รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประเมินประสิทธิภาพระบบทำความเย็นสำหรับปรับอากาศในโรงงาน

Evaluate the efficiency of the chiller system for air-conditioning in factory

นางสาวภัคจิรา ปาณัฐโยธิน

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การประเมินประสิทธิภาพระบบทำความเย็นสำหรับปรับอากาศในโรงงาน

ชื่อ - สกุล นักศึกษา นางสาวภัคจิรา ปาณัฐโยธิน

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ - สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.ภรณ์เพ็ญ ลภิรัตนากูล

ชื่อ - สกุล ผู้นิเทศงาน นายเด่น จันทร์ทองอ่อน

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟ็คเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงงานสหกิจศึกษาเรื่องนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นและเสนอแนวทางการปรับปรุงเพื่อประหยัดการใช้พลังงานของโรงงาน โดยทำการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำระบายความร้อน อุณหภูมิน้ำเข้า-ออกที่เครื่องทำความเย็น, หอผึ่งเย็นและวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น เครื่องสูบน้ำ หอผึ่งเย็น รวมถึงวิเคราะห์ระบบทำความเย็นทั้งระบบและเสนอแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงพลังงานและได้ปรับแก้โปรแกรมการคำนวณประสิทธิภาพระบบทำความเย็นของกระทรวงพลังงานให้เหมาะกับการใช้งานสำหรับโรงงานมากขึ้น จากผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบทำความเย็นของอาคาร 1 อยู่ในเกณฑ์ ดี แต่ยังสามารถปรับปรุงเพิ่มได้อีกโดยการทำความสะอาดเครื่องระเหยและหอผึ่งเย็น เพื่อให้สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีขึ้น ขณะที่ระบบทำความเย็นของอาคาร 2 อยู่ในเกณฑ์ ต้องการปรับปรุง แนวทางการปรับปรุงสำหรับอาคาร 2 จะนำเสนอเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือเปิดเครื่องทำความเย็น 3 เครื่องเหมือนเดิม แต่เพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นโดยการทำความสะอาดอุปกรณ์ในระบบ รูปแบบที่ 2 คือเสนอให้ปรับตั้งอุณหภูมิตามผู้ออกแบบ, ลดการเดินเครื่องทำความเย็นลง 1 เครื่องขณะที่ได้รับปริมาณความเย็นเท่าเดิมและทำการปรับปรุงเครื่องอัดให้มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 80% เนื่องจากปัจจุบันอาคารที่ 2 มีความต้องการใช้ความเย็น 775.71 ton ขณะที่พิกัดเครื่องทำความเย็นรวมกัน 3 เครื่อง อยู่ที่ 1,350 ton ซึ่งมากกว่า 1.74 เท่า และระบบทำความเย็นของอาคาร 3 อยู่ในเกณฑ์ ต้องการปรับปรุง แนวทางการปรับปรุงสำหรับอาคาร 3 คือ ทำความสะอาดสเตรนเนอร์ของเครื่องสูบน้ำและเสนอให้ซื้อเครื่องทำความเย็นใหม่ที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานมากขึ้น หากโรงงานได้ทำตามข้อเสนอทั้ง 3 อาคาร จะสามารถประหยัดพลังงานลงประมาณ 3.99% ของค่าใช้จ่ายด้านระบบทำความเย็นของโรงงานหรือคิดเป็นมูลค่า 199,341.02 บาท/เดือน ซึ่งผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจปรับปรุงระบบทำความเย็นของโรงงานต่อไป

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพระบบทำความเย็น, เครื่องทำความเย็น, การประหยัดพลังงาน, เกณฑ์มาตรฐานระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operation Title	Evaluate the efficiency of the chiller system for air-conditioning in factory
Student Intern Name	Miss Pakjira Panutyothin
Faculty Engineering	**Department** Mechanical Engineering
Advisor Name	Asst. Prof. Dr.Ponepen Laphirattanakul
Mentor Name	Mr.Dan Chunthong-orn
Company	Essilor Manufacturing (Thailand) Co.,Ltd

Abstract

The objective of this co-operative education project is to analyze the efficiency and suggest improvement of the chiller system. The methodology is consisted of measuring the water flow rate, the temperature of water in-out at the chiller, cooling tower, and the input power for analyzing the efficiency of the chiller, pump, cooling tower, leading to chiller plant efficiency. In addition, the analyzing calculation program developed by the Ministry of energy was modified suit to the chiller system. From the analysis, it was found that the chiller system of plant 1 is in good level. The further suggestion for better efficiency is to clean evaporator and cooling tower resulting in increasing heat transfer. The chiller system for plant 2 is in need improvement level. The suggestion will suggest 2 options. Option 1 is to operate 3 chillers simultaneously, but increase plant efficiency by cleaning system. Option 2 is to turn the working condition tolerating with the standard, as well as reduce 1 chiller operation and overhauling compressor to 80% for minimum efficiency. And the chiller system for plant 3 is in need improvement level. The suggest solution is cleaning pump strainer and suggesting to buy a smaller size of chiller suit for the plant requirement. According to these suggestions, saving is approximately 3.99% of the current system cost or 199,341.02 baht/month. This suggestion solution can be used as a supplemental information for decision to improve the chiller system of the factory.

Keywords : chiller efficiency, system, chiller, energy saving, standard for chiller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากบุคคลหลายฝ่ายที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และคอยช่วยเหลือเกี่ยวกับการดำเนินงานในด้านต่างๆ ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ภรณ์เพ็ญ ลภิรัตนากูล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณเด่น จันทร์ทองอ่อน และบริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟ็คเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความสนับสนุน คำแนะนำ และประสบการณ์การทำงานจนทำให้ผู้ศึกษาสามารถทำการศึกษาในครั้งนี้ได้อย่างถูกต้องและสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ติดต่อและประสานกับบริษัทตลอดการทำโครงการสหกิจศึกษา

ภัคจิรา ปาณัฐโยธิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)	4
2.2 เครื่องทำความเย็น (Chiller)	8
2.3 เครื่องสูบน้ำ (Water Pump)	11
2.4 หอผึ่งเย็น (Cooling Tower)	13
2.5 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)	14
2.6 สารทำความเย็น (Refrigerants)	15
2.7 มาตรฐานการใช้ไฟฟ้า	16
2.8 ASHRAE Standard	17
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย **24**

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบทำความเย็น 24

3.2 การเก็บข้อมูล 27

3.3 การคำนวณ 33

3.4 การวิเคราะห์และเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็น 34

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย **35**

4.1 การวิเคราะห์ช่วงเวลาทำงานจากการใช้ไฟฟ้าของระบบทำความเย็น (kW) 35

4.2 การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น 38

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ **74**

5.1 สรุปและอภิปรายผล 74

5.2 ข้อเสนอแนะ 75

บรรณานุกรม **76**

ภาคผนวก **78**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ	3
2.1 มาตรฐานการใช้ไฟฟ้าต่อตันความเย็นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม	16
2.2 มาตรฐานอุณหภูมิออกแบบของเครื่องระเหย	18
2.3 มาตรฐานอุณหภูมิออกแบบของเครื่องควบแน่น	18
2.4 มาตรฐานการตรวจสอบเครื่องทำความเย็น	19
2.5 มาตรฐานการตรวจสอบหอผึ่งเย็น	21
2.6 มาตรฐานการตรวจสอบเครื่องสูบน้ำ	22
3.1 ตารางข้อมูลของเครื่องทำความเย็นที่วิเคราะห์	26
3.2 ตารางบันทึกข้อมูลของเครื่องทำความเย็น	27
4.1 ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและพลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำความเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ	39
4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สภาวะจริงและสภาวะมาตรฐานของอาคาร 1	40
4.3 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง	41
4.4 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานต่ำ	42
4.5 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานสูง	45
4.6 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานต่ำ	46
4.7 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง	49
4.8 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหอผึ่งเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง	50
4.9 มาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร 1	54
4.10 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สภาวะจริงและสภาวะมาตรฐานสำหรับอาคาร 2	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.11 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2 56

4.12 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำของอาคาร 2 59

4.13 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหอผึ่งเย็นของอาคาร 2 60

4.14 มาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร 2 64

4.15 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สภาวะจริงและสภาวะมาตรฐานสำหรับอาคาร 3 65

4.16 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3 66

4.17 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำของอาคาร 3 69

4.18 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหอผึ่งเย็นของอาคาร 3 70

4.19 มาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร 3 72

4.20 มาตรการประหยัดพลังงานระบบทำความเย็นของโรงงาน 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพระบบทำความเย็น	4
2.2 แผนภาพวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	6
2.3 T-s และ P-h ไดอะแกรมของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ อุดมคติ	7
2.4 เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ	8
2.5 เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ	8
2.6 เครื่องทำความเย็นแบบอาศัยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Chiller)	9
2.7 เครื่องทำความเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Chiller)	9
2.8 เครื่องทำความเย็นแบบสกรู (Screw chiller)	10
2.9 เครื่องทำความเย็นแบบสโครล์ (Scroll chiller)	10
2.10 ลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)	11
2.11 เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี่ (Rotary pump)	12
2.12 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ (Reciprocating pump)	12
2.13 หอผึ่งเย็นแบบสวนทาง (Counter Flow)	13
2.14 หอผึ่งเย็นแบบตั้งฉาก (Cross Flow)	13
2.15 Fan Coil Unit	14
2.16 Air Handling Unit	14
2.17 สารทำความเย็น (Refrigerants)	15
2.18 ASHRAE COP classification	17
3.1 ผังการดำเนินงานวิจัย	24
3.2 ระบบท่อของระบบทำความเย็นของอาคาร 1	25
3.3 ระบบท่อของระบบทำความเย็นของอาคาร 2	25
3.4 ระบบท่อของระบบทำความเย็นของอาคาร 3	26
3.5 การดึงข้อมูลจากเครื่องทำความเย็น	28
3.6 การวัดอัตราการไหลน้ำเย็นด้วยเครื่อง Ultrasonic flow meter	28
3.7 การวัดอัตราการไหลน้ำหล่อเย็นด้วยเครื่อง Ultrasonic flow meter	30
3.8 เครื่อง Weather Station sensor	31
3.9 การตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เบซิ่นของหอผึ่งเย็นด้วยเครื่อง Thermometer	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.10 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็น (ระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ) 33

