

ดร.ศุภชัย ปัญญาวิรัตน์

บริษัท เอ็นเนอร์ยี่ คอนเซอร์เวชั่น เทคโนโลยี จำกัด

การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

เมื่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านคอนเดนเซอร์สะอาดตลอดเวลา

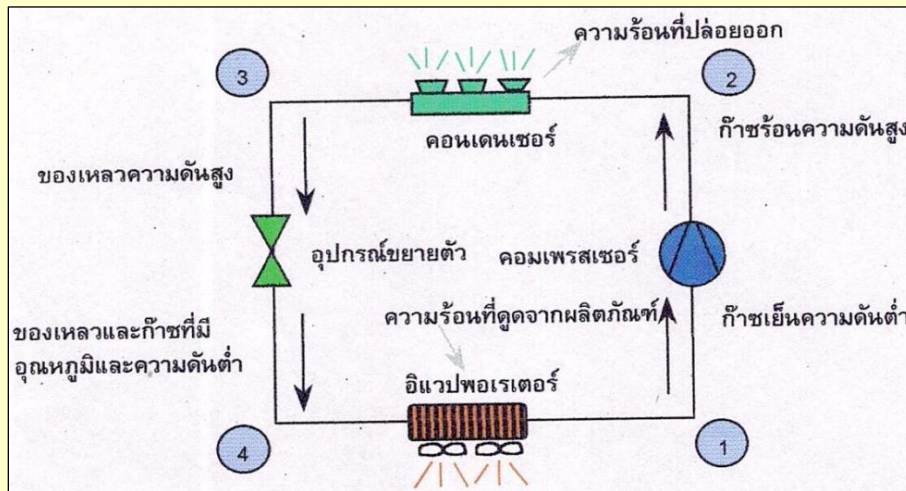
ประเทศไทยมีอาคารและโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีศักยภาพที่จะประหยัดพลังงานได้มากกว่า 10% เมื่อสามารถทำให้พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านคอนเดนเซอร์สะอาดอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากเมื่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านคอนเดนเซอร์สกปรก โดยมีตะกอนเกาะผิวท่อมากจะส่งผลให้สมรรถนะในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำระบายความร้อนและสารทำความเย็นลดต่ำลง ซึ่งจะส่งผลให้ความดันของสารทำความเย็นด้านสูง (High Pressure) สูงขึ้น เมื่อความดันด้านสูงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเย็นที่ได้จากเครื่องปรับอากาศหรือเครื่องทำความเย็นลดต่ำลง อีกทั้งพลังไฟฟ้าที่ใช้ที่เครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor) เพิ่มมากขึ้น นั่นคือ สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP ; COEFFICIENT OF PERFORMANCE) ลดต่ำลง ค่าดัชนีการใช้ไฟฟ้า (kW / TR) จะสูงขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตความเย็นของระบบสูงขึ้น

ในโครงการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำเย็นที่ทำความสะอาดพื้นผิวตลอดเวลา ซึ่งอาจจะใช้ระบบกลไกอัตโนมัติ เช่น ระบบแปลง ระบบลูกบอล หรือใช้ระบบปฏิบัติการเคมี เช่น ระบบโอโซน ซึ่งจะส่งผลให้พื้นผิวสะอาดตลอดเวลาโดยไม่มีตะกอนจับผิวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้คนทำความสะอาดโดยการชักแช่เป็นช่วงเวลา ทุกๆ 3 ถึง 6 เดือน อีกทั้งทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงานในกรณีต่างๆ เพื่อหาวิธีการคำนวณที่เหมาะสม และ ถูกต้องที่สุด

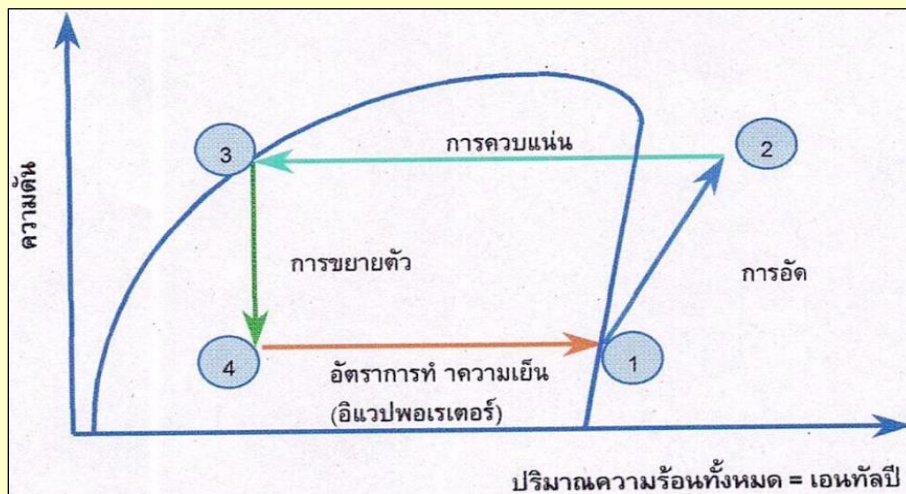
1. หลักการทำงานของระบบทำความเย็นระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

สารทำความเย็นออกจากเครื่องระเหยที่จุด (1) โดยอยู่ในสถานะไออิ่มตัว (saturated vapor) มีความดันต่ำ และอุณหภูมิต่ำ จากนั้นสารทำความเย็นจะถูกอัดโดยเครื่องอัดจนมีสถานะที่จุด (2) เป็นไอร้อนยิ่งยวด (Superheated Vapor) มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในเครื่องควบแน่น เพื่อถ่ายเทความร้อนออก ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัวที่มีความดัน สูง จากนั้นของเหลวอิ่มตัวความดันสูงจะเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ขยายตัว (อุปกรณ์ลดความดัน) มายังจุด (4) สารทำความเย็นจะมี 2 สถานะ คือ ของเหลวและก๊าซที่มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ หลังจากนั้นจะผ่านเข้าไปในเครื่องระเหย (evaporator) ทำให้สารทำความเย็นรับความร้อนและ กลายสภาพเป็นไออิ่มตัวที่จุด (1) วงจรการทำงานจะเป็นเช่นนี้ซ้ำๆ ไป





รูปที่ 1 วัฏจักรการทำความเย็นโดยการอัดไอ



รูปที่ 2 แผนภาพความดัน-เอนทัลปี



2. ความสามารถของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องจะมีความสามารถในการทำงานแตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อน ทั้งส่วนรับความร้อนและส่วนระบายความร้อน รวมทั้งส่วนอัดไอ โดยทั่วไปดัชนีที่บ่งบอกความสามารถของเครื่องปรับอากาศแบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้

2.1 สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP = coefficient of performance) จะบอกถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องปรับอากาศนั้นๆ ถ้าค่า COP ยิ่งสูง สมรรถนะของเครื่องยิ่งดีเท่านั้น ค่า COP สามารถหาได้ 3 วิธี ดังนี้

2.1.1 หาค่าจากการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่อง

$$\text{COP} = \frac{\text{พลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็นได้ (อัตราการทำความเย็น kW}_{\text{th}})}{\text{พลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ (kW)}}$$

2.1.2 หาค่าจากชาร์ท P-h diagram (คุณสมบัติของน้ำยานั้นๆ)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{\text{ความร้อนที่ต้องการนำออกจากส่วนปรับอากาศ [อัตราการทำความเย็น (กระบวน 4 \rightarrow 1)]}}{\text{พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ (กระบวน 1 \rightarrow 2)}} \\ &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_3} \end{aligned}$$

2.1.3 กรณีไม่สามารถหา CoP ได้ทั้ง 2 วิธีตามที่กล่าวสามารถหาค่าได้โดยประมาณตามทฤษฎีดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นในอุดมคติ} = \frac{T_c}{(T_c - T_e)}$$

เมื่อ T_e = อุณหภูมิระเหย (K) (นำความดันน้ำยาด้านต่ำไปหาค่าในตารางน้ำยานั้นๆ)
 T_c = อุณหภูมิควบแน่น (K) (นำความดันน้ำยาด้านสูงไปหาค่าในตารางน้ำยานั้นๆ)
 โดย K = อุณหภูมิในหน่วย เคลวิน ($273 + C$)

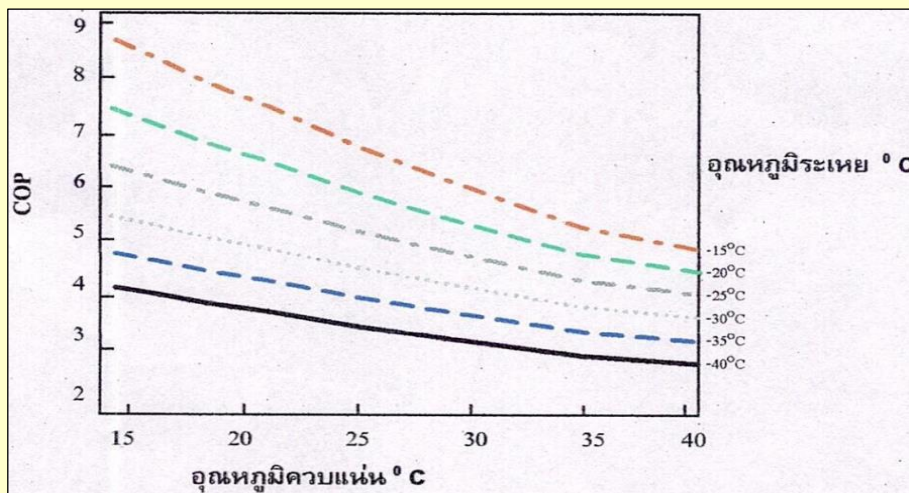


ตัวอย่าง เพิ่มอุณหภูมิ T_c เท่ากับ 35°C และ T_e เท่ากับ -40°C ถ้าสามารถลด T_c เหลือ 25°C และเพิ่ม T_e เป็น -30°C ค่า COP อุดมคติจะเป็นเท่าใด

