
ไม่มีการจับตัวของตะกรันในท่อระบายความร้อน



180 วัน หลังจากการติดตั้ง
ไม่มีการจับตัวของตะกรันในท่อระบายความร้อน สังเกตตะกรันสีขาวที่ผนังยึดท่อระบายความร้อน



360 วัน หลังจากการติดตั้ง
ไม่มีการจับตัวของตะกรันในท่อระบายความร้อน สังเกตตะกรันสีขาวหนาที่ผนังยึดท่อระบายความร้อน

รูปที่ 2.18 แสดงผลจากการใช้ระบบกำจัดตะกรัน "บอลเทคนิค"

2.7 วิธีวิเคราะห์การเงิน

วิธีการวิเคราะห์การเงิน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยที่กลุ่มที่ 1 กำหนดให้ค่าของเงินคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการเวลา กลุ่มที่ 2 ค่าของเงินเปลี่ยนแปลงตามเวลาและในแต่ละกลุ่มยังแบ่งออกเป็นหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกัน ค่าของเงินคงที่ (1) ระยะเวลาคืนทุน (2) ผลตอบแทนการลงทุน ค่าของเงินเปลี่ยนแปลงตามเวลา (3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (4) อัตราผลตอบแทนภายใน

2.7.1 ระยะเวลาคืนทุน (Pay back)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะที่โครงการใช้ในการจ่ายคืนเมื่อเริ่มต้นโครงการ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ ดังนี้

$$Pb = \frac{I_O}{A} \qquad (2.15)$$

โดยที่

Pb	คือ	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
I_o	คือ	เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)
A	คือ	ค่าประหยัดทางพลังงานต่อปี

ระยะเวลาคืนทุนสำหรับโครงการประหยัดพลังงานที่ยอมรับได้โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 5 ปี อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับขนาดของโครงการ ถ้าโครงการมีขนาดใหญ่ เงินลงทุนสูง อายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี ระยะเวลาคืนทุนที่ยอมรับได้อาจจะมากกว่า 5 ปี

2.7.1.1 ข้อดีของระยะเวลาคืนทุน

2.7.1.1.1 การวิเคราะห์ทำได้ง่าย

2.7.1.1.2 การวิเคราะห์เบื้องต้นทำได้อย่างรวดเร็ว

2.7.1.1.3 แสดงผลเข้าใจง่าย (จำนวนปีและจำนวนเดือนที่จะคุ้มทุน)

2.7.1.2 ข้อจำกัดของระยะเวลาคืนทุน

2.7.1.2.1 ไม่คำนึงถึงผลประหยัดที่ได้หลังจากที่คืนทุนแล้ว

2.7.1.2.2 ไม่คำนึงถึงมูลค่าของโครงการซึ่งอาจจะมีค่าเหลืออยู่เมื่อสิ้นสุดโครงการ

2.7.1.2.3 ไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.7.2 ผลตอบแทนการลงทุน (ROI)

ผลตอบแทนการลงทุน (ROI) คือ ร้อยละของผลประหยัดสุทธิที่ได้รับตลอดอายุการใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับเงินลงทุน คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$ROI = \left[\frac{Y - I_O}{I_O}\right] \times 100\% \qquad (2.16)$$

โดยที่

ROI คือ ผลตอบแทนการลงทุน

Y คือ ผลประหยัดตลอดอายุการใช้งาน

I_0 คือ เงินลงทุน

วิธีนี้ลดข้อจำกัดจากการวิเคราะห์โดยใช้ระยะเวลาคืนทุน กล่าวคือ ผลตอบแทนการลงทุนจะคำนึงถึงผลประหยัดที่ได้หลังจากที่คืนทุนแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ยิ่งมากยิ่งดี

2.7.2.1 ข้อดีของผลตอบแทนการลงทุน

2.7.2.1.1 การวิเคราะห์ทำได้ง่าย

2.7.2.1.2 การวิเคราะห์เบื้องต้นทำได้อย่างรวดเร็ว

2.7.2.1.3 คำนึงถึงผลประโยชน์ของโครงการตลอดอายุการใช้งาน

2.7.2.2 ข้อจำกัดของผลตอบแทนการลงทุน

2.7.2.2.1 ไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.7.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV-Net Present Value) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประหยัดที่จะได้รับแต่ละปีตลอดอายุการใช้งานของโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในแต่ละปี

ส่วนในกรณีที่ค่าใช้จ่ายต่อปีเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ (Gradient: G) เช่น ค่าไฟฟ้าเป็นเวลา n ปี สามารถแปลงให้เป็นค่าใช้จ่ายต่อปีคงที่ (Annuity: A) ดังนี้

$$A = (G) \times \left[\frac{1}{i} - \frac{n}{(1+i)^n - 1}\right] \qquad (2.17)$$

โดยที่

G	คือ	ค่าใช้จ่ายต่อปีเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่
A	คือ	ค่าใช้จ่ายต่อปีคงที่ (ค่าประหยัดทางพลังงานต่อปี)
I	คือ	อัตราดอกเบี้ยต่อปี (Interest Rate)
n	คือ	จำนวนปี (Number of Year)

จากสมการที่ 2.17 สามารถแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV-Net Present Value) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$NPV = -I_o + (A) \times \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \qquad (2.18)$$

โดยที่

NPV	คือ	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
I_0	คือ	เงินลงทุนเริ่มต้น (บาท)

โครงการประหยัดพลังงานที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบ (ต่ำกว่าศูนย์) จะไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ในขณะที่โครงการที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นบวกยิ่งมาก ยิ่งคุ้มค่าต่อการลงทุน