4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลาของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา 35

4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลาของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ 36

4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลาของอาคาร 2 36

4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลาของอาคาร 3 37

4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา 43

4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา 43

4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา 44

4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ 47

4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา 47

4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ 48

4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเครื่องสูบน้ำ ของอาคาร 1 49

4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cooling Tower Approach Temperature กับหอผึ่งเย็น ของอาคาร 1 50

4.13 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง 51

4.14 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานต่ำ 51

4.15 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานสูง 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.16 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานต่ำ 52

4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (tons), กำลังไฟฟ้า (kW) กับเครื่องทำความเย็น ของอาคาร 1 53

4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2 57

4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2 57

4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2 58

4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเครื่องสูบน้ำ ของอาคาร 2 59

4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cooling Tower Approach Temperature กับหอผึ่งเย็นของอาคาร 2 60

4.23 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 2 ช่วงภาระการทำงานสูง 61

4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (tons), กำลังไฟฟ้า (kW) กับเครื่องทำความเย็น ของอาคาร 2 62

4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3 67

4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3 67

4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3 68

4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเครื่องสูบน้ำ ของอาคาร 3 69

4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cooling Tower Approach Temperature กับหอผึ่งเย็นของอาคาร 3 71

4.30 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 3 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมอโลหะ [1] เป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจไทย สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการขยายตัวอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านการบริโภคภายในประเทศและการส่งออก เนื่องจากยังมีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมอโลหะในปริมาณที่สูง ส่งผลให้อุตสาหกรรมอโลหะยังเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศที่รัฐบาลควรให้การส่งเสริมและสนับสนุน เพื่อให้มีศักยภาพที่สามารถแข่งขันกับต่างประเทศในเวทีการค้าโลกได้อย่างต่อเนื่องในระยะยาว อีกทั้งหากพิจารณาเพิ่มเติมในด้านพลังงานอุตสาหกรรมอโลหะ ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับการใช้พลังงานต่อไปตามการขยายตัวของเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาแนวทางที่จะส่งเสริมและสนับสนุนให้อุตสาหกรรมมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ในฐานะผู้รับผิดชอบในการบริหารการจัดการการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม ถือว่าเป็นยุทธศาสตร์และภารกิจที่สำคัญที่จะดำเนินการให้อุตสาหกรรมกลุ่มนี้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยมีพรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 เป็นแนวทางในการดำเนินการ แนวทางการสนับสนุนที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) นำมาใช้เพื่อกระตุ้นให้สถานประกอบการทราบถึงสถานภาพและประสิทธิภาพการใช้พลังงานคือการวิเคราะห์ถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตและยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของดัชนีวัดการอนุรักษ์พลังงานของแต่ละสถานประกอบการได้ และผลของการศึกษาจะสามารถกำหนดแนวทางการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับอุตสาหกรรมอโลหะนั้นได้

บริษัทเอสซีลอร์ แมนูแฟ็คเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด เป็นบริษัทออกแบบและผลิตเลนส์แว่นตาให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งกระบวนการการผลิตเลนส์แว่นตาจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในห้อง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพกับเลนส์แว่นตามากที่สุด ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือนมีค่าสูงมาก เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่าระบบทำความเย็นมีการใช้ไฟฟ้า 20% ของค่าไฟฟ้าทั้งหมด โดยคิดเป็นมูลค่าสูงถึง 5 ล้านบาทต่อเดือน ทางบริษัทจึงเห็นความสำคัญในการลดการใช้พลังงานของระบบทำความเย็น โดยการศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นและทำการปรับปรุงระบบทำความเย็นที่ทำงานอยู่ในสภาวะผิดปกติ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานของบริษัทและเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายของบริษัทได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นของโรงงาน

1.2.2 เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็นเพื่อประหยัดการใช้พลังงาน

1.3 ขอบเขตของการดำเนินงาน

1.3.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นของอาคาร 1, 2 และ 3 บริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟ็คเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด

1.3.2 ระบบทำความเย็นเป็นแบบอัดไอ ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller) ใช้เครื่องทำความเย็นแบบอาศัยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Chiller)

1.3.3 ค่าอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกเครื่องทำความเย็น กำหนดไว้ที่ประมาณ 47±3 ºF

1.3.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น วิเคราะห์เฉพาะเครื่องทำความเย็นที่เดินเครื่องเท่านั้น

1.3.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพหอผึ่งเย็น กำหนดให้อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าหอผึ่งเย็นเท่ากับอุณหภูมิน้ำขาออกเครื่องควบแน่น

1.3.6 ค่าไฟฟ้าบาทต่อหน่วยของโรงงาน 3.31 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

1.3.7 กำหนดให้ค่า safety factor เท่ากับ 0.7

1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบทำความเย็นของโรงงาน

1.4.2 วางแผนและเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

1.4.3 คำนวณประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

1.4.4 วิเคราะห์และเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็นของโรงงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 โรงงานสามารถลดการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นได้

1.5.2 โรงงานสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และตัดสินใจในการปรับปรุงระบบทำความเย็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ลำดับ	หัวข้องาน	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ปรึกษาหัวข้อโครงงานวิจัยกับผู้ดูแล																
2	เสนอหัวข้อโครงงานกับอาจารย์ที่ปรึกษา																
3	ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																
4	ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของโรงงาน																
5	วัดค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบทำความเย็นและทำการคำนวณ																
6	วิเคราะห์และเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็น																
7	สรุปผลและอภิปรายผล																
8	จัดทำรูปเล่มโครงงาน																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับโครงงานฉบับนี้ เพื่อให้ตรงตามจุดประสงค์ที่คาดว่าจะได้รับ ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึง

2.1 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)

2.2 เครื่องทำความเย็น (Chiller)

2.3 เครื่องสูบน้ำเย็น (Water Pump)

2.4 หอผึ่งเย็น (Cooling Tower)

2.5 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)

2.6 สารทำความเย็น (Refrigerant)

2.7 มาตรฐานการใช้ไฟฟ้า

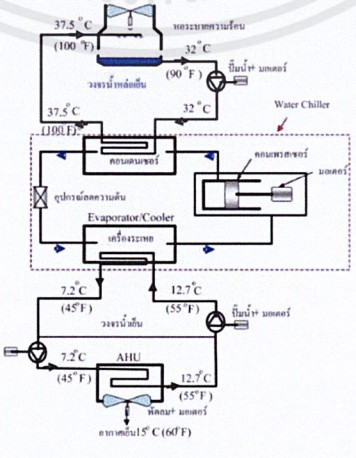
2.8 ASHRAE Standard

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบทำความเย็น (Refrigeration System)

การทำความเย็น [2] เป็นการดูดความร้อนออกจากวัตถุหรืออากาศ เพื่อรักษาให้อุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอก อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นี้คือ เครื่องทำความเย็น (Refrigerator) และมีสารทำความเย็น (Refrigerant) ทำหน้าที่เป็นสารตัวกลางที่นำถ่ายความร้อนออกไป

2.1.1 หลักการทำงานของระบบทำความเย็น



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบทำความเย็น [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนไฟฟ้าให้เครื่องอัด เครื่องอัดจะดูดไอสารทำความเย็นจากเครื่องระเหยและอัดส่งไปที่เครื่องควบแน่น ที่เครื่องระเหยสารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิต่ำ สารทำความเย็นจะดูดความร้อนจากน้ำเย็นที่ไหลผ่านเครื่องระเหยและระเหยกลายเป็นไอ ในขณะเดียวกันที่เครื่องควบแน่นสารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิสูง ความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นทำให้สารทำความเย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวที่ความดันสูง เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านวาล์วลดความดัน ความดันจะลดลงเท่ากับความดันที่เครื่องระเหย สารทำความเย็นก็จะไหลครบ **วัฏจักรสารทำความเย็น**

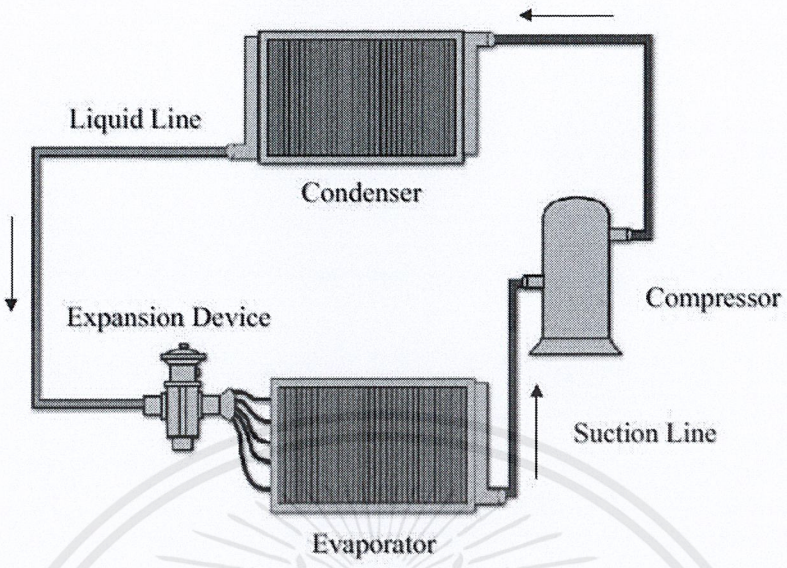
น้ำหล่อเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากเครื่องควบแน่นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นส่งไปที่หอผึ่งเย็น (Cooling Tower) ก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยการระเหย ทำให้น้ำที่เหลือเย็นลงและไหลกลับไปรับความร้อนที่เครื่องควบแน่นอีกทำให้ครบ **วัฏจักรน้ำหล่อเย็น**

น้ำเย็นเมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับเครื่องระเหยจะมีอุณหภูมิต่ำลง เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำเย็นส่งไปที่เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) ก็จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศทำให้น้ำร้อนขึ้นและไหลกลับไปถ่ายเทความร้อนให้กับเครื่องระเหยอีกทำให้ครบ **วัฏจักรน้ำเย็น**

เครื่องส่งลมเย็นจะดูดอากาศร้อนจากห้องปรับอากาศผ่านระบบท่อลมไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็น ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงแล้วส่งกลับไปที่ห้องปรับอากาศทำให้ครบ **วัฏจักรลมเย็น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การทำความเย็นแบบอัดไอ (Vapor Compression Cooling)