- | | | |
|---|-------|-----------------------|
| 1. สมรรถนะเดิม | COP = | $233/(308-233) = 3.1$ |
| 2. ลด T_c จาก 35°C เป็น 25°C | COP = | $233/(298-233) = 3.6$ |
| 3. เพิ่ม T_e จาก -40°C เป็น -30°C | COP = | $243/(308-243) = 3.7$ |

จะเห็นว่ากรณี 2 และ 3 จะส่งผลให้ COP ของระบบสูงขึ้น

เมื่ออุณหภูมิความดันสูงขึ้น ค่า COP จะลดลง หรืออุณหภูมิระเหยสูงขึ้น ค่า COP จะสูงขึ้น



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลง COP เมื่ออุณหภูมิระเหย และ / หรืออุณหภูมิความดันเปลี่ยนแปลงไป

2.2 สัดส่วนการใช้พลังงาน (EER = Energy Efficiency Ratio) โดย ค่า EER ยิ่งสูง

เครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นจะมีสมรรถนะสูง

$$\text{EER} = \frac{\text{พลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็นได้ (Btu h)}}{\text{พลังไฟฟ้าที่ใช้ (W)}}$$

2.3 ค่าส่วนกลับของสมรรถนะ = (kW/TR) เครื่องปรับอากาศเครื่องใดมีค่าต่ำเป็นเครื่องที่มีสมรรถนะสูง



$$\text{kW/TR} = \frac{\text{พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)}}{\text{ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (TR)}}$$

ข้อควรระวัง ค่าสมรรถนะ และค่าส่วนกลับของสมรรถนะ (kW/TR) ขึ้นอยู่กับภาระในการทำงานของเครื่องและขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอัดสารทำความเย็น

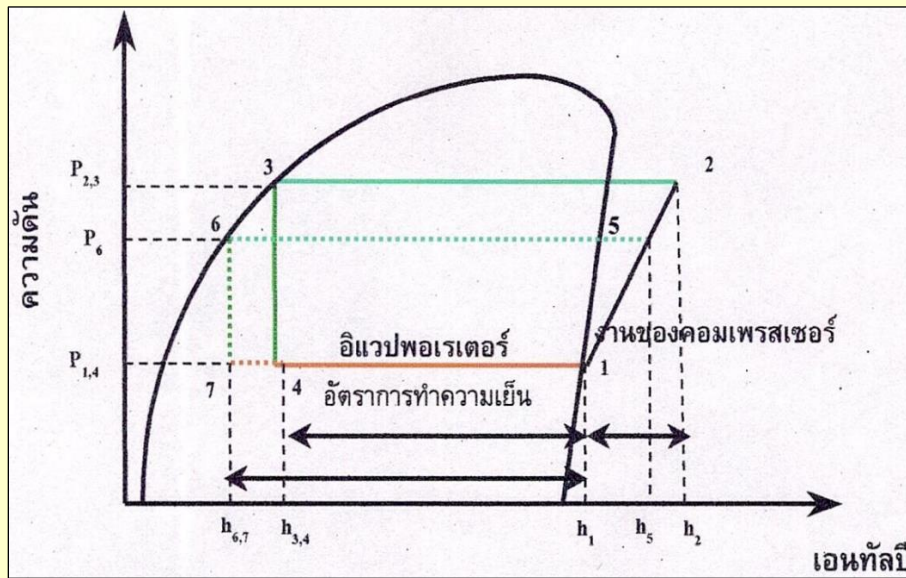
3. การเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นหรือเครื่องทำน้ำเย็น โดยการลดความดันควบแน่นของสารทำความเย็น

การควบแน่นของสารทำความเย็นเกิดขึ้นในกระบวนการ 2→3 ในส่วนของคอนเดนเซอร์ ถ้าสามารถลดความดันควบแน่นลงมาเป็นกระบวนการ 5→6 จะทำให้งานของคอมเพรสเซอร์ลดลงจากกระบวนการ 1→2 เป็น 1→5 และอัตราการทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นจากกระบวนการ 4→1 เป็น 7→1 ส่งผลให้ค่า COP ของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น

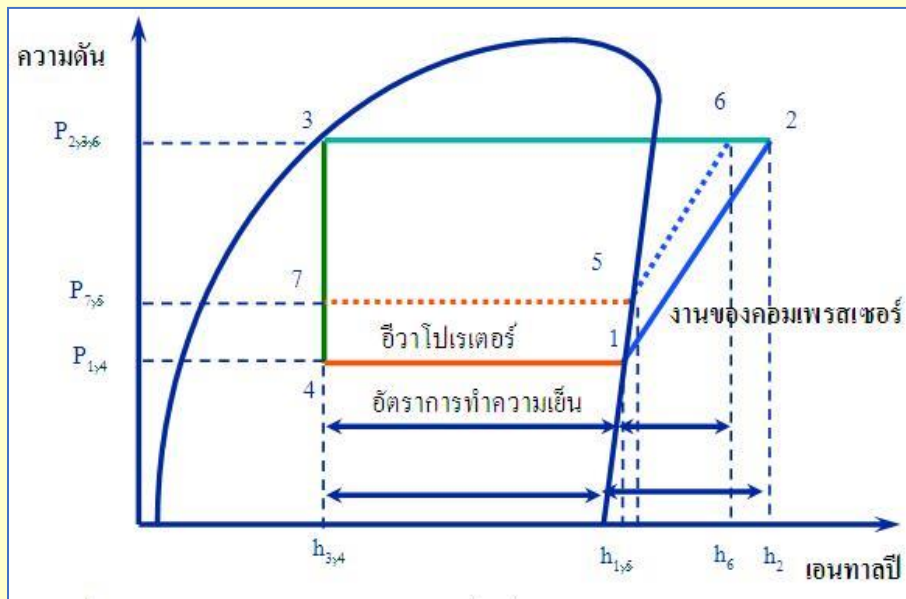
การลดความดันควบแน่นลงทำได้โดยการลดอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์ลงให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยการใช้และการบำรุงรักษาที่ถูกรวิธี โดยวิธีการดังต่อไปนี้

- 3.1 ทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์อย่างสม่ำเสมอ
- 3.2 เดินหอผึ่งน้ำและปั๊มน้ำเพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด แล้วตรวจสอบอุณหภูมิน้ำว่าลดลงมากน้อยเพียงใดและเหมาะสมหรือไม่
- 3.3 เปลี่ยนชุดคอนเดนเซอร์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น
- 3.4 หัวฉีด (spray nozzles) ของคอนเดนเซอร์ต้องสะอาด
- 3.5 ลดปริมาณลมเฉียง (by-pass) ที่ผ่านคอนเดนเซอร์ให้น้อยที่สุด
- 3.6 รักษาพื้นผิวของคอนเดนเซอร์ให้สะอาดและตรวจสอบให้แน่ใจว่าน้ำที่ใช้ได้ผ่านการปรับสภาพ (treatment) อย่างดีแล้ว
- 3.7 ไล่อากาศและก๊าซ ที่ไม่กลั่นตัวออกจากคอนเดนเซอร์ให้หมด โดยหมั่นตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ
- 3.8 ตรวจสอบตำแหน่งติดตั้งคอนเดนเซอร์ว่าอยู่ในตำแหน่งที่สามารถระบายความร้อนออกได้ดี
- 3.9 เลือกใช้คอนเดนเซอร์ให้ถูกต้องกับลักษณะงานและพื้นที่ติดตั้ง





รูปที่ 4 แสดง P-h Diagram ของการลดความดันควบแน่น



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิควบแน่นส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้เครื่องอัดแตกต่างกัน



จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า เมื่ออุณหภูมิความดันของสารทำความเย็นลดต่ำลงจะส่งผลทำให้ค่า COP สูงขึ้น โดยเครื่องอัดสารแต่ละชนิดจะมีผลที่แตกต่างกัน ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะทำให้อุณหภูมิความดันไม่สูงขึ้น คือการทำความสะอาดพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำระบายความร้อนกับสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์อย่างสม่ำเสมอ และต่อเนื่อง เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อใช้งานไปนานๆ อาจเกิดตะกรันบนพื้นผิวถ่ายเทความร้อน เนื่องจากคุณภาพน้ำไม่ดีหรือไม่มีการล้างระบบในเวลาที่เหมาะสม ส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนลดลง โดยทั่วไปกำหนดให้ความหนาของตะกรันที่ยอมรับได้ประมาณ 0.15 mm (0.006 in.)

$$\begin{aligned} \text{FOULING FACTOR} &= \text{HEAT RESISTANCE} = x/k \\ \text{เมื่อ } X &= \text{ความหนาของตะกรัน (mm)} \\ k &= \text{ค่าการนำความร้อนของตะกรัน} = 1.7 \text{ W/mK หรือ } 12 \text{ Btu.in/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{Fh} \\ \text{ดังนั้น FOULING FACTOR} &= 0.15/1000/1.7 \\ &= 0.000088 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ \text{หรือ} &= 0.006/12 \\ &= 0.0005 \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ\text{Fh/Btu} \end{aligned}$$