2.7.3.1 ข้อดีของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

2.7.3.1.1 คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.7.3.1.2 คำนึงถึงผลประหยัดของโครงการตลอดอายุการใช้งาน

2.7.3.2 ข้อจำกัดของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

2.7.3.2.1 การวิเคราะห์มีความซับซ้อน

2.7.3.2.2 ต้องกำหนดอัตราลดค่า

2.7.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน คือ อัตราลดค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับศูนย์

2.7.4.1 ประเภทของอัตราผลตอบแทนภายใน

2.7.4.1.1 **อัตราผลตอบแทนภายในทางเศรษฐศาสตร์** (Economic Internal Rate of Return: EIRR)

เป็นผลตอบแทนที่แท้จริงของเศรษฐกิจของประเทศโดยรวม คำนึงถึงต้นทุนและผลได้ของทุกคนในระบบเศรษฐกิจ มูลค่าของเงินลงทุนและอัตราค่าพลังงาน จะคำนวณจากมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งราคาตลอดไม่ว่ารวมภาษีมูลค่าเพิ่ม หักด้วยภาษีนำเข้าและไม่คิดอัตราดอกเบี้ยและอัตราเงินเฟ้อ ทั้งนี้เนื่องจากภาษีและอัตราดอกเบี้ยเป็นเพียงเงิน

2.7.4.1.2 อัตราผลตอบแทนภายใน (Financial internal Rate of Return: FIRR)

เป็นผลตอบแทนต่อผู้ลงทุนโครงการโดยตรงโดยมูลค่าของเงินลงทุน อัตราค่าพลังงานจะคิดมูลค่าที่ผู้ลงทุนจ่ายจริงและจะคำนึงถึงอัตราดอกเบี้ย ภาษีต่างๆ ที่จ่ายออกไปทั้งหมด

ในที่นี้ IRR จะหมายถึง FIRR เนื่องจากเป็นผลตอบแทนจากผู้ลงทุนโดยตรง ส่วนการวิเคราะห์ EIRR นั้นใช้หลักการเดียวกันเพียงแต่ต้องใช้มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ใช้สำหรับตัดสินใจเลือกโครงการที่คุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด ในขณะที่อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) บอกให้ทราบผลตอบแทนที่ได้จากการลงทุน สามารถแสดงได้ตามสมการดังต่อไปนี้

IRR คือ i ที่ทำให้อัตรา NPV = 0 (2.19)

โดยที่

IRR คือ อัตราผลตอบแทนภายใน

NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

โครงการนี้มีค่า IRR มากกว่าค่า i ที่กำหนดจะคุ้มค่าต่อการลงทุน ส่วนต่างก็คือกำไรจากการลงทุนโครงการ

2.7.4.2 ข้อดีของอัตราผลตอบแทนภายใน

2.5.4.2.1 เช่นเดียวกับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

2.5.4.2.2 แสดงผลเข้าใจง่าย

2.7.4.3 ข้อเสียของอัตราผลตอบแทนภายใน

2.7.4.3.1 ค่อนข้างเสียเวลาในการคำนวณต้องใช้วิธีลองผิดลองถูกหลายครั้ง

2.8 ประโยชน์ของการเข้าใจพื้นฐานในการวิเคราะห์การเงิน

สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.8.1 ทำให้มีความเข้าใจตรงกันกับเจ้าของอาคารหรือโรงงาน

2.8.2 ช่วยเป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อเสนอโครงการให้เหมาะสมต่อความต้องการของเจ้าของมากที่สุด เช่น ระยะเวลาคืนทุนสูงสุด หรือ IRR ขั้นต่ำที่ยอมรับได้

2.8.3 ลดความเสี่ยงในการลงทุน เนื่องจากผลการวิเคราะห์การเงินใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจลงทุน

สามารถแสดงข้อดี ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะของวิธีการวิเคราะห์การเงินแบบต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อดี ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของวิธีการวิเคราะห์การเงินแบบต่างๆ

วิธีวิเคราะห์	ข้อดี	ข้อจำกัด	ข้อเสนอแนะ
เวลาคืนทุน	1. การวิเคราะห์ทำได้ง่าย 2. แสดงผลเข้าใจง่าย	1. ไม่คำนึงถึงผลประหยัดที่ได้จากที่คืนทุนแล้ว 2. ไม่คำนึงถึงมูลค่าโครงการเมื่อสิ้นสุดโครงการ 3. ไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนตามเวลา	1. ใช้วิเคราะห์เบื้องต้น 2. โครงการขนาดเล็กและอายุโครงการไม่เกิน 5 ปี
ผลตอบแทนการลงทุน	1. การวิเคราะห์ทำได้ง่าย 2. คำนึงถึงผลประหยัดของโครงการตลอดอายุการใช้งาน	1. ไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนตามเวลา	2. ใช้ควบคู่กับระยะเวลาคืนทุน 3. โครงการขนาดเล็กอายุโครงการไม่เกิน 5 ปี
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	1. คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา 2. คำนึงถึงผลประหยัดของโครงการตลอดอายุการใช้งาน 3. วิเคราะห์รายได้และค่าใช้จ่ายที่แท้จริงของโครงการ	1. ซับซ้อน 2. ต้องกำหนดอัตราลดค่า	1. เหมาะสมกับโครงการทุกประเภท
อัตราผลตอบแทนภายใน	1. เช่นเดียวกับมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 2. แสดงผลเข้าใจง่าย	1. การคำนวณต้องลองผิดลองถูกหลายครั้ง	1. เหมาะสมกับโครงการทุกประเภท 2. ต้องการเปรียบเทียบหลายๆ โครงการหรือเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ย