รูปที่ 2.2 แผนภาพวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ [4]

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ [4] ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ตัว คือ

1. เครื่องอัด (Compressor) ทำหน้าที่เพิ่มความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็น เครื่องอัดจะอัดไอสารทำความเย็นซึ่งมีความดันและอุณหภูมิต่ำให้สูงขึ้นเพื่อส่งไปยังเครื่องควบแน่น เครื่องอัดเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้สารทำความเย็นเกิดการไหลเวียนในระบบและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะระบายความร้อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

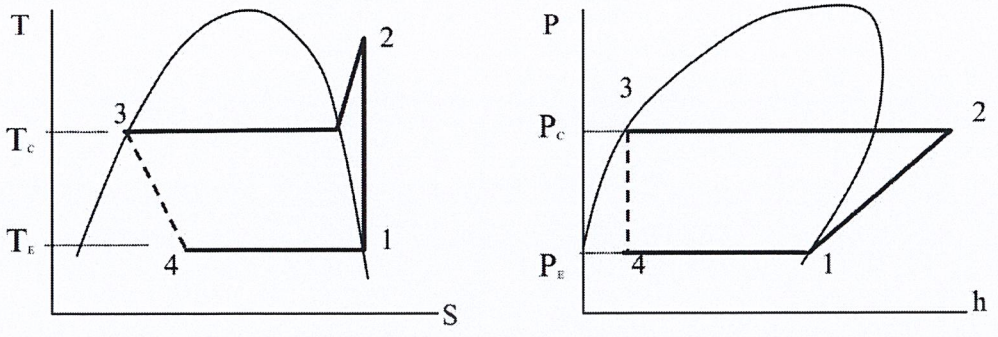
2. เครื่องควบแน่นหรือคอยล์ร้อน (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่มาจากเครื่องอัด โดยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอที่ความดันและอุณหภูมิสูงเป็นของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิสูง การระบายความร้อนอาจใช้วิธีระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำ

3. วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) ทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็นที่มาจากเครื่องควบแน่น โดยสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิสูงเป็นของผสมระหว่างของเหลวและไอที่ทีความดันและอุณหภูมิต่ำ ก่อนเข้าสู่เครื่องระเหย

4. เครื่องระเหยหรือคอยล์เย็น (Evaporator) ทำหน้าที่ดึงความร้อนจากอากาศ (หรือน้ำในกรณีของเครื่องทำความเย็น) ที่ผ่านเครื่องระเหย โดยสารทำความเย็นที่ไหลอยู่ภายในจะเปลี่ยนสถานะจากของผสมระหว่างของเหลวและไอที่ความดันและอุณหภูมิต่ำเป็นไอร้อนยิ่งยวดที่ความดันและอุณหภูมิใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 กระบวนการของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ [5]



รูปที่ 2.3 T-s และ P-h ไดอะแกรมของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ อุดมคติ [6]

โดยที T_C , T_H คือ อุณหภูมิอิ่มตัวด้านความดันสูง
(Condensing Temperature or Saturated Discharge Temperature)

T_E , T_L คือ อุณหภูมิอิ่มตัวด้านความดันต่ำ
(Evaporating Temperature or Saturated Suction Temperature)

P_C , P_H คือ ความดันด้านสูงหรือความดันในเครื่องควบแน่น
(High/Discharge/Condensing Pressure)

P_E , P_L คือ ความดันด้านต่ำหรือความดันในเครื่องระเหย
(Low/Suction/Evaporating Pressure)

1-2 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบ Isentropic Compression โดยเครื่องอัดจะทำการอัดสารทำความเย็นในสภาวะไออิ่มตัว ให้มีความดันเท่ากับความดันที่เครื่องควบแน่น

2-3 เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ความดันคงที่แบบย้อนกลับได้ โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะไอดงจะถูกทำให้อุณหภูมิต่ำลงจนเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นสถานะของเหลวอิ่มตัว

3-4 เป็นกระบวนการขยายตัวหรือกระบวนการลดความดัน โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะของเหลวจะถูกลดความดันลงมากลายเป็นของผสมระหว่างของเหลวและไอที่เครื่องระเหย

4-1 เป็นกระบวนการรับความร้อนที่ความดันคงที่ ซึ่งทำให้สารทำความเย็นเดือดจนกลายเป็นสถานะไออิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องทำความเย็น (Water Chiller)

เครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ ประกอบด้วย เครื่องอัด (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) วาล์วลดความดัน (Expansion Valve) และเครื่องระเหย (Evaporator) โดยมีสารทำความเย็นบรรจุอยู่ภายในวัฏจักรทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นส่งไปให้กับเครื่องส่งลมเย็น

2.2.1 ประเภทของเครื่องทำความเย็น แบ่งตามการระบายความร้อน [3]

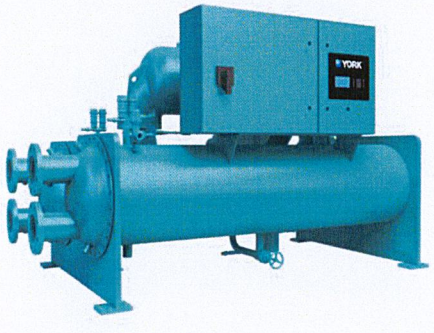
1. เครื่องทำความเย็น ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Chiller)

ขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 500 ตันความเย็น เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้งหรือระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4-1.6 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น

รูปที่ 2.4 เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ [7]

2. เครื่องทำความเย็น ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller)

ใช้สำหรับระบบที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำดีกว่าระบายความร้อนด้วยอากาศโดยจะอยู่ระหว่าง 0.62-0.75 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำต้องมีการติดตั้งหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) และเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) และต้องมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการสึกกร่อนและการเกิดตะกรันในระบบท่อ



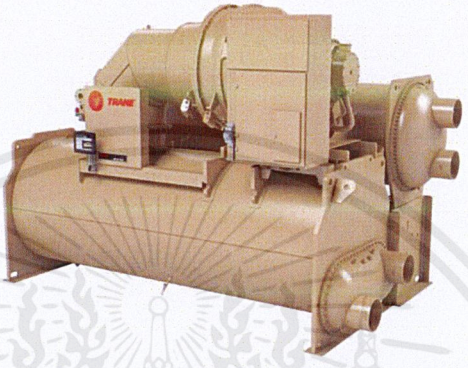
รูปที่ 2.5 เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ประเภทของเครื่องทำความเย็น แบ่งตามชนิดของเครื่องอัด [9]

1. เครื่องทำความเย็นแบบอาศัยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Chiller)

คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ใช้ได้ดีกับระบบเครื่องปรับอากาศและระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ มีโครงสร้างเป็นใบพัดและมีการดูดอัดสารทำความเย็นด้วยแรงเหวี่ยง โดยสารทำความเย็นในสถานะเป็นไอจะถูกดูดเข้ามาที่แกนกลางของคอมเพรสเซอร์และถูกเหวี่ยงตัวด้วยใบพัด ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง



รูปที่ 2.6 เครื่องทำความเย็นแบบอาศัยแรงเหวี่ยง (Centrifugal Chiller) [10]

2. เครื่องทำความเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Chiller)

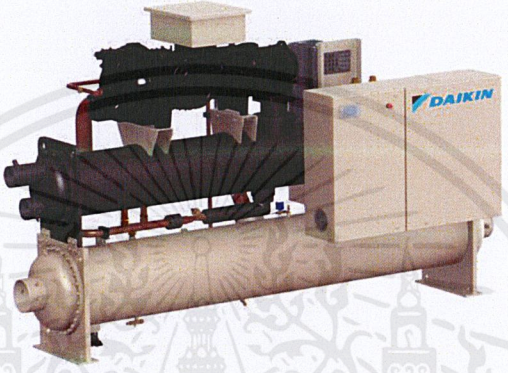
ส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กใช้ต้นกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยมีสายพานเป็นอุปกรณ์ถ่ายทอดกำลังงานไปสู่เครื่องอัดเพื่อให้ลูกสูบเคลื่อนที่อัดอากาศให้มีปริมาตรเล็กลงและความดันของอากาศสูงขึ้น เครื่องอัดอากาศประเภทนี้จะระบายความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของลูกสูบในจังหวะอัดแต่ละครั้งจะทำให้อากาศหรือแก๊สเกิดการอัดตัวขึ้น และการไหลของอากาศอัดจะมีลักษณะเป็นแบบห้วงๆ (pulsation) ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งเป็นผลเสียต่อระบบท่อส่ง เพราะอาจทำให้เกิดความดันย้อนกลับ ณ จุดที่มีการหักเลี้ยวในระบบท่อส่งได้ ทำให้ท่อส่งได้รับความเสียหายในภายหลัง

รูปที่ 2.7 เครื่องทำความเย็นแบบลูกสูบ (Reciprocating Chiller) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องทำความเย็นแบบสกรู (Screw chiller)

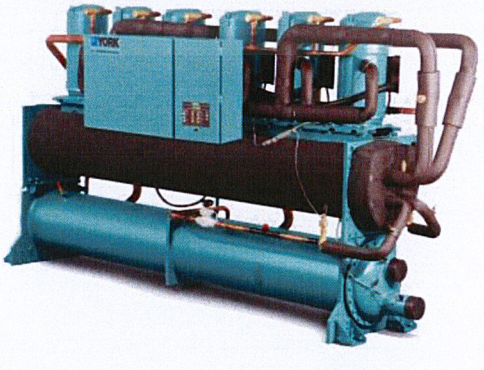
อาศัยการทำงานของสกรู 2 ตัวคือ สกรูตัวเมีย (Female Rotor) และสกรูตัวผู้ (Male Rotor) โดยสกรูตัวเมียจะอาศัยช่องเกลียวเป็นตัวเก็บสารทำความเย็น ส่วนสกรูตัวผู้จะใช้สันเกลียวรีดสารทำความเย็นออกตามแกนของสกรูทั้งสอง การทำงานของสกรูคือ ขณะที่เฟืองเริ่มหมุนสารทำความเย็นที่เป็นไอจะเข้าไปยังช่องว่างระหว่างเกลียว เมื่อสกรูหมุนต่อไปช่องทางจะถูกปิดโดยตัวเกลียว ทำให้สารทำความเย็นถูกอัดอยู่ภายในจนกระทั่งสารทำความเย็นนั้นไหลไปจนสุดร่องเกลียวแล้วจะถูกปล่อยออกไปทางช่องจ่ายสารทำความเย็นต่อไป