ดังนั้นเมื่อ fouling factor มากกว่า 0.0005 ft Fh/Btu หรือ 0.000088 m K/W แล้วควรดำเนินการล้างระบบ และคอนเดนเซอร์เพื่อผลในการประหยัดพลังงาน ในการล้างคอนเดนเซอร์ อาจใช้แช่หลอดล้างขัดภายในท่อหรืออาจใช้ระบบทำความสะอาดอัตโนมัติ เช่น แบบลูกบอลหรือแบบแปรง ซึ่งจะวิ่งขัดอยู่ภายในท่ออย่างต่อเนื่องตลอดเวลา หรือการใช้ไอ โซนไปทำปฏิกิริยากับสารที่ก่อให้เกิดตะกรันในน้ำที่ใช้ระบายความร้อน ซึ่งจะส่งผลให้พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาดอยู่ตลอดเวลา ส่งผลให้สมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์ไม่ลดต่ำลง การใช้คนในการทำความสะอาดโดยการชักแช่ทุกๆ 3 ถึง 6 เดือน หรือบางแห่งอาจจะเป็นปีนั้น ในช่วงระยะเวลาที่เปลี่ยนไปจะเกิดการสะสมของตะกรันที่ผิวท่อมากขึ้นเรื่อย นั่นคือสมรรถนะในการทำงานของเครื่องได้ลดต่ำลงตามระยะเวลา และเป็นการกำหนดยากที่จะบอกได้ว่าการเพิ่มขึ้นของตะกรันแต่ละแห่งเร็วหรือช้า เนื่องจากการเกิดตะกรันขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่ไหลภายในระบบระบายความร้อน ถึงแม้ว่าจะมีการปรับสภาพน้ำอย่างดีแล้วตะกรันก็จะยังเกิดขึ้น แต่อัตราการเกิดขึ้นจะน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการปรับสภาพน้ำ หรือระบบปรับสภาพน้ำไม่สมบูรณ์ เมื่ออัตราการเกิดตะกรันไม่สามารถกำหนดได้ ดังนั้นการหาผลการประหยัดพลังงานเมื่อทำให้พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาดอยู่ตลอดเวลา โดยวิธีใดก็ได้แล้วแต่ จะต้องทำการตรวจวัดและวิเคราะห์หาสมรรถนะของเครื่องนั้นๆ และเนื่องจากสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นหรือปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับภาระ ดังนั้นวิธีการที่ประเมินผลการประหยัดพลังงานได้อย่างถูกต้องว่า



จะประหยัดได้ปีละเท่าใดนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์จากข้อมูลที่บันทึกการทำงานของเครื่องแต่ละวัน แต่ละเดือนตลอดทั้งปี (LOG SHEET)

4. ตะกรันในเครื่องควบแน่นหรือในคอนเดนเซอร์

ตะกรันที่เกาะพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดจากการตกผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) แคลเซียมไบคาร์บอเนต ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) แมกนีเซียมไบคาร์บอเนต ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$) และพวกซิลิโคนไดออกไซด์ (SiO_2) และอาจมีพวกสนิมเหล็กปะปนอยู่ ดังนั้นระบบระบายความร้อนซึ่งเป็นระบบเปิดและต้องมีการเติมน้ำเข้าไปอยู่ตลอดเวลาจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีอุปกรณ์ปรับสภาพน้ำ มิเช่นนั้นอาจเกิดตะกรันเกาะผิวท่อเป็นจำนวนมาก แต่อุปกรณ์ปรับสภาพน้ำที่มีการใช้ทั่วไปไม่สามารถแก้ปัญหาการเกิดตะกรันได้ 100% ดังนั้นเพื่อให้พื้นผิวสะอาดตลอดเวลาควรติดตั้งอุปกรณ์ทำความสะอาดอัตโนมัติต่างๆ ซึ่งจะทำงานอยู่ตลอดเวลา เมื่อมีการใช้งานระบบปรับอากาศหรือระบบทำความเย็น

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความหนาของตะกรันกับค่า Fouling Factor

ความหนาโดยประมาณของตะกรันหินปูน (มิลลิเมตร)	Fouling Factor ($\text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{Fh/Btu}$)
0.00	0.0000
0.15	0.0005
0.30	0.0010
0.60	0.0020
0.90	0.0030

$$\text{Fouling Factor} = 0.0033X \quad (R^2 = 1)$$

เมื่อ X คือความหนาของตะกรันเป็นมิลลิเมตร

ตารางที่ 2 ผลของค่า Fouling Factor ต่ออุณหภูมิควบแน่นของเครื่องควบแน่นที่มีน้ำเป็นตัวหล่อเย็น

Fouling Factor ของเครื่องควบแน่น ($\text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{Fh/Btu}$)	อุณหภูมิควบแน่น	
	$^\circ\text{F}$	$^\circ\text{C}$



0.001	101	38.33
0.002	106	41.11
0.003	111	43.88
0.004	116	46.66
0.005	121	49.44

$$\text{อุณหภูมิความแน่น (}^{\circ}\text{C)} = 2777X + 435.553 \quad (R^2 = 1)$$

เมื่อ X คือ ค่า Fouling Factor

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าอุณหภูมิความแน่นของสารทำความเย็นจะสูงขึ้น เมื่อค่า Fouling Factor เพิ่มขึ้น โดยทุกๆ ค่า Fouling Factor เพิ่มขึ้น 0.001 หรือความหนาตะกรันเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.30 มิลลิเมตร จะส่งผลให้อุณหภูมิความแน่นเพิ่มขึ้น 5 °F

ตารางที่ 3 ผลของ ค่า Fouling Factor ต่อร้อยละของพลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้เพิ่มขึ้นของเครื่องอัดชนิดหนึ่ง

Fouling Factor ของเครื่องความแน่น (ft ² °Fh/Btu)	ร้อยละของพลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
0.0000	0.00
0.001	12.00
0.002	22.00
0.003	32.00
0.004	42.00
0.005	52.00

$$\text{ร้อยละของพลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)} = 10286X + 0.9524 \quad (R^2 = 0.999)$$

เมื่อ X คือ ค่า Fouling Factor

ตารางที่ 3 จะเห็นว่า เมื่อค่า Fouling Factor เพิ่มสูงขึ้น พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดจะสูงขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของ Fouling Factor ทุกๆ 0.001 หรือความหนาตะกรันเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.30 มิลลิเมตร ส่งผลให้พลัง ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอัดสารทำความเย็นและภาระของเครื่อง ซึ่งจะมีการเพิ่มขึ้นที่แตกต่างกันไป

5. การเปรียบเทียบผลจากการตรวจวัด

ทำการตรวจวัดเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) จำนวน 2 อาคาร ซึ่งมีชั่วโมงการใช้งานต่อปีเท่ากัน โดยเครื่องหนึ่งทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ โดยการซักแช่ทุกๆ 3 เดือน



และอีกเครื่องหนึ่งทำความสะอาดคอนเดนเซอร์โดยอัตโนมัติ โดยพิกัดของเครื่องตั้งตารางที่ 4 ในการตรวจวัดนั้นทำการตรวจวัดที่ภาระสูงสุดประมาณ 85-90% ซึ่งถือว่าเป็นภาระที่เครื่องมีสมรรถนะสูงที่สุด และตรวจวัดที่ภาระต่ำประมาณ 70-75 % ซึ่งเป็นภาระที่เครื่องทำน้ำเย็นลดภาระไม่ควรต่ำกว่านี้ เนื่องจากที่ภาระต่ำกว่านี้สมรรถนะของเครื่องจะต่ำลงไปมาก การดูพฤติกรรมของการเพิ่มขึ้นของตระกรันในคอนเดนเซอร์ซึ่งจะส่งผลให้ค่า kW/TR ของเครื่องสูงขึ้นเรื่อยๆ นั้นทำการตรวจวัดที่ภาระสูงและภาระต่ำในทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยครั้งแรกทำการตรวจวัดหลังจากทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ใหม่ แล้วทำการวัดในทุกๆ เดือนจนครบรอบการทำความสะอาด ซึ่งจะได้ผลตั้งตารางที่ 5 ถึง ตารางที่ 8 จะเห็นว่า ทั้งภาระสูงและภาระ กรณีนี้อัตราการทำความเย็นจะลดลงประมาณ 0.122 ถึง 8.91% และโดยเฉลี่ยประมาณ 6% พลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2.69 ถึง 12.79% เฉลี่ยประมาณ 6.66% ส่วนค่า kW/TR จะเพิ่มขึ้นประมาณ 15.75 ถึง 16.17% เฉลี่ยประมาณ 12.05 % ซึ่งจะเห็นว่า อัตราการ ทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากที่ภาระแตกต่างกัน แต่ยังคงมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันโดยดูจากการค่า kW/TR

กรณีของเครื่องที่ใช้เครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติที่ค่า kW/TR มีการเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.135 ถึง 0.25% ซึ่งถือว่าน้อยมาก ดังนั้น การที่จะใช้เครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติต่างๆ เช่น ระบบบอล ระบบแปลง หรือระบบโอโซน ถ้าสามารถไม่ทำให้เกิดตะกรันได้ก็จะสามารถวิเคราะห์ผลการประหยัดเสมือนกับพื้นผิวสะอาดหรือ kW/TR เมื่อทำความสะอาดใหม่ๆ

จากตารางที่ 9 และตารางที่ 10 จะเห็นว่าร้อยละความแตกต่างที่ภาระสูงและภาระต่ำมีความแตกต่างกันมากของค่า อัตราการทำความเย็น พลังไฟฟ้าและค่า kW/IR ดังนั้นการตรวจวัดเพื่อนำค่าไปใช้ในการวิเคราะห์ต่างๆ ควรเปรียบเทียบที่ภาระการทำงานของเครื่องเท่ากันเท่านั้น มิเช่นนั้นจะส่งผลให้เกิดการผิดพลาดมากในการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานต่างๆ

จากตารางที่ 11 และตารางที่ 12 เป็นค่าที่วิเคราะห์จาก LOG SHEET ของแต่ละชั่วโมงและของแต่ละเดือนที่ทางอาคารบันทึกไว้ ซึ่งค่าจาก LOG SHEET นี้ถ้าทำการบันทึกค่าได้ถูกต้องจะส่งผลให้การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานใกล้เคียงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง หลังจากดำเนินการตามมาตรการนั้นๆ เนื่องจากได้รวมผลการเปลี่ยนแปลงภาระการทำงานของเครื่องในแต่ละชั่วโมงตลอดทั้งปี ซึ่งรวมภาระการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของแต่ละฤดูกาลเข้าไปด้วย ซึ่งจากตารางจะเห็นว่าอัตราการทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน และถ้า

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า kW/TR เฉลี่ย หลังทำความสะอาดใหม่ๆ จากการตรวจวัด (ตารางที่ 7) มีค่า 0.73 kW/TR และจาก LOG SHEET (ตารางที่ 11) มีค่า 0.82 kW/TR ซึ่งมีความแตกต่างกันถึง 11% และเมื่อเปรียบเทียบค่า kW/TR ที่เปลี่ยนแปลงจากการตรวจวัดก่อนทำความสะอาดและหลังทำความสะอาดมีค่าต่างกันประมาณ 12.05% ส่วนค่าเปลี่ยนแปลงจาก LOG SHEET มีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 8.89% ดังนั้นการที่



ผู้วิเคราะห์ผลการประหยัดจะใช้วิธีใดในการวิเคราะห์จะต้องระหนักอย่างมากถึงผลการวิเคราะห์ เพื่อจะได้ใช้วิธีการที่ถูกต้องที่สุดในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4 แสดงพิกัดติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำของ 2 อาคาร

ลำดับเครื่องทำน้ำเย็น	ชนิดสารทำความเย็น	ชั่วโมงการใช้งาน		พิกัดเครื่องทำความเย็น		พิกัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (กิโลวัตต์/ตันทำความเย็น)	วิธีการล้างคอนเดนเซอร์
		ชม./วัน	วัน/เดือน	ตันทำความเย็น	กิโลวัตต์		
อาคารที่ 1	R-134A	12	30	525	341	0.65	ซักแซ่ทุก 3 เดือน
อาคารที่ 2	R-123	12	30	340	238	0.70	เครื่องล้างอัตโนมัติ



ตารางที่ 5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง เมื่อพื้นผิวสะอาด เดือนที่ศูนย์กับก่อนทำความสะอาดเดือนที่ 3 เมื่อภาระการทำงานที่ 85-90 เปอร์เซ็นต์

ลำดับเครื่องทำความเย็น	ค่าโดยเฉลี่ยของเครื่องทำความเย็นที่ภาระ 85-90%								
	วัดครั้งแรกเดือนที่ศูนย์ (หลังทำความสะอาด)			วัดครั้งสุดท้ายเดือนที่ 3 (ก่อนทำความสะอาด)			ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง		
	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	kW/TR *	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	kW/TR *	อัตราการทำความเย็น	พลังไฟฟ้าที่ใช้	kW/TR (%)
อาคารที่ 1 (ทำความสะอาดทุก 3 เดือน)	429.14	295.50	0.711	390.89	303.47	0.826	8.91 (ลดลง)	2.69 (เพิ่มขึ้น)	16.17 (เพิ่มขึ้น)
อาคารที่ 2 (ทำความสะอาดอัตโนมัติ)	317.73	219.89	0.740	318.34	213.61	0.741	0.19 (เพิ่มขึ้น)	2.86 (ลดลง)	0.135 (เพิ่มขึ้น)

* ค่า kW/TR ที่แสดงเป็นค่า kW/TR หลังจากปรับแก้เพื่อให้เข้าสู่ฐานเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนที่เข้าเครื่องในแต่ละเวลาแตกต่างกัน

จากตารางจะเห็นว่าอาคารที่ 1 เมื่อตะกรันหนาขึ้น อัตราการทำความเย็นจะลดลง และพลังไฟฟ้าจะสูงขึ้นส่งผลให้ค่ากิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นเพิ่มขึ้นจากเมื่อพื้นผิวสะอาดประมาณ 16.17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอาคารที่ 2 นั้นค่า กิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็น เพิ่มขึ้นน้อยมากประมาณ 0.135 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอุปกรณ์ทำความเย็นอัตโนมัติมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี



ตารางที่ 6 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง เมื่อพื้นผิวสะอาดเดือนที่ศูนย์กับก่อนทำความสะอาดเดือนที่ 3 เมื่อภาระการทำงานที่ 70-75%

ลำดับเครื่องทำความเย็น	ค่าโดยเฉลี่ยของเครื่องทำความเย็นที่ภาระ 70-75%								
	วัดครั้งแรกเดือนที่ศูนย์ (หลังทำความสะอาด)			วัดครั้งสุดท้ายเดือนที่ 3 (ก่อนทำความสะอาด)			ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง		
	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	kW/TR *	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	kW/TR *	อัตราการทำความเย็น	พลังไฟฟ้าที่ใช้	kW/TR (%)
อาคารที่ 1 (ทำความสะอาดทุก 3 เดือน)	212.53	173.89	0.900	212.33	199.39	1.068	0.122 (ลดลง)	12.79 (เพิ่มขึ้น)	15.75 (เพิ่มขึ้น)
อาคารที่ 2 (ทำความสะอาดอัตโนมัติ)	239.85	175.26	0.799	255.63	175.64	0.801	6.17 (เพิ่มขึ้น)	0.22 (เพิ่มขึ้น)	0.25 (เพิ่มขึ้น)

* ค่า kW/TR ที่แสดงเป็นค่า kW/TR หลังจากปรับแก้ เพื่อให้เข้าสู่ฐานเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนที่เข้าเครื่องในแต่ละเวลาแตกต่างกัน

จากตารางจะเห็นว่าอาคารที่ 1 หลังการทำความสะอาดไปแล้ว 3 เดือน อัตราการทำความเย็นลดลง 0.12 เปอร์เซ็นต์ พลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 12.79 เปอร์เซ็นต์ และค่ากิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นเพิ่มขึ้น 0.25 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ของทั้งกรณีภาระการทำงานที่สูง และภาระการทำงานที่ต่ำเป็นไปได้ในทางเดียวกัน แต่ที่ควรสังเกตคือ ค่า kW/TR ที่ภาระสูงจะต่ำกว่าที่ภาระต่ำมาก ดังนั้นการนำค่าต่างๆ ไปวิเคราะห์ควรจะต้องใช้ค่าเฉลี่ยของที่ภาระสูงและที่ภาระต่ำ



ตารางที่ 7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง เมื่อพื้นผิวสะอาด กับก่อนทำความสะอาดเดือนที่ 3 ที่ภาระการทำงานเฉลี่ย

ลำดับเครื่องทำความเย็น	ค่าโดยเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทุกภาระ								
	วัดครั้งแรกเดือนที่ศูนย์ (หลังทำความสะอาด)			วัดครั้งสุดท้ายเดือนที่ 3 (ก่อนทำความสะอาด)			ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง		
	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	kW/TR *	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	kW/TR *	อัตราการทำความเย็น (%)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (%)	kW/TR (%)
อาคารที่ 1 (ทำความสะอาดทุก 3 เดือน)	320.86	234.69	0.75	301.61	251.43	0.83	6.00 (ลดลง)	6.66 (เพิ่มขึ้น)	12.05 (เพิ่มขึ้น)
อาคารที่ 2 (ทำความสะอาดอัตโนมัติ)	278.79	197.57	0.71	286.98	194.63	0.68	2.85 (เพิ่มขึ้น)	1.49 (ลดลง)	4.22 (ลดลง)

จากตารางจะเห็นว่าเครื่องอาคารที่ 1 ค่ากิโลวัตต์ต่อตันทำความเย็นจะสูงขึ้นประมาณ 12.05 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอาคารที่ 2 จะลดลงประมาณ 4.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเมื่อใช้เครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติ ทำความสะอาดตลอดเวลาไม่ทำให้ค่า kW/TR เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ค่า kW/TR ที่ลดลงนั้นอาจมาจากการควบคุมภาระในการตรวจวัดได้ไม่ดีเท่าที่ควร



ตารางที่ 8 ค่าตรวจวัดโดยเฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำในแต่ละเดือน

ระยะเวลาที่ตรวจวัด	ค่าโดยเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นที่ทุกภาระ					
	อาคารที่ 1 (ทำความสะอาดทุก 3 เดือน)			อาคารที่ 2 (ทำความสะอาดอัตโนมัติ)		
	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	KW/TR *	อัตราการทำความเย็น (TR)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	KW/TR *
เดือนที่ศูนย์	320.86	234.69	0.73	278.79	197.57	0.71
เดือนที่ 1	298.95	231.21	0.77	271.05	190.21	0.70
เดือนที่ 2	292.43	236.24	0.81	264.17	189.65	0.72
เดือนที่ 3	301.61	251.43	0.83	286.98	194.63	0.68

* ค่า kW/TR ที่แสดงเป็นค่า kW/TR หลังจากปรับแก้ เพื่อให้เข้าสู่ฐานเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนที่เข้าเครื่องในแต่ละเวลาแตกต่างกัน

จากตารางจะเห็นว่า อาคารที่ 1 ค่า kW/TR จะสูงขึ้น เมื่อระยะเวลามากขึ้น เนื่องจากตะกรันเกาะผิวท่อหนาขึ้น ส่วนอาคารที่ 2 มีการทำความสะอาดตลอดเวลา ส่งผลให้ค่า kW/TR ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลามากนัก



ตารางที่ 11 ค่าต่างๆที่วิเคราะห์จาก LOG SHEET ของเครื่องทำน้ำเย็นอาคารที่ 1 (ทำความสะอาดทุก 3 เดือน)

รายละเอียด	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	รวม	เฉลี่ย
อัตราทำความเย็นรวมที่ภาระมากกว่า 90% (TR)	101,430	104,328	116,532	322,290	107,430
อัตราการทำความเย็นรวมที่ภาระต่ำกว่า 70%(TR)	51,900	55,152	46,242	153,294	51,098
อัตราการทำความเย็นรวม (TR)	153,330	159,480	162,774	475,584	158,528
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวม (kWh)	125,730	136,458	147,224	409,412	136,470
ค่า kW/TR	0.82	0.85	0.90	-	0.86