รูปที่ 2.8 เครื่องทำความเย็นแบบสกรู (Screw chiller) [12]

4. เครื่องทำความเย็นแบบสโครล์ (Scroll chiller)

มักจะใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นคอมเพรสเซอร์ที่สามารถขับเคลื่อนปริมาณของสารทำความเย็นได้มาก โดยการนำเอาข้อดีของคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบและแบบโรตารี่มารวมกันทำให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น การทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบสโครล์ อาศัยการทำงานของใบพัด 2 ชุด ที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่ ขับเคลื่อนโดยอาศัยความเร็วในการหมุนใบพัดเพื่อให้เกิดแรงดันภายในคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 2.9 เครื่องทำความเย็นแบบสโครล์ (Scroll chiller) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

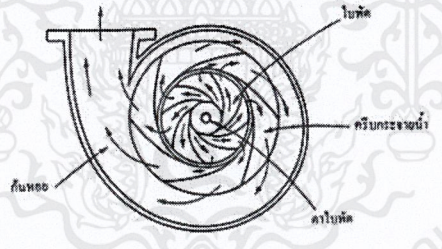
2.3 เครื่องสูบน้ำ (Water Pump) [14]

เป็นอุปกรณ์หลักในการขับเคลื่อนของเหลว (น้ำ) โดยการป้อนพลังงานเชิงกลเข้าไป ทำให้น้ำที่ถูกขับมีความดันสูงขึ้น ความดันดังกล่าวจะทำหน้าที่เอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากท่อ ข้อต่อ วาล์ว และอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามที่ต้องการ การขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำอาจจะใช้แรงจากคนหรือจะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ในระบบปรับอากาศนั้นจะพบเครื่องสูบน้ำได้ทั้งในระบบน้ำเย็นและระบบน้ำระบายความร้อน

2.3.1 ประเภทของเครื่องสูบน้ำ แบ่งตามลักษณะการทำงาน

1. เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)

ปั๊มประเภทนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายเช่น การสูบน้ำ นม สารละลายเคมี สารหล่อลื่น มีประสิทธิภาพในการสูบสูงถึง 90 % และทำงานที่ความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มเรียกว่าโรเตอร์ (rotor) หรือใบพัด (Impeller) จะเป็นตัวทำให้เกิดการขับดันของไหล ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฮดความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันสถิตย์ (Static pressure) ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับแกนเพลาแล้วถูกเหวี่ยงออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์

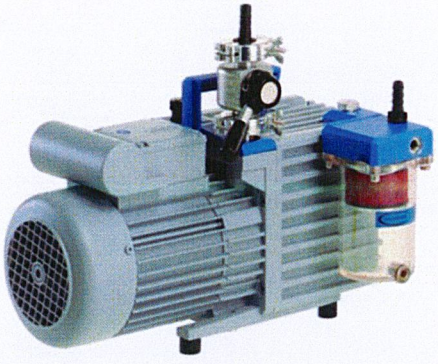


รูปที่ 2.10 ลักษณะของเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump) [14]

2. เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี่ (Rotary pump)

ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลวภายในห้องของตัวปั๊มด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบ ของเหลวจะถูกดูดเข้าและอัดทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย การหมุนของโรเตอร์จะก่อให้เกิดการแทนที่ของของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหลผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

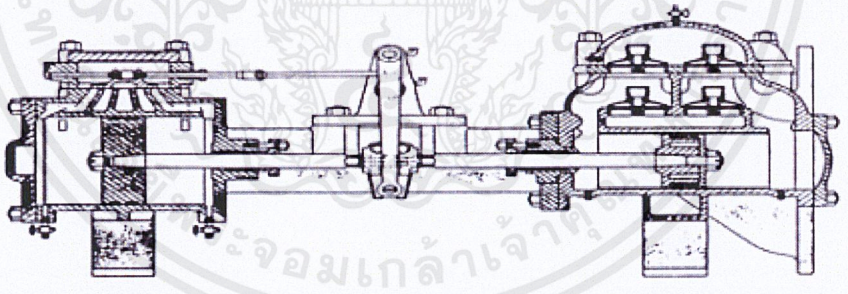
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี่ (Rotary pump) [15]

3. เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ (Reciprocating pump)

ปั๊มแบบลูกสูบจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเฮดในระบบสูง ของเหลวที่ใช้ปั๊มประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอ การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของสูบไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ



รูปที่ 2.12 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ (Reciprocating pump) [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

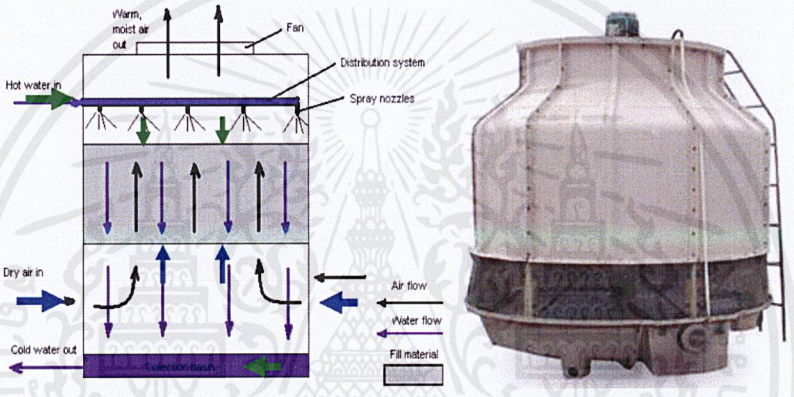
2.4 หอผึ่งเย็น (Cooling Tower) [16]

หอผึ่งเย็นทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น ดังนั้นปริมาณของน้ำหล่อเย็นที่ผ่านหอผึ่งเย็นจะมีปริมาณลดลงเนื่องจากการระเหย จึงต้องมีการเติมน้ำจากแหล่งน้ำภายนอกเข้าสู่หอระบายความร้อนเพื่อรักษาปริมาณน้ำในระบบให้คงที่

2.4.1 ประเภทของหอผึ่งเย็น แบ่งตามทิศทางการไหล

1. หอผึ่งเย็นแบบสวนทาง (Counter Flow)

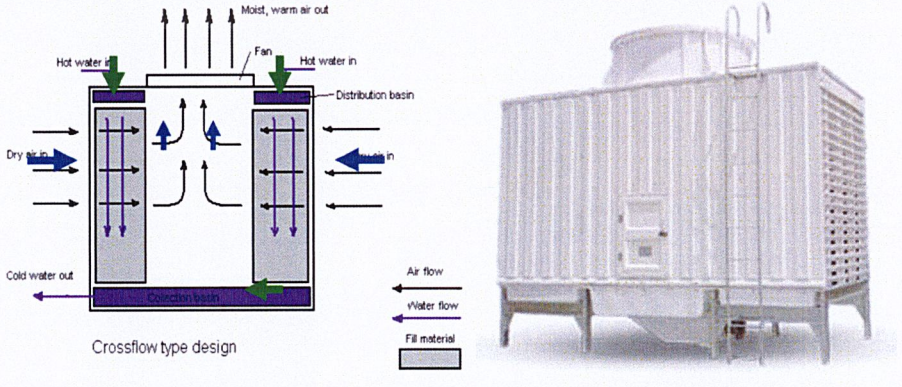
ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศแบบสวนทางกันในแนวดิ่ง ผ่านตัวกลางคือแผ่นชนวนกรอง แต่จะใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากกว่าแบบ Cross Flow ที่เป็นทรงเหลี่ยม



รูปที่ 2.13 หอผึ่งเย็นแบบสวนทาง (Counter Flow) [16]

2. หอผึ่งเย็นแบบตั้งฉาก (Cross Flow)

ใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศแบบสวนทางกันในแนวตั้งฉาก โดยน้ำจะไหลลงมาจากด้านบนในแนวดิ่งผ่านตัวกลางคือแผ่นชนวนกรอง ตัดกับอากาศที่ผ่านเข้ามาจากด้านข้าง ส่งผลให้อุณหภูมิความร้อนของน้ำลดลง มีขนาดเล็กกว่าแบบ Counter Flow เหมาะสำหรับติดตั้งในหน้างานที่มีพื้นที่จำกัด

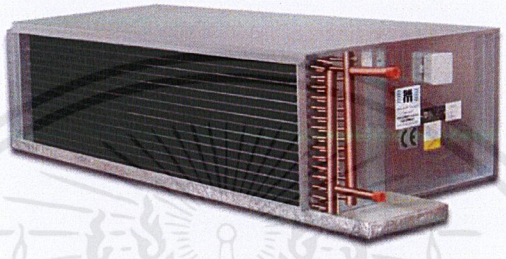


รูปที่ 2.14 หอผึ่งเย็นแบบตั้งฉาก (Cross Flow) [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) [17]

เครื่องส่งลมเย็นมีหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นที่มาจากเครื่องทำความเย็นกับอากาศส่งผลให้อากาศที่ผ่านออกไปมีอุณหภูมิต่ำลงและนำไปใช้เพื่อปรับอากาศต่อไป เครื่องส่งลมเย็นเป็นเครื่องชุดคอยล์ทำลมเย็นที่ประกอบด้วย พัดลม คอยล์ทำความเย็น แดมเปอร์และแผงกรองอากาศรวมอยู่ในตัวเครื่องเดียวกัน ขนาดเล็กเรียกว่า Fan Coil Unit, FCU ขนาดใหญ่เรียกว่า Air Handling Unit, AHU



รูปที่ 2.15 Fan Coil Unit [18]

รูปที่ 2.16 Air Handling Unit [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สารทำความเย็น (Refrigerants) [20]

สารทำความเย็น เป็นตัวกลางสำคัญในการทำให้เกิดความเย็น ด้วยคุณสมบัติในตัวเองที่สามารถดูดซับและนำพาความร้อนด้วยการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้เป็นไอ จากนั้นสามารถเปลี่ยนกลับมาเป็นของเหลวเพื่อเข้าสู่กระบวนการทำความเย็นอีกครั้งได้โดยไม่เสื่อมสถานะ