จากตารางจะเห็นว่าในแต่ละเดือนเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานที่ภาระสูงและภาระต่ำที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ค่า kW/TR จาก LOG SHEET แตกต่างจากค่าจากการตรวจวัดช่วงขณะก่อนข้างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ผลการประหยัดที่ถูกต้องควรนำค่าจาก LOG SHEET ไปทำการวิเคราะห์มากกว่าการใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดช่วงขณะในแต่ละเดือน แต่ทั้งนี้อาจเกิดปัญหาได้ว่าอาคารหรือโรงงาน อาจจะไม่มีการบันทึกค่าหรือบันทึกค่าไม่ละเอียด หรือบันทึกค่าที่ผิดพลาดส่งผลให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลจาก LOG SHEET มาวิเคราะห์ได้



6. การวิเคราะห์หาผลการประหยัดพลังงาน

ผลการประหยัดพลังงานจากการทำความสะอาดพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนด้านระบายความร้อน (คอนเดนเซอร์) ตลอดเวลาของเครื่องปรับอากาศและทำความเย็น โดยใช้น้ำระบายความร้อนนั้นไม่สามารถกำหนดเป็นเกณฑ์มาตรฐานได้ว่าจะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เท่าใด เนื่องจากคุณภาพของน้ำระบายความร้อนที่ไหลวนอยู่ในระบบและคุณภาพของน้ำเติมแต่ละแห่งไม่เหมือนกัน โดยถ้าคุณภาพน้ำไม่ดีการก่อตัวของตะกรันจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นหมายความว่าสมรรถนะของเครื่องจะลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากคุณภาพของน้ำแล้วผลการประหยัด ยังขึ้นอยู่กับความถี่ในการทำความสะอาดโดยการซักแซ็อีกด้วย โดยเครื่องใดที่มีความถี่ในการทำความสะอาดมาก ผลการประหยัดที่ได้จากการใช้ระบบทำความสะอาดที่ทำให้พื้นผิวท่อสะอาดตลอดเวลาจะน้อย เนื่องจากระยะเวลาการก่อตัวของตะกรันจะไม่มากนักในการครบรอบการทำความสะอาดแต่ละครั้ง จากการศึกษาและสำรวจทั้งโรงงานและ อาคารมักจะใช้ความถี่ในการทำความสะอาดทุก 3 เดือน 6 เดือน และ 1 ปี และบางแห่งอาจจะดูจากความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ออกกับอุณหภูมิมืดตัวของสารทำความเย็นภายในคอนเดนเซอร์ไม่เกิน 2 c ถ้าเกินแสดงว่าตะกรันจับพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนมากต้องถึงเวลาทำความสะอาด อีกทั้งที่สำคัญมากในการวิเคราะห์ก็คือภาระการทำงานของเครื่องจะส่งผลโดยตรงต่อค่ากิโวลต์ต่อตันทำความเย็น

การศึกษานี้ได้ทำการตรวจวัดหาค่า กิโวลต์ต่อตันทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำจำนวน 2 ชุด โดยแต่ละชุดไม่ได้ใช้น้ำในแหล่งเดียวกัน เพื่อที่จะศึกษาว่าค่ากิโวลต์ต่อตันทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือนอย่างไร และเมื่อนำค่าต่างๆมาคำนวณหาผลการประหยัด โดยเทียบกับขณะที่เครื่องมีพื้นที่ผิวสะอาดนั้นผลเป็นอย่างไร โดยใช้วิธีการคำนวณเปรียบเทียบกัน 7 วิธี โดยอาคารที่ 1 ใช้คนทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ โดยการซักแซ็ทุกๆ 3 เดือน ส่วนอาคารที่ 2 ทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ โดยการใช้เครื่องทำความสะอาดอัตโนมัติทำงานตลอดเวลา การตรวจวัดจะทำการตรวจวัดทุกๆ เดือนเป็นเวลา 3 เดือน โดยทำการวัดที่ภาระการทำงาน 85-90% และที่ภาระ 70-75% แล้วนำค่าเฉลี่ยไปทำการวิเคราะห์ เนื่องจากเครื่องทำความเย็นไม่ได้ทำงานที่ภาระสูงสุดตลอดเวลา

จากตารางที่ 13 จะเห็นว่าการวิเคราะห์นั้นทำได้หลายวิธี ซึ่งบางวิธีได้ผลการประหยัดที่มาก บางวิธีได้ผลการประหยัดที่น้อย วิธีที่มีการคำนวณที่ละเอียดที่สุดคือ วิธีที่ 7 เนื่องจากใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยแต่ละเดือนจาก LOG SHEET ตลอดทั้งปี แต่วิธีดังกล่าวมีการทำที่ยุงยาก และอาจเกิดความผิดพลาดได้เมื่อการบันทึก LOG SHEET ไม่สมบูรณ์ ดังนั้น วิธีที่ควรนำมาใช้ในการวิเคราะห์มากที่สุดคือวิธีที่ 4 ซึ่งจะได้ค่าผลการประหยัดที่ใกล้เคียงกัน และการดำเนินการวิเคราะห์ที่ง่ายกว่าวิธีที่ 7 แต่ถ้าจะได้ผลที่ถูกต้องมากขึ้นควรใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยทุกๆ ชั่วโมงจากการตรวจวัดก่อนทำความสะอาด 1 สัปดาห์ และหลังทำความสะอาด 1 สัปดาห์ เนื่องจากค่า kW/TR เฉลี่ยที่ได้จาก LOG SHEET อาจจะมีการผิดพลาดในการบันทึกและ



ค่า KW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำนั้น ไม่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีในการทำงานจริงของเครื่องทำน้ำเย็นตลอดทั้งวันได้ เนื่องจากอุณหภูมิระบายความร้อนที่เข้าเครื่องเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อีกทั้งภาระการปรับอากาศของเครื่องก็เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นวิธีที่ 4 จะถูกต้องมากขึ้นควรใช้ค่า RW/TR เฉลี่ยใน 1 สัปดาห์ หลังทำความสะอาดแทนการใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและภาระต่ำ นอกจากนี้กรณีที่ไม่มีการบันทึก LOG SHEET หรือมีการบันทึกที่ไม่สมบูรณ์วิธีการวิเคราะห์ที่ได้ผลดีที่สุด คือการตรวจวัดหาค่า RW/IR ต่อเนื่องทุกชั่วโมงใน 1 สัปดาห์ก่อนทำความสะอาดและตรวจวัดหาค่า kW/TR ต่อเนื่องใน 1 สัปดาห์หลังทำความสะอาด แล้วนำมาคำนวณ ดังนี้

ผลการประหยัดพลังงาน = $1/2$ (kW/TR เฉลี่ย 1 สัปดาห์ก่อนทำความสะอาด - kW/TR เฉลี่ย 1 สัปดาห์หลังทำความสะอาด) x ต้นทุนค่าความเย็นในรอบการทำความสะอาด x จำนวนรอบของการทำความสะอาดตลอดปี

ส่วนกรณีที่มีการบันทึก LOG SHEET อย่างดีวิเคราะห์จะถูกต้องมาก โดยการวิเคราะห์ดังนี้

ผลการประหยัดพลังงาน = (kW/TR เฉลี่ยจาก LOG SHEET ในรอบการทำความสะอาด - kW/TR เฉลี่ย 1 สัปดาห์หลังทำความสะอาด) x ต้นทุนค่าความเย็นในรอบการทำความสะอาด X จำนวนรอบของการทำความสะอาดตลอดปี



ตารางที่ 13 สรุปผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ตลอดเวลาในการวิเคราะห์ 7 วิธี

รายละเอียด	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3	วิธีที่ 4	วิธีที่ 5	วิธีที่ 6	วิธีที่ 7
ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยประมาณ ใช้ต้นทุนค่าความเย็นรวมในรอบการทำงาน สะอาด (kWh/y)	247,303.68	248,942.72	76,093.44	161,698.56	95,116.8	95,808.96	188,989.36
ร้อยละการประหยัดพลังงาน (เปอร์เซ็นต์)	15.47	15.57	4.76	10.11	5.95	5.99	11.82
ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า คิดจากต้นทุนค่า ความเย็นรวมตลอดทั้งปี (kWh/y)	240263.66	ไม่มีการ ตรวจวัด	73,927.28	157,095.47	92,409.1	ไม่มีการ ตรวจวัด	185,438.02
ร้อยละการประหยัดพลังงาน (เปอร์เซ็นต์)	15.03	-	4.62	9.83	5.78	-	11.60
ร้อยละความแตกต่าง	2.85	-	2.85	2.85	2.85	-	1.88

- หมายเหตุ**
- วิธีที่ 1** ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำจากการตรวจวัด เมื่อพื้นผิวสะอาด, ค่า kW/TR เฉลี่ย ช่วง 3 เดือนจาก LOG SHEET และอัตราการทำความเย็นรวมทั้ง 3 เดือน (เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3) ที่ได้จาก LOG SHEET
- วิธีที่ 2** ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำจากการตรวจวัด เมื่อพื้นผิวสะอาด และพลังไฟฟ้าและอัตราการทำความเย็นรวมทั้ง 3 เดือน (เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3) ที่ได้จาก LOG SHEET
- วิธีที่ 3** ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยจาก LOG SHEET เดือนที่ 1 และเดือนที่ 3 และอัตราการทำความเย็นรวม จาก LOG SHEET
- วิธีที่ 4** ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำจากการตรวจวัด เมื่อพื้นผิวสะอาด และค่า kW/TR เฉลี่ยของเดือนที่ 3 จาก LOG SHEET และอัตราการทำความเย็นรวมจาก LOG SHEET