เมื่อสารทำความเย็นทำงานอยู่ในระบบทำความเย็น สารนี้จึงต้องมีคุณสมบัติมีเสถียรภาพในการทนความร้อน เปลี่ยนสถานะได้ดี ไม่มีสารผสมที่กัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยากับโลหะของระบบทำความเย็นเพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ทำความเย็นอื่นๆ และไม่ติดไฟง่ายเนื่องจากต้องรับความร้อนสูงที่อาจส่งผลให้เกิดการระเบิดได้

รูปที่ 2.17 สารทำความเย็น (Refrigerants) [21]

เครื่องทำความเย็นที่บริษัท เอสซีลอร์ แมนูแฟ็คเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด ใช้สารทำความเย็นชนิด R-123 และ R-134a

2.6.1 สารทำความเย็นชนิด R-123

สารทำความเย็นชนิด R-123 มีสูตรทางเคมีคือ $CHCl_2CF_3$ เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ต้องใช้เครื่องทำความเย็น (Chiller) เพื่อการปรับอากาศ

คุณสมบัติ

1. เป็นสารทำความเย็นที่มีค่าการทำลายโอโซนต่ำ (Low Ozone Depletion Potential)
2. เครื่องทำความเย็นที่ใช้สารทำความเย็น R-123 จะมีแรงดันต่ำกว่าบรรยากาศ ดังนั้นหากเกิดรูรั่วที่บริเวณเครื่องทำความเย็น สารทำความเย็นจะไม่รั่วออกสู่บรรยากาศ
3. จัดเป็นสารทำความเย็นที่มีความเป็นพิษต่ำมาก
4. ไม่ติดไฟ
5. มีอายุอยู่ในบรรยากาศน้อยที่สุด (ประมาณ 1 ปีครึ่ง) ทำให้สลายตัวก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมเมื่อเทียบกับสารทำความเย็นชนิดอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 สารทำความเย็นชนิด R-134a

สารทำความเย็นชนิด R-134a มีสูตรทางเคมีคือ CH_2FCF_3 โดยทั่วไปจะใช้ในระบบทำความเย็นที่มีอุณหภูมิปานกลางหรือระบบปรับอากาศ เช่น ระบบปรับอากาศในอาคาร รถยนต์หรือตู้เย็น

คุณสมบัติ

1. มีอุณหภูมิวิกฤตสูง ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี
2. เป็นสารทำความเย็นที่มีความบริสุทธิ์สูงและไม่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ
3. ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ติดไฟ
4. มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำมาก จึงสามารถทำความเย็นได้ดี

2.7 มาตรฐานการใช้ไฟฟ้า [22]

ประกาศกระทรวง เรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานในอาคาร พ.ศ. 2552 กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นขั้นต่ำสำหรับอาคารก่อสร้างหรือดัดแปลงที่มีพื้นที่รวมกันตั้งแต่ 2,000 ตารางเมตรขึ้นไป ตามกฎกระทรวง กำหนดประเภทหรือขนาดอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการใช้ไฟฟ้าต่อตันความเย็นของกรมโรงงานอุตสาหกรรม [22]

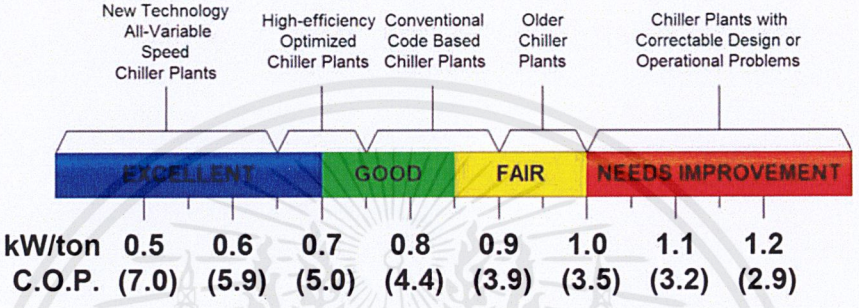
ประเภทเครื่องทำความเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ		ขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัดของเครื่องทำความเย็น (ตันความเย็น)	ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)
ชนิดการระบายความร้อน	แบบของเครื่องอัด		
ระบายความร้อนด้วยอากาศ	ทุกชนิด	น้อยกว่า 300	1.33
		มากกว่า 300	1.31
ระบายความร้อนด้วยน้ำ	แบบลูกสูบ	ทุกชนิด	1.24
	แบบโรตารี่ แบบสกรูหรือแบบสครอลล์	น้อยกว่า 150	0.89
		มากกว่า 150	0.78
	แบบแรงเหวี่ยง	น้อยกว่า 500	0.76
		มากกว่า 500	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ASHRAE Standard [23]

ASHRAE เป็นองค์กรที่มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาระบบทำความร้อน ระบบระบายอากาศ ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นประกอบอาคาร (Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration or HVAC&R) โดยการกำหนดมาตรฐานในการเขียนแบบในระบบต่างๆ

2.8.1 ASHRAE COP classification



รูปที่ 2.18 ASHRAE COP classification [23]

จากรูปที่ 2.18 เป็นมาตรฐานของระบบทำความเย็นที่บอกถึงระดับของประสิทธิภาพระบบทำความเย็นของโรงงาน เพื่อที่จะสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยที่	kW/ton	< 0.70	เกณฑ์ ดีมาก (Excellent)
	kW/ton	0.70 - 0.85	เกณฑ์ ดี (Good)
	kW/ton	0.85 - 1.00	เกณฑ์ ปานกลาง (Fair)
	kW/ton	> 1.00	เกณฑ์ ต้องการปรับปรุง (Need Improvement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระทรวงพลังงาน ได้จัดทำคู่มือการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ [24] เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับสถานประกอบการที่มีการใช้งานระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ และได้กำหนดมาตรฐานการใช้งานของระบบปรับอากาศต่างๆ เพื่อสามารถมีมาตรฐานเดียวกันทุกสถานประกอบการ ซึ่งมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับโครงงานเล่มนี้ มีดังนี้

2.9.1 มาตรฐานอุณหภูมิออกแบบของเครื่องระเหย

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานอุณหภูมิออกแบบของเครื่องระเหย [24]

การระบายความร้อน	อุณหภูมิอากาศหรือน้ำ (T_H)	ผลต่างอุณหภูมิสารและอากาศหรือน้ำ (ΔT_H)	อุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็น (T_C)	ความดันเกจของสารทำความเย็น R-22 (P_C)
ด้วยอากาศ	35°C (95°F) (อากาศเข้า)	11°C (20°F) ถึง 17°C (30°F)	46°C (115°F) ถึง 52°C (125°F)	1.67 MPa_g (242 psi_g) ถึง 1.93 MPa_g (280 psi_g)
ด้วยน้ำ	32°C (90°F) (น้ำเข้าระบาย)	ไม่เกิน 8°C (14°F)	ไม่เกิน 40°C (104°F)	ไม่เกิน 1433$_g$ (210 psi_g)

2.9.2 อุณหภูมิที่ใช้ออกแบบของเครื่องควบแน่น

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานอุณหภูมิออกแบบของเครื่องควบแน่น [24]

เครื่องปรับอากาศ	อุณหภูมิอากาศหรือน้ำ (T_L)	ผลต่างอุณหภูมิสารและอากาศหรือน้ำ (ΔT_L)	อุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็น (T_E)	ความดันเกจของสารทำความเย็น R-22 (P_E)
แบบใช้สารทำความเย็นโดยตรง	24°C (75°F) (พื้นที่ปรับอากาศ)	17°C (30°F) ถึง 20°C (36°F)	7°C (45°F) ถึง 4°C (39°F)	0.52 MPa_g (75 psig) ถึง 0.465 MPa_g (67 psi_g)
แบบทำน้ำเย็น	7°C (45°F) (น้ำเย็นออก)	ไม่สูงกว่า 3°C (5°F)	ไม่ต่ำกว่า 4°C (40°F)	ไม่ต่ำกว่า 0.465 MPa_g (67 psi_g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 มาตรฐานการตรวจสอบการใช้เครื่องทำความเย็น (Chiller)

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการตรวจสอบเครื่องทำความเย็น [24]

รายการ	มาตรฐานการตรวจสอบ	รายละเอียดการตรวจสอบ
1.อัตราการไหลของน้ำเย็น	2.4 GPM/TR ที่อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออกต่างกัน $10^{\circ}F$ และภาระเต็มพิกัด	เพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนสูงที่สุด ในกรณีที่ออกแบบที่ผลต่างอุณหภูมิสูงกว่า $10^{\circ}F$ อัตราการไหลของน้ำเย็นจะลดต่ำกว่า 2.4 GPM/TR
2.อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน	3.0 GPM/TR ที่อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าและออกต่างกัน $10^{\circ}F$ และภาระเต็มพิกัด	เพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นและน้ำระบายความร้อนสูงที่สุด
3.การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็น	สูงที่สุดเท่าที่จะทำได้ในขณะที่เครื่องทำงานต่ำกว่า 80%	การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นสูงขึ้นทุกๆ $1^{\circ}F$ ส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานที่เครื่องอัดไอประมาณ 1.5–2 %
4.การปรับตั้ง Current Limit Load	เครื่องอัดไอแบบแรงเหวี่ยงควรปรับตั้งในช่วง 80-95% หรือ ในจุดที่เครื่องมีค่า kW/TR สูงสุด	เกิดการประหยัดพลังงานขณะเริ่มเดินเครื่องและขณะที่เครื่องรับภาระสูง ทั้งนี้ต้องมีการตรวจวัดหาจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องที่ใช้งานอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการตรวจสอบเครื่องทำความเย็น (ต่อ)

รายการ	มาตรฐานการตรวจสอบ	รายละเอียดการตรวจสอบ
5.อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่เข้า	ควรจะต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศไม่เกิน 4-6°F	ถ้าทำให้อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็นลดลงทุกๆ 1°F ส่งผลให้เกิดการประหยัดพลังงานที่เครื่องอัดไอประมาณ 1.5-2 % โดยทดลองเปิดหอระบายความร้อนเพิ่มขึ้นหรือปรับปรุงหอระบายความร้อน
6.ผลต่างอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นและน้ำระบายความร้อนที่ออก	Condenser Approach Temperature ไม่เกิน 4-6 °F	ทำความสะอาดเครื่องควบแน่นสม่ำเสมอ และตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำเพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นในเครื่องควบแน่นและน้ำระบายความร้อนสูงที่สุด
7.ผลต่างอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากเครื่องและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นในเครื่องระเหย	Evaporator Approach Temperature ไม่เกิน 2-4 °F	ทำความสะอาดเครื่องระเหย หรือตรวจสอบปริมาณสารทำความเย็นและอัตราการไหลของน้ำเย็นเพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็น และน้ำเย็นสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.4 มาตรฐานการตรวจสอบการใช้หอผึ่งเย็น (Cooling Tower)