วิธีที่ 5 ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำ เมื่อพื้นผิวสะอาด และก่อนทำความสะอาด (เดือนที่ 3) จากการตรวจวัด และอัตราการทำความเย็นรวมในช่วง 3 เดือนจาก LOG SHEET

วิธีที่ 6 ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำ เมื่อพื้นผิวสะอาด และของแต่ละเดือนจนถึงเดือนที่ 3 จากการตรวจวัดและอัตราการทำความเย็นรวมในแต่ละเดือนจาก LOG SHEET

วิธีที่ 7 ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำ เมื่อพื้นผิวสะอาดจากการตรวจวัด และค่า kW/TR กับอัตราการทำความเย็นของแต่ละเดือนจาก LOG SHEET



7. วิธีการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงาน

การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับข้อมูลที่มีอยู่ แต่วิธีที่ดีที่สุด คือ การใช้ข้อมูลจาก LOG SHEET เพราะรวมทุกภาระในการเดินเครื่องในแต่ละเวลา ดังนั้นผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบในแต่ละวิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 โดยการใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัด เมื่อพื้นผิวระเหยและอัตราการทำความเย็นรวมทั้ง 3 เดือน (เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3) ที่ได้จาก LOG SHEET

จากตารางที่ 7 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จากการตรวจวัด) เมื่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระเหย = 0.73 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ยช่วง 3 เดือน (จาก LOG SHEET) = 0.86 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่าต้นทำความเย็นรวมในรอบของการทำความระเหยเดิม (จาก LOG SHEET) = 475,584 TR

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อพื้นที่ผิวระเหยตลอดเวลา (ในรอบ 3 เดือน)

$$\begin{aligned}
 &= (\text{kW/TR จาก LOG SHEET เฉลี่ยช่วง 3 เดือน} - \text{kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำ} \\
 &\quad \text{จากการตรวจวัด}) \times \text{ต้นทำความเย็นรวมในรอบการทำความระเหย} \\
 &= (0.86 - 0.73) \times 475,584 \\
 &= 61,825.92 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี = ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรอบการทำความระเหยเดิม

(ช่วง 3 เดือน) X จำนวนรอบของการทำความระเหยเดิม

$$= 61,825.92 \times 4$$

$$= 247,303.68 \text{ kWh}$$

กรณีที่ต้องการให้ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้องมากขึ้น ควรใช้ต้นทำความเย็นรวมของทุกเดือนตลอดทั้งปีไปวิเคราะห์ เนื่องจากภาระการทำงานของเครื่องในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน แต่ทั้งนี้อาจผิดพลาดได้จากการบันทึกข้อมูลใน LOGSHEET ของเจ้าหน้าที่ และการคำนวณหาต้นทำความเย็นตลอดทั้งปียุ่งยากมาก

จากตารางที่ 12 ค่าต้นทำความเย็นรวมตลอดทั้งปี = 1,848,182 TR

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี = (kW/TR จาก LOG SHEET เฉลี่ยช่วง 3 เดือน

KW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำจากการตรวจ

วัด) x ต้นทำความเย็นรวมตลอดทั้งปี

$$= (0.86 - 0.73) \times 1,848,182$$

$$= 240,263.66 \text{ kWh}$$



วิธีที่ 2 โดยการใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัดเมื่อพื้นผิวระเหยและพลังงานไฟฟ้ารวมทั้ง 3 เดือน (เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3) ที่ได้จาก LOG SHEET

จากตารางที่ 11 พลังงานไฟฟ้ารวมของแต่ละเดือน (เดือนที่ 1 ถึง 3) ในรอบการทำความระเหย

$$= 409,412 \quad \text{kWh}$$

จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จากการตรวจวัดที่ภาระสูงและต่ำ) เมื่อผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระเหย

$$= 0.73 \quad \text{kW/TR}$$

จากตารางที่ 11 ต้นทุนค่าความเย็นรวมในรอบของการทำความระเหยเดิม (จาก LOG SHEET)

$$= 475,584 \quad \text{TR}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อพื้นผิวระเหยตลอดเวลา (ในรอบ 3 เดือน)

$$= (\text{พลังงานไฟฟ้ารวมในรอบการทำความระเหย} - (\text{kW/TR เฉลี่ย} \times \text{ต้นทุนค่าความเย็นรวม}))$$

$$= (409,412 - (0.73 \times 475,584))$$

$$= 62,235.68 \quad \text{kWh}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี = ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรอบการทำความระเหยเดิม (ช่วง 3 เดือน) X จำนวนรอบของการทำความระเหย

$$= 62,235.68 \times 4$$

$$= 248,942.72 \quad \text{kWh}$$

วิธีที่ 3 โดยการใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยจาก LOG SHEET เดือนที่ 1 และเดือนที่ 3 และอัตราการทำความเย็นรวม

จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 1 (จาก LOG SHEET) = 0.82 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 3 (จาก LOG SHEET) = 0.90 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมในรอบของการทำความระเหยเดิม (จาก LOG SHEET)

$$= 475,584 \quad \text{TR}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อพื้นผิวระเหยตลอดเวลา (ในช่วง 3 เดือน)

$$= 1/2 \times (\text{kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 3} - \text{kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 1})$$

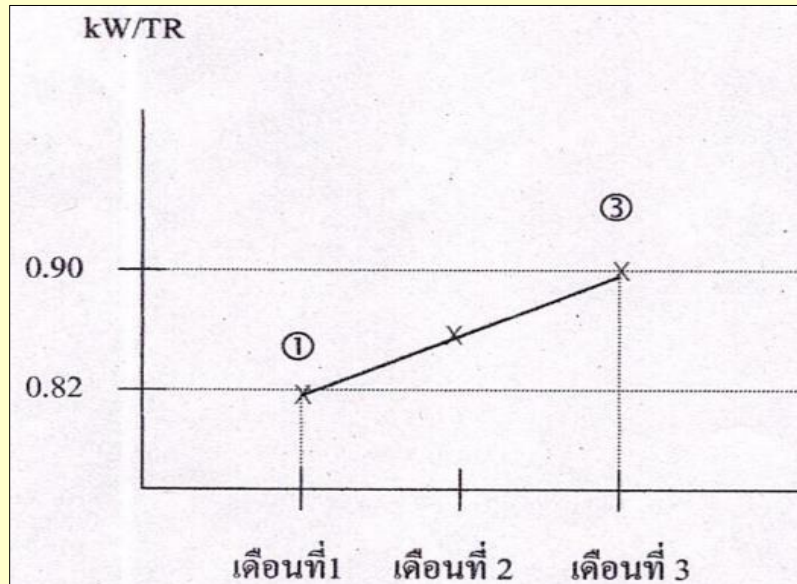
X ต้นทุนค่าความเย็นรวมในรอบการทำความระเหย

$$= 1/2 (0.90 - 0.82) \times 475,584$$

$$= 19,023.36 \quad \text{kWh}$$



$$\begin{aligned}
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี} &= \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรอบการทำ ความ} \\
 &\quad \text{สะอาดเดิม (ช่วง 3 เดือน) x จำนวนรอบของการทำ} \\
 &\quad \text{ความสะอาด} \\
 &= 19,023.36 \times 4 \\
 &= 76,093.44 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$



กรณีที่ต้องการให้ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้องมากขึ้น ควรใช้ต้นทำความเย็นรวมของทุกเดือนตลอดทั้งปีไปวิเคราะห์ เนื่องจากภาระการทำงานของเครื่องในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน แต่ทั้งนี้อาจผิดพลาดได้จากการบันทึกข้อมูลใน LOG SHEET ของเจ้าหน้าที่ และการคำนวณหาต้นทำความเย็นตลอดทั้งปียุ่งยากมาก

$$\begin{aligned}
 \text{จากตารางที่ 12} \quad \text{ค่าต้นทำความเย็นรวมตลอดทั้งปี} &= 1,848,182 \quad \text{TR} \\
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี} &= \frac{1}{2} \times (\text{kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 3} - \text{kW/TR} \\
 &\quad \text{เฉลี่ยเดือนที่ 1}) \times \text{ต้นทำความเย็นรวม} \\
 \text{ตลอดทั้งปี} &= \frac{1}{2} (0.9 - 0.82) \times 1,848,182 \\
 &= 73,927.28 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$



วิธีที่ 4 โดยการ ใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยจาก LOG SHEET ของเดือนที่ 3 kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัดเมื่อพื้นผิวสะอาด และอัตราการทำความเย็นรวมจาก LOG SHEET

จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จากการตรวจวัด) เมื่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด

$$= 0.73 \quad \text{kW/TR}$$

จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ยของเดือนที่ 3 (จาก LOG SHEET)

$$= 0.90 \quad \text{kW/TR}$$

จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนทำความเย็นรวมในรอบของการทำความสะอาดเดิม (จาก LOG SHEET)

$$= 475,584 \quad \text{TR}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อพื้นที่ผิวสะอาดตลอดเวลา (ในรอบ 3 เดือน)

$$= \frac{1}{2} \times (\text{kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 3 จาก LOG SHEET} \\ - \text{kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัดเมื่อพื้นผิวสะอาด}) \times$$

ต้นทุนทำความเย็นรวมในรอบการทำความสะอาด

$$= \frac{1}{2} (0.90 - 0.73) \times 475,584 \\ = 40,424.64 \quad \text{kWh}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี

$$= \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรอบการทำ} \\ \text{ความสะอาดเดิม (ช่วง 3 เดือน)} \times \text{จำนวนรอบ} \\ \text{ของการทำความสะอาดรอบของการทำความ}$$