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานการตรวจสอบหอผึ่งเย็น [24]

รายการ	มาตรฐานการตรวจสอบ	รายละเอียดการตรวจสอบ
1.ผลต่างของอุณหภูมิน้ำที่ได้และอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าระบายความร้อน	อุณหภูมิน้ำที่ได้สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าระบายความร้อนไม่เกิน 4-6 ^{O}F	ถ้าสูงกว่ามากอาจเกิดจากความสกปรกของ Filler ปริมาณลมน้อยเกินไป ปริมาณน้ำมากเกินไปการกระจายน้ำไม่เต็มพื้นที่เนื่องจากรูกระจายน้ำตัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศลดต่ำลง หรืออาจเกิดจากลมที่เป่าทิ้งเกิดการหมุนวนกลับเข้ามาระบายความร้อน
2.อัตราการไหลของน้ำระบายความร้อน	ไม่มากเกินพิกัดการออกแบบหรือไม่เกิน 2.5 GPM/TR ของหอระบายความร้อน	ถ้าอัตราการไหลของน้ำมากกว่าอากาศจะส่งผลให้อุณหภูมิน้ำที่ได้สูง เพราะประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง กรณีหอระบายความร้อนแบบกลมรอบการหมุนของ Sprinkler Pipe จะต้องได้ตามพิกัด
3.อัตราการไหลของอากาศ	ไม่น้อยกว่าพิกัดการออกแบบ หรือไม่น้อยกว่า 180–250 CFM/TR	ถ้าอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไปจะระบายความร้อนให้กับน้ำได้น้อยลง ซึ่งอาจเกิดจากตะกรันเกาะ Filler มาก สายพานหย่อน รอบพัดลมลดลง
4.สภาวะอากาศที่เข้าระบายความร้อน	อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับอากาศแวดล้อม	อากาศที่ปล่อยทิ้งจะต้องไม่ย้อนกลับเข้ามาระบายความร้อน เพราะจะทำให้อุณหภูมิน้ำที่ได้สูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการติดตั้งHood เพื่อส่งลมหรือปรับมุมใบพัดให้ลมแรงขึ้น
5.สภาพ Filler และถาดน้ำหัวกระจายน้ำ	อายุการใช้งาน Filler ไม่เกิน 5 ปี ไม่กรอบเปื่อย รูกระจายน้ำไม่ตัน ถาดไม่แตก	ทำความสะอาด Filler และถาดน้ำรวมทั้งหัวกระจายน้ำเป็นประจำทุก 1 เดือน และเปลี่ยน Filler เมื่อหมดอายุการใช้งานเพื่อให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนดีอยู่ตลอดเวลาทำให้ได้อุณหภูมิน้ำที่ได้ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 มาตรฐานการตรวจสอบการใช้เครื่องสูบน้ำ (Water Pump)

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานการตรวจสอบเครื่องสูบน้ำ [24]

รายการ	มาตรฐานการตรวจสอบ	รายละเอียดการตรวจสอบ
1.มอเตอร์เครื่องสูบน้ำเคยไหม้หรือไม่	มอเตอร์ไหม้แต่ละครั้งประสิทธิภาพจะลดลง 2-4%	มอเตอร์เครื่องสูบน้ำที่มีขนาดต่ำกว่า10 แรงม้า เมื่อไหม้ควรเปลี่ยนใหม่โดยใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
2.ภาระการทำงานของมอเตอร์	ควรรับภาระที่ 80-90 %	ที่ภาระของมอเตอร์ต่ำกว่า 80 % ในทุก 10% จะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง 1% ดังนั้นควรสลับมอเตอร์หรือเปลี่ยนใหม่ให้มีขนาดเหมาะสม
3.เครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่แล้วทำการหรี่วาล์วน้ำ	เครื่องสูบน้ำควรมีขนาดเหมาะสม	การหรี่วาล์วน้ำจะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำลดต่ำลง ควรใช้วิธีลดรอบเครื่องสูบน้ำ หรือลดขนาดใบพัด หรือเปลี่ยนเครื่องสูบน้ำใหม่เมื่อหมดอายุการใช้งาน
4.การเลือกเปิดใช้งานเครื่องสูบน้ำ	เลือกเปิดใช้งานเครื่องสูบน้ำชุดที่มีค่า GPM/kW สูงสุดเป็นหลัก	เครื่องสูบน้ำที่มีอายุการใช้งานมาก ติดตั้งในตำแหน่งที่ต่างกัน ส่งผลให้สมรรถนะแต่ละชุดต่างกัน ดังนั้นควรเปลี่ยนการใช้งานจากสลับไปมาเป็นการเลือกเปิดใช้งานชุดที่มีสมรรถนะสูงสุดเป็นหลัก
5.การเลือกเปิดเครื่องสูบน้ำหลายๆ ชุดร่วมกัน	เลือกเปิดกลุ่มเครื่องสูบน้ำที่มี GPM/kW รวมสูงสุดเป็นหลัก	เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งในตำแหน่งที่ต่างกัน การเชื่อมต่อท่อแบบตัวที ขนาดเฮดเดอร์เล็ก เมื่อเดินพร้อมกันหลายชุด จะส่งผลให้สมรรถนะแต่ละกลุ่มแตกต่างกัน ดังนั้น ควรเลือกใช้งานกลุ่มที่มีสมรรถนะสูงสุดเป็นหลักแทนการสลับไปมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.6 มาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องทำความเย็น [24]

1. การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นโดยการเพิ่มความดันสารทำความเย็นด้านระเหย โดยทั่วไปในช่วงที่ภาระของเครื่องต่ำกว่า 80% สามารถปรับเพิ่มอุณหภูมิน้ำเย็นได้ประมาณ 1-3 °F โดยทุกๆ 1 °F ที่ปรับสูงขึ้นจะทำให้ค่า kW/ton ลดลงประมาณ 2-4%

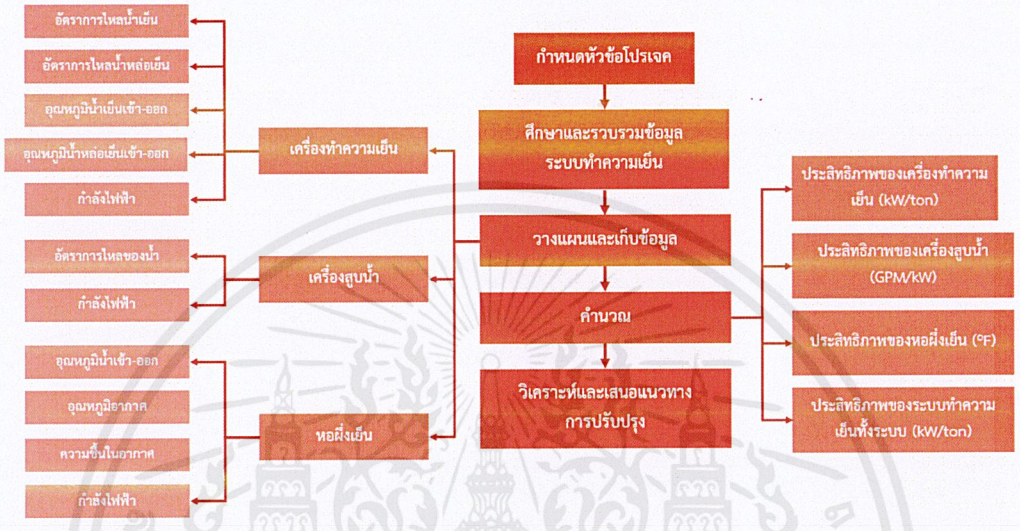
2. การลดความดันสารทำความเย็นด้านควบแน่น โดยการทำความสะอาดเครื่องควบแน่น ความถี่ในการล้างจะมากน้อย ขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวในเครื่องควบแน่น และอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่น (Condenser Approach Temperature) ซึ่งควรต่างกันไม่เกิน 2-3 °C (4-6 °F)

3. การลดความดันสารทำความเย็นด้านเครื่องควบแน่นโดยการเดินหอผึ่งเย็นเพิ่ม ระบบขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำระบายความร้อนควรทำความสะอาดเครื่องควบแน่นสม่ำเสมอ โดยควบคุมไม่ให้ผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวในเครื่องควบแน่นและอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากเครื่องควบแน่น (Condenser Approach Temperature) เกิน 2-3 °C (4-6 °F) นอกจากนั้น ควรปรับปรุงหรือเพิ่มจำนวนการเดินหอผึ่งเย็น เพื่อให้อุณหภูมิน้ำที่เข้าเครื่องควบแน่นต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยอุณหภูมิที่ได้จากหอผึ่งเย็นควรมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าหอผึ่งเย็นไม่เกิน 6 °F นอกจากนั้นควรควบคุมอัตราการไหลของน้ำระบายความร้อนที่เข้าเครื่องควบแน่นให้ได้ตามการออกแบบของผู้ผลิตหรือประมาณ 3.0 GPM/ton การที่สามารถทำให้อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนเข้าเครื่องควบแน่นมีอุณหภูมิต่ำลงทุก 1 °F จะส่งผลให้ kW/ton ลดลงประมาณ 1-3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 สามารถวางแผนวิธีการดำเนินงานวิจัยได้ 4 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ผังการดำเนินงานโครงงาน