สะอาด

$$= 40,424.64 \times 4 \\ = 161,698.56 \quad \text{kWh}$$





กรณีที่ต้องการให้ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถูกต้องมากขึ้น ควรใช้ต้นทำความเย็นรวมของทุกเดือนตลอดทั้งปีไปวิเคราะห์ เนื่องจากภาระการทำงานของเครื่องในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน แต่ทั้งนี้อาจผิดพลาดได้จากการบินทักข้อมูลใน LOG SHEET ของเจ้าหน้าที่ และการคำนวณหาต้นทำความเย็นตลอดทั้งปียุ่งยากมาก

$$\begin{aligned}
 \text{จากตารางที่ 12 ค่าต้นทำความเย็นรวมตลอดทั้งปี} &= 1,848,182 \quad \text{TR} \\
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี} &= \frac{1}{2} \times (\text{kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 3 จาก LOG SHEET} \\
 &\quad - \text{kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจ วัดเมื่อผิวสะอาด}) \\
 &\quad \times \text{ต้นทำความเย็นตลอด ทั้งปี} \\
 &= \frac{1}{2} (0.90 - 0.73) \times 1,848,182 \\
 &= 157,095.47 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$

วิธีที่ 5 โดยการใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำ ขณะพื้นผิวสะอาด และขณะก่อนทำความสะอาด (เดือนที่ 3) จากการตรวจวัด และอัตราการทำความเย็นรวมในช่วง 3 เดือน จาก LOG SHEET

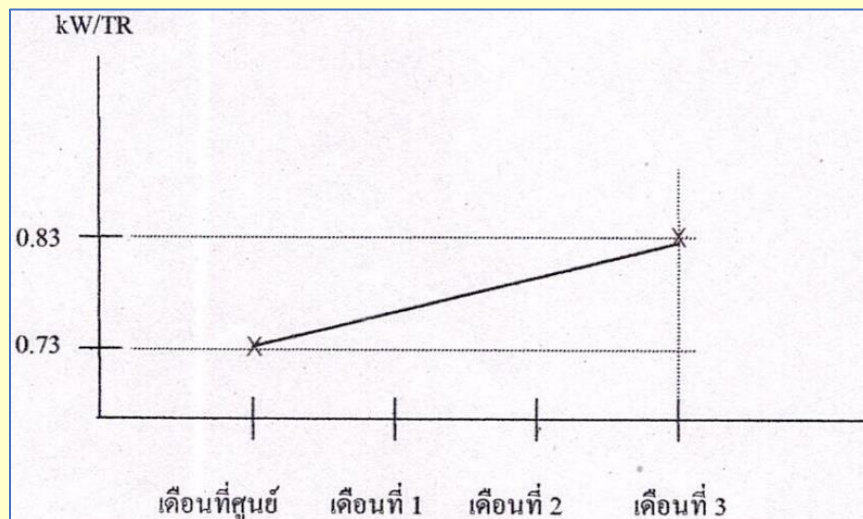
$$\begin{aligned}
 \text{จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จากการตรวจวัด) เมื่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด} &= 0.73 \quad \text{kW/TR} \\
 \text{จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จากการตรวจวัด) ของเดือนที่ 3 ก่อนทำความสะอาด} &= 0.83 \quad \text{kW/TR} \\
 \text{จากตารางที่ 11 ค่าต้นทำความเย็นรวมในรอบของการทำความสะอาดเดิม (จาก LOG SHEET)} &= 475,584 \quad \text{TR} \\
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อพื้นผิวสะอาดตลอดเวลา (ในรอบ 3 เดือน)} &
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \times (\text{kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 3 จากการตรวจวัด} - \text{kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัดเมื่อผิวสะอาด}) \times \text{ต้นทุนค่าความเย็นรวมในรอบการทำความสะอาด} \\
 &= \frac{1}{2} (0.83 - 0.73) \times 475,584 \\
 &= 23,779.2 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี = ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรอบการทำความสะอาดเดิม (ช่วง 3 เดือน) X จำนวนรอบของการทำความสะอาด

$$\begin{aligned}
 &= 23,779.2 \times 4 \\
 &= 95,116.8 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$



หรือถ้าให้ได้ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่มีความถูกต้องมากขึ้นควรใช้ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมของทุกเดือนตลอดทั้งปี เนื่องจากภาระการทำงานของเครื่องในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน แต่ทั้งนี้อาจผิดพลาดได้จากการบันทึกข้อมูลใน LOG SHEET ของเจ้าหน้าที่ได้

จากตารางที่ 12 ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมตลอดทั้งปี = 1,848,182 TR



$$\begin{aligned}
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี} &= \frac{1}{2} (\text{kW/TR เฉลี่ยเดือนที่ 3 จากการตรวจวัด} - \\
 &\quad \text{kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัดเมื่อพื้นผิวสะอาด)} \\
 &\quad \times \text{ต้นทุนค่าความเย็นรวมในรอบปี} \\
 &= \frac{1}{2} (0.83 - 0.73) \times 1,848,182 \\
 &= 92,409.1 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$

วิธีที่ 6 โดยการใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำจากการตรวจวัดขณะที่พื้นผิวสะอาด และของแต่ละเดือนจนถึงเดือนที่ 3 จากการตรวจวัด และอัตราการทำความเย็นรวมในแต่ละเดือนจาก LOG SHEET

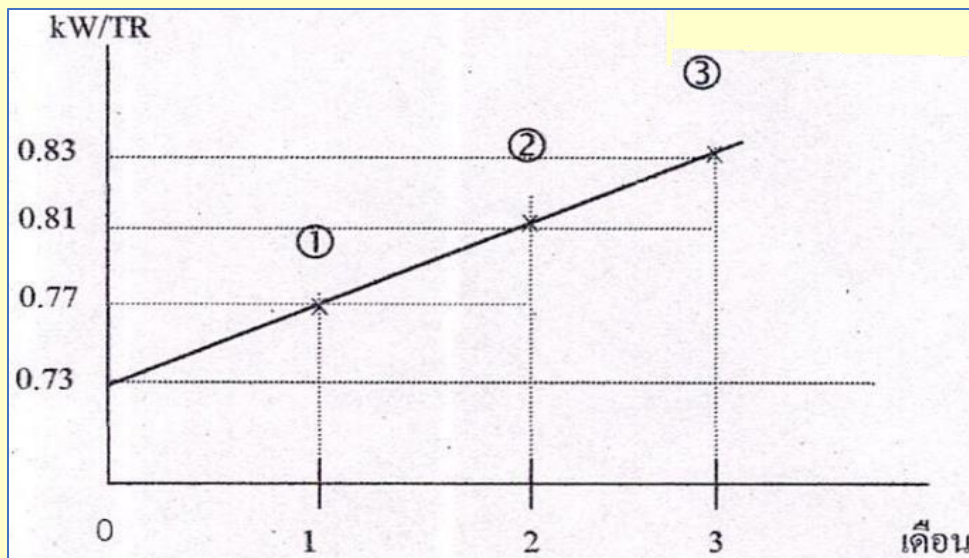
จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัด เมื่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด = 0.73 kW/TR	
จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัด เมื่อใช้ไปแล้ว 1 เดือน	= 0.77 kW/TR
จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัด เมื่อใช้ไปแล้ว 2 เดือน	= 0.81 kW/TR
จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ยจากการตรวจวัด เมื่อใช้ไปแล้ว 3 เดือน	= 0.83 kW/TR
จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมของเดือนที่ 1 จาก LOG SHEET	= 125,730 TR
จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมของเดือนที่ 2 จาก LOG SHEET	= 136,458 TR
จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมของเดือนที่ 3 จาก LOG SHEET	= 147,224 TR

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อพื้นผิวสะอาดตลอดเวลา (ในรอบ 3 เดือน)

$$\begin{aligned}
 &= \left[\frac{1}{2} (\text{kW/TR}_1 - \text{kW/TR}_0) \times \text{TR}_1 \right] \\
 &\quad + \left[((\text{kW/TR}_1 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_2 - \text{kW/TR}_1)) \times \text{TR}_2 \right] \\
 &\quad + \left[((\text{kW/TR}_2 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_3 - \text{kW/TR}_2)) \times \text{TR}_3 \right] \\
 &= \left[\frac{1}{2} (0.77 - 0.73) \times 125,730 \right] + \left[((0.77 - 0.73) + \frac{1}{2} (0.81 - 0.77)) \times 136,458 \right] + \left[((0.81 - 0.73) + \frac{1}{2} (0.83 - (0.81))) \times 147,224 \right] \\
 &= 2,514.60 + 8,187.48 + 13,250.16 \\
 &= 23,952.24 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี} &= \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในรอบการทำความ} \\
 &\quad \text{สะอาด X จำนวนรอบการทำความสะอาด} \\
 &= 23,952.24 \times 4 \\
 &= 95,808.96 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$



วิธีที่ 7 โดยการใช้ค่า kW/TR เฉลี่ยที่ภาระสูงและต่ำ ขณะที่พื้นผิวสะอาดจากการตรวจวัด กับค่า kW/TR กับอัตราทำความเย็นจาก LOG SHEET ของเดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ 3

จากตารางที่ 8 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จากการตรวจวัด) เมื่อพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด = 0.73 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จาก LOG SHEET) ของเดือนที่ 1 = 0.82 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จาก LOG SHEET) ของเดือนที่ 2 = 0.85 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่า kW/TR เฉลี่ย (จาก LOG SHEET) ของเดือนที่ 3 = 0.90 kW/TR

จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนทำความเย็นรวมของเดือนที่ 1 (จาก LOG SHEET) = 153,330 TR



จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมของเดือนที่ 2 (จาก LOG SHEET) = 159,480 TR

จากตารางที่ 11 ค่าต้นทุนค่าความเย็นรวมของเดือนที่ 3 (จาก LOG SHEET) = 162,773 TR

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า เมื่อพื้นผิวระเหยตลอดเวลา (ในรอบ 3 เดือน)

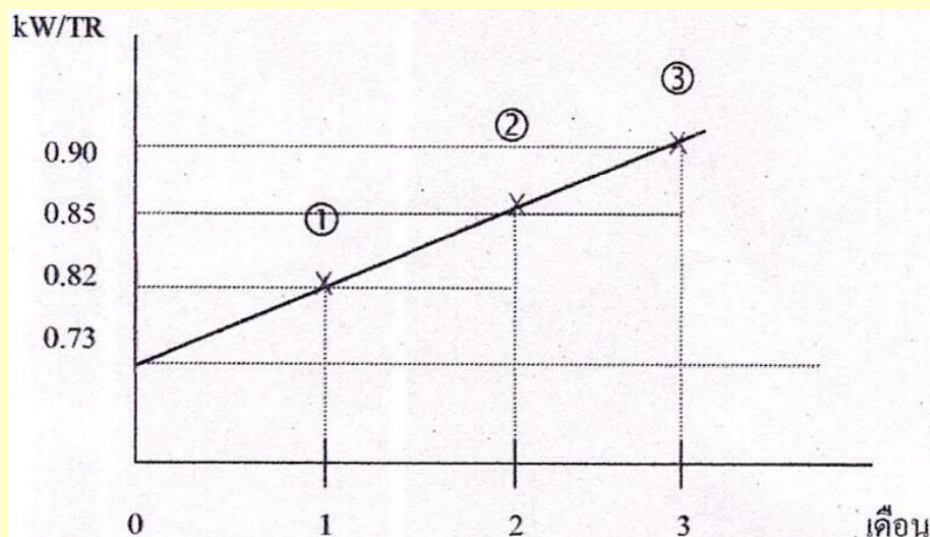
$$\begin{aligned}
 &= [1/2 (kW/TR_1 - kW/TR_0) \times TR_1] \\
 &\quad + [((kW/TR_1 - kW/TR_0) + 1/2 (kW/TR_2 - kW/TR_1)) \times TR_2] \\
 &\quad + [((kW/TR_2 - kW/TR_0) + 1/2 (kW/TR_3 - kW/TR_2)) \times TR_3] \\
 &= [1/2 (0.82 - 0.73) \times 153,330] + [((0.82 - 0.73) \\
 &\quad + 1/2 (0.85 - 0.82) \times 159,480] + [((0.85 - 0.73) \\
 &\quad + 1/2 (0.90 - 0.85)) \times 162,773] \\
 &= 6,899.85 + 16,745.40 + 23,602.09 \\
 &= 47,243.34 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$

ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี = ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าช่วง 3 เดือน X

จำนวนรอบของการทำความระเหย

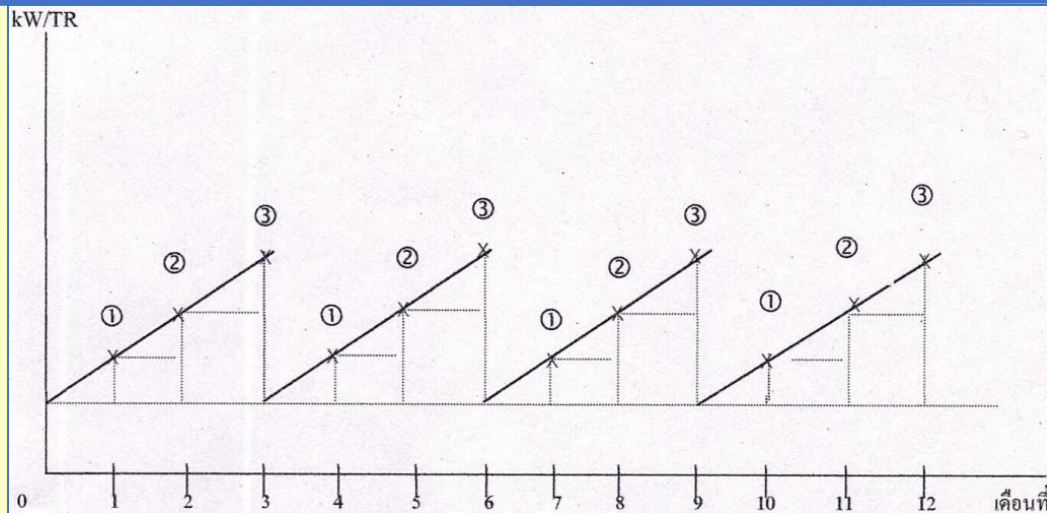
$$= 47,243.34 \times 4$$

$$= 188,989.36 \quad \text{kWh}$$



การวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากที่สุดต้องหาค่า kW/TR เฉลี่ยทุกๆ เดือน จาก LOG SHEET และหาค่าต้นทุนค่าความเย็นในแต่ละเดือนตลอดทั้งปี ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นการทำที่ยุ่งยากมาก และบางแห่งอาจจะไม่ได้บันทึกค่าต่างๆ อย่างดี





$$\begin{aligned}
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี} = & \quad [(\frac{1}{2} \times (\text{kW/TR}_1 - \text{kW/TR}_0)) \times \text{TR}_1] + \\
 & \quad [((\text{kW/TR}_1 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_2 - \text{kW/TR}_1)) \times \\
 & \quad \text{TR}_2] + [((\text{kW/TR}_2 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_3 - \text{kW/TR}_2)) \\
 & \quad \times \text{TR}_3] + [(\frac{1}{2} (\text{kW/TR}_4 - \text{kW/TR}_0)) \times \text{TR}_4] + \\
 & \quad [((\text{kW/TR}_4 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_5 - \text{kW/TR}_4)) \times \\
 & \quad \text{TR}_5] + [((\text{kW/TR}_5 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_6 - \text{kW/TR}_5)) \\
 & \quad \times \text{TR}_6] + [\frac{1}{2} (\text{kW/TR}_7 - \text{kW/TR}_0) \times \text{TR}_7] + \\
 & \quad [((\text{kW/TR}_7 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_8 - \text{kW/TR}_7)) \times \text{TR}_8] \\
 & \quad + [(\text{kW/TR}_8 - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_9 - \text{kW/TR}_8)) \\
 & \quad \times \text{TR}_9] + [\frac{1}{2} (\text{kW/TR}_{10} - \text{kW/TR}_0) \times \text{TR}_{10}] + [((\text{kW/TR}_{10} \\
 & \quad - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_{11} - \text{kW/TR}_{10})) \times \text{TR}_{11}] \\
 & \quad + [((\text{kW/TR}_{11} - \text{kW/TR}_0) + \frac{1}{2} (\text{kW/TR}_{12} - \text{kW/TR}_{11})) \\
 & \quad \times \text{TR}_{12}]
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 9 ค่า kW/TR เฉลี่ยหลังจากทำความสะอาด (จากการตรวจวัด) = 0.73 kW/TR

จากตารางที่ 13 ค่า kW/TR เฉลี่ยของแต่ละเดือน จาก LOG SHEET

$$\text{kW/TR}_1 = 0.82 \quad , \quad \text{kW/TR}_2 = 0.85$$



kW/TR ₃	=	0.90	,	kW/TR ₄	=	0.79
kW/TR ₅	=	0.83	,	kW/TR ₆	=	0.89
kW/TR ₇	=	0.84	,	kW/TR ₈	=	0.88
kW/TR ₉	=	0.92	,	kW/TR ₁₀	=	0.81
kW/TR ₁₁	=	0.86	,	kW/TR ₁₂	=	0.95

จากตารางที่ 13 ค่าต้นทุนค่าความเย็นของแต่ละเดือน จาก LOG SHEET

TR ₁	=	153,330 ,	TR ₂	=	159,480
TR ₃	=	162,773 ,	TR ₄	=	162,500
TR ₅	=	160,344 ,	TR ₆	=	157,920
TR ₇	=	151,938 ,	TR ₈	=	152,420
TR ₉	=	150,136 ,	TR ₁₀	=	148,930
TR ₁₁	=	145,210 ,	TR ₁₂	=	143,200

$$\begin{aligned}
 \text{ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งปี} &= \left[\frac{1}{2} (0.82 - 0.73) \times 153,330 \right] + \left[((0.82 - 0.73) \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} (0.85 - 0.82)) \times 159,480 \right] + \left[((0.85 - 0.73) \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} (0.90 - 0.85) \times 162,773 \right] + \left[\frac{1}{2} (0.79 - 0.73) \right. \\
 &\times 162,500 \left. \right] + \left[((0.79 - 0.73) + \frac{1}{2} (0.83 - 0.79)) \right. \\
 &\times 160,344 \left. \right] + \left[(0.83 - 0.73) + \frac{1}{2} (0.89 - 0.83)) \right. \\
 &\times 157,920 \left. \right] + \left[\frac{1}{2} (0.84 - 0.73) \times 151,938 \right] \\
 &+ \left[((0.84 - 0.73) + \frac{1}{2} (0.88 - 0.84)) \times 152,420 \right] \\
 &+ \left[((0.88 - 0.73) + \frac{1}{2} (0.92 - 0.88)) \times 150,136 \right] \\
 &+ \left[\frac{1}{2} (0.81 - 0.73) \times 148,930 \right] + \left[((0.81 - 0.73) \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} (0.86 - 0.81)) \times 145,210 \right] + \left[(0.86 - 0.73) \right. \\
 &+ \left. \frac{1}{2} (0.95 - 0.86)) \times 143,200 \right] \\
 &= 6,899.85 + 16,745.4 + 23,602.09 + 4,875 \\
 &+ 12,827.52 + 20,529.60 + 8,356.59 + 19,814.60 \\
 &+ 25,523.12 + 5,957.2 + 15,247.05 + 25,060 \\
 &= 185,438.02 \quad \text{kWh}
 \end{aligned}$$