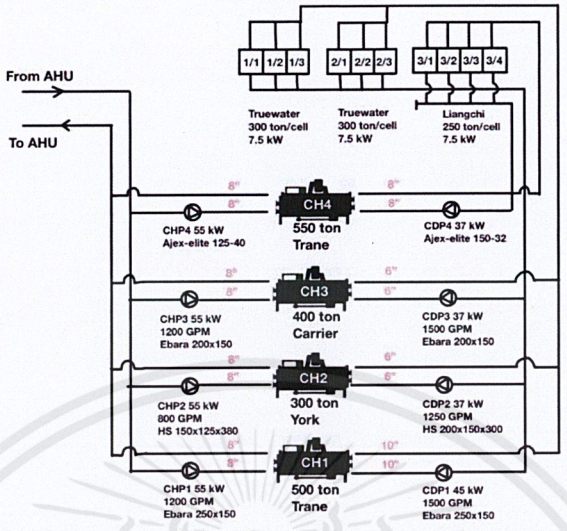
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลระบบทำความเย็น

3.1.1 ระบบทำความเย็นที่ใช้ในปัจจุบัน

เครื่องทำความเย็นที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำชนิดแรงเหวี่ยง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

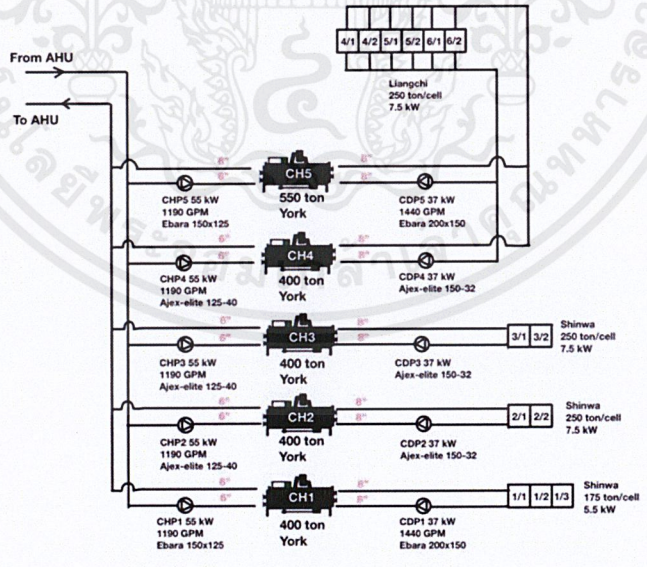
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคาร 1 เปิดใช้งานเครื่องทำความเย็น 2 เครื่อง, เครื่องสูบน้ำเย็น 2 เครื่อง, เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน 2 เครื่อง, หอผึ่งเย็น 10 เซลล์



รูปที่ 3.2 ระบบท่อของระบบทำความเย็นของอาคาร 1

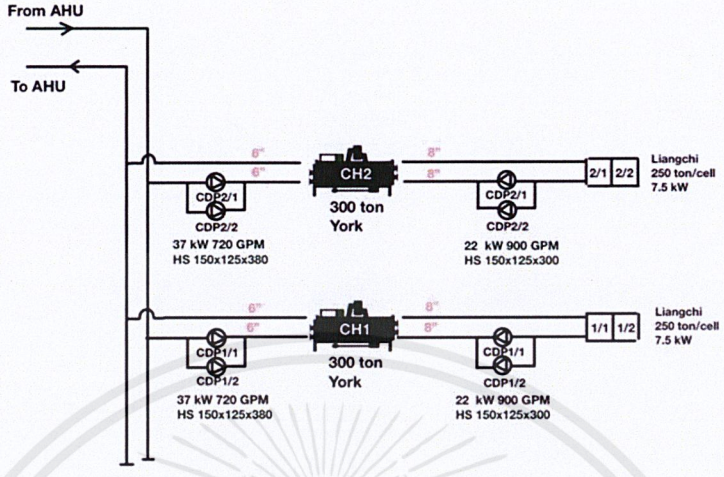
อาคาร 2 เปิดใช้งานเครื่องทำความเย็น 3 เครื่อง, เครื่องสูบน้ำเย็น 3 เครื่อง, เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน 3 เครื่อง, หอผึ่งเย็น 11 เซลล์



รูปที่ 3.3 ระบบท่อของระบบทำความเย็นของอาคาร 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคาร 3 เปิดใช้งานเครื่องทำความเย็น 1 เครื่อง, เครื่องสูบน้ำเย็น 1 เครื่อง, เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน 1 เครื่อง, หอผึ่งเย็น 2 เซลล์



รูปที่ 3.4 ระบบท่อของระบบทำความเย็นของอาคาร 3

- ข้อมูลเครื่องทำความเย็นที่วิเคราะห์

ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลของเครื่องทำความเย็นที่วิเคราะห์

	Capacity (ton)	Brand	Refrigerant	Power (kW)	Installation
EMTC 1					
CH 01	500	Trane	R-123	287	2013
CH 04	550	Trane	R-123	332	2014
EMTC 2					
CH 01	400	York	R-123	249	2012
CH 02	400	York	R-134a	276	2008
CH 05	550	York	R-134a	326	2015
EMTC 3					
CH 01	300	York	R-134a	218	2005

3.1.2 การใช้งานของระบบทำความเย็นในแต่ละอาคาร

รวบรวมข้อมูลจำนวนชั่วโมงการเปิดใช้งานเครื่องทำความเย็นและการเอาความเย็นไปใช้งานในแต่ละอาคาร ซึ่งอาคาร 1, 2 และ 3 มีการเปิดใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง แต่อาคาร 1 ในวันอาทิตย์จะมีการใช้งานที่น้อยกว่าปกติเนื่องจากมีบางแผนกที่หยุดงาน จึงมีการวิเคราะห์เพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลา 00:00 – 23:59 น. บันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทุกๆ 30 นาที

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกข้อมูลของเครื่องทำความเย็น

Time	load (%)	Evaporator				Condenser			Compressor Power (kW)	Efficiency (kW/ton)
		Temperature (°F)		Flow Rate Average (GPM)	Capacity (ton)	Temperature (°F)		Flow Rate Average (GPM)		
		Entering	Leaving			Entering	Leaving			

3.2.1 เครื่องทำความเย็น

3.2.1.1 พิจารณาเครื่องระเหย

1. ตัวแปรที่ต้องตรวจวัด

(1) อุณหภูมิของน้ำเย็นขาเข้าและขาออกเครื่องระเหย (°F)

(2) อุณหภูมิสารทำความเย็นที่อิ่มตัวเครื่องระเหย (°F)

(3) อัตราการไหลของน้ำเย็น (GPM)

(4) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 การดึงข้อมูลจากเครื่องทำความเย็น

รูปที่ 3.6 การวัดอัตราการไหลน้ำเย็นด้วยเครื่อง Ultrasonic flow meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สูตรการคำนวณ

(1) ความสามารถในการทำความเย็นจริง, Chiller Capacity (ton)

$$TR = \frac{Flow\ x\ \Delta T}{24}$$

โดยที่ $Flow$ คือ อัตราการไหลของน้ำเย็นที่ผ่านเครื่องระเหย (GPM)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าและขาออกเครื่องระเหย (°F)

(2) กำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton)

$$\frac{kW}{ton} = \frac{Power\ Consumption\ (kW)}{Chiller\ Capacity\ (ton)}$$

โดยที่ $Power\ Consumption$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง (kW)

$Chiller\ Capacity$ คือ ความสามารถในการทำความเย็นจริง (ton)

(3) Evaporator approach temperature (°F)

$$Evaporator\ Approach = T_{w,out} - T_{refri,evap}$$

โดยที่ $T_{w,out}$ คือ อุณหภูมิของน้ำเย็นขาออกเครื่องระเหย (°F)

$T_{refri,evap}$ คือ อุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวที่เครื่องระเหย (°F)

** ค่า Evaporator approach temperature ควรมีค่าไม่เกิน 2-4 °F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 พิจารณาเครื่องควบแน่น

1. ตัวแปรที่ต้องตรวจวัด

(1) อุณหภูมิของน้ำหล่อที่เข้า-ออกเครื่องควบแน่น (°F)

(2) อุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวที่เครื่องควบแน่น (°F)

(3) อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น (GPM)

รูปที่ 3.7 การวัดอัตราการไหลน้ำหล่อเย็นด้วยเครื่อง Ultrasonic flow meter

2. สูตรการคำนวณ

(1) Condenser approach temperature (°F)

$$Condenser\ Approach = T_{refri,cond} - T_{w,out}$$

โดยที่ $T_{refri,cond}$ คือ อุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวที่เครื่องควบแน่น (°F)

$T_{w,out}$ คือ อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออกเครื่องควบแน่น (°F)

** ค่า Condenser approach temperature ควรมีค่าไม่เกิน 4-6 °F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 เครื่องสูบน้ำ

1. ตัวแปรที่ต้องตรวจวัด

    (1) อัตราการไหลที่ผ่านเครื่องสูบน้ำ (GPM)

    (2) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)

2. สูตรการคำนวณ

    (1) ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (GPM/kW)

$$Efficiency = \frac{Flow}{Power}$$

โดยที่ $Flow$ คือ อัตราการไหลของน้ำ (GPM)

$Power$ คือ กำลังไฟฟ้าขาเข้า (kW)

3.2.3 หอผึ่งเย็น

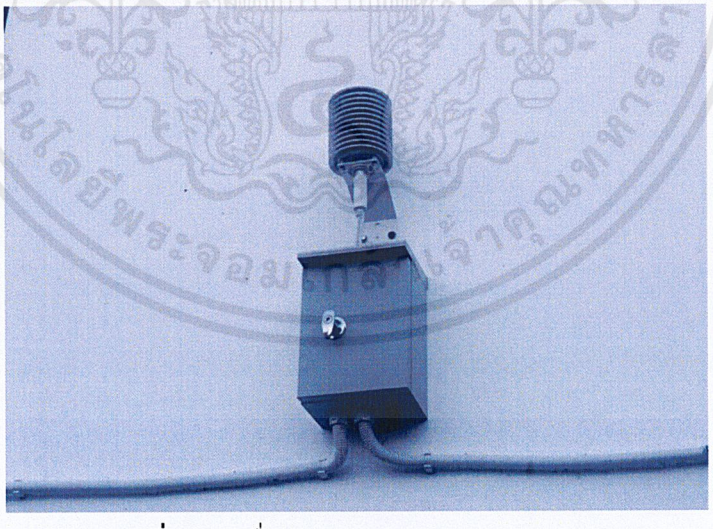
1. ตัวแปรที่ต้องตรวจวัด

    (1) อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้าและขาออกหอผึ่งเย็น (°F)

    (2) อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น (°F)

    (3) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า (%)

    (4) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)



รูปที่ 3.8 เครื่อง Weather Station sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 การตรวจวัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เบซิ่นของหอผึ่งเย็นด้วยเครื่อง Thermometer

2. สูตรการคำนวณ

(1) Range (°F)

$$Range = T_{w,in\ CT} - T_{w,out\ CT}$$

โดยที่ $T_{w,in\ CT}$ คือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ขาเข้าหอผึ่งเย็น (°F)

$T_{w,out\ CT}$ คือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ขาออกจากหอผึ่งเย็น (°F)

(2) Approach (°F)

$$Approach = T_{w,out\ CT} - T_{a,wb,in}$$

โดยที่ $T_{w,out\ CT}$ คือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออกจากหอผึ่งเย็น (°F)

$T_{a,wb,in}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น (°F)

* ค่า Approach ที่ดีไม่ควรเกิน 6 °F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) Thermal Efficiency (%)

$$\%\,Thermal\ Efficiency\ = \frac{T_{w,in\ CT} - T_{w,out\ CT}}{T_{w,in\ CT} - T_{a,wb,in}}\ x\ 100$$

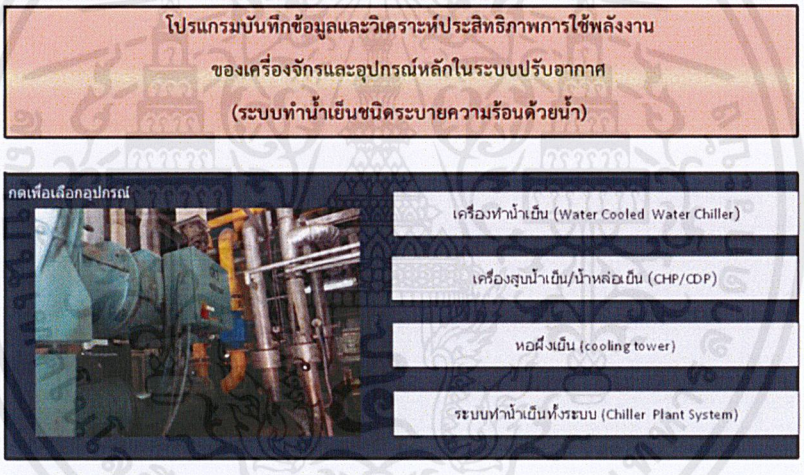
โดยที่ $T_{w,in\ CT}$ คือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้าหอผึ่งเย็น (ºF)

$T_{w,out\ CT}$ คือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออกจากหอผึ่งเย็น (ºF)

$T_{a,wb,in}$ คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น (ºF)

3.3 การคำนวณ

3.3.1 ใช้โปรแกรมการคำนวณประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นของกระทรวงพลังงาน [25] โดยนำมาปรับแก้ให้เหมาะกับการใช้งานของโรงงานมากขึ้น



รูปที่ 3.10 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในระบบทำความเย็น (ระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ) [25]

ในโปรแกรมจะสามารถคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น (kW/ton), เครื่องสูบน้ำเย็น (GPM/kW), หอผึ่งเย็น (%) และประสิทธิภาพระบบทำความเย็นทั้งระบบ (kW/ton) เพื่อวิเคราะห์ว่าระบบทำความเย็นของโรงงานอยู่ในเกณฑ์ไหน

3.3.2 แบ่งการคำนวณตามช่วงการใช้กำลังไฟฟ้า ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่าเครื่องทำความเย็นมีการใช้กำลังไฟฟ้า 2 แบบคือแบบกำลังไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกันจึงถือว่ามีช่วงการทำงานเดียวกันและแบบการใช้กำลังไฟฟ้า 2 ช่วง จะแบ่งเป็นช่วงภาระการทำงานสูงและภาระการทำงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์และเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็น

3.4.1 การวิเคราะห์ช่วงเวลาทำงานจากการใช้ไฟฟ้าของระบบทำความเย็น (kW)

เป็นการแบ่งช่วงเวลาการทำงานจากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำความเย็น โดยการแบ่งเป็นช่วงภาระการทำงานสูง (High Load) และช่วงเวลาการทำงานต่ำ (Low Load) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นในแต่ละช่วงภาระการทำงาน

3.4.2 การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบทำความเย็น และเสนอแนวทางการปรับปรุงให้ระบบทำความเย็นทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยแบ่งการวิเคราะห์เป็นดังนี้

3.4.1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น (kW/ton)

3.4.1.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (GPM/kW)

3.4.1.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น (°F)

3.4.1.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นทั้งระบบ (kW/ton)

3.4.1.5 เสนอแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

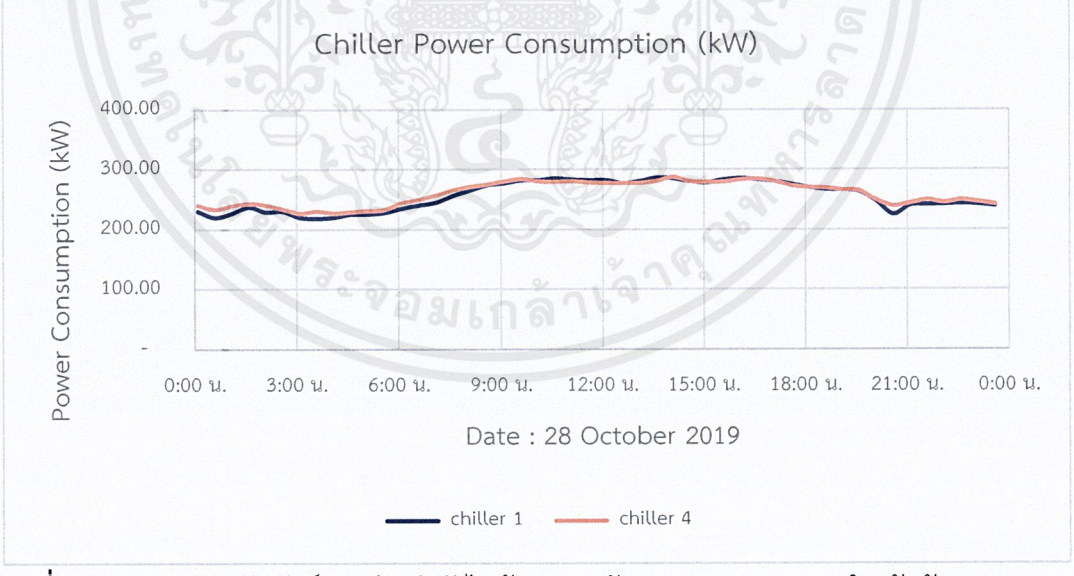
ผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นของโรงงาน ประกอบด้วย เครื่องทำความเย็นจำนวน 6 เครื่อง เครื่องสูบน้ำเย็น 6 เครื่อง เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน 6 เครื่อง และหอผึ่งเย็น 23 เซลล์ มีรายละเอียดการตรวจวัดดังนี้

การตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น แบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 แบบ คือ การวิเคราะห์ช่วงเวลาทำงานจากการใช้ไฟฟ้าของระบบทำความเย็น (kW) เพื่อแบ่งการใช้ไฟฟ้าออกเป็นช่วงๆ คือ ช่วงภาระการทำงานสูง (High Load) และช่วงเวลาการทำงานต่ำ (Low Load) และการวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในระบบทำความเย็น และเสนอแนวทางการปรับปรุงให้ระบบทำความเย็นทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4.1 การวิเคราะห์ช่วงเวลาทำงานจากการใช้ไฟฟ้าของระบบทำความเย็น (kW)

4.1.1 อาคาร 1

เนื่องจากอาคาร 1 มีบางแผนกหยุดทำงานในวันอาทิตย์ จึงแบ่งการตรวจวัดเป็นวันธรรมดาและวันอาทิตย์ เพื่อดูการใช้ไฟฟ้าของแต่ละช่วงเวลา

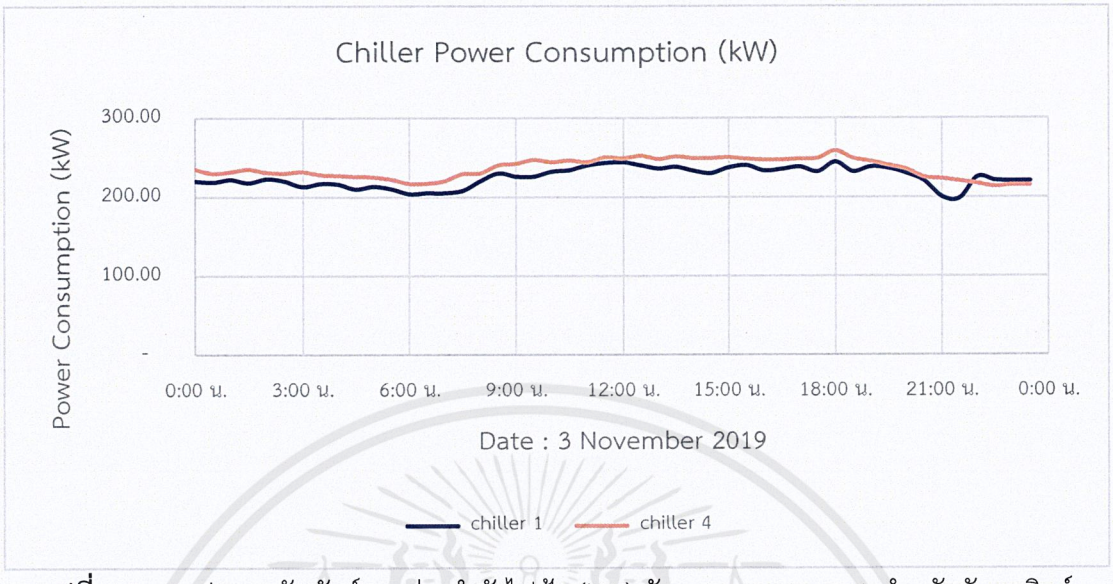


รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลาของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา

จากรูปที่ 4.1 สามารถแบ่งการใช้ไฟฟ้าได้ 2 ช่วงดังนี้ ช่วงภาระการทำงานสูง (High Load) เวลา 06:00 – 20:00 น. และช่วงภาระการทำงานต่ำ (Low Load) เวลา 20:00 – 06:00 น. โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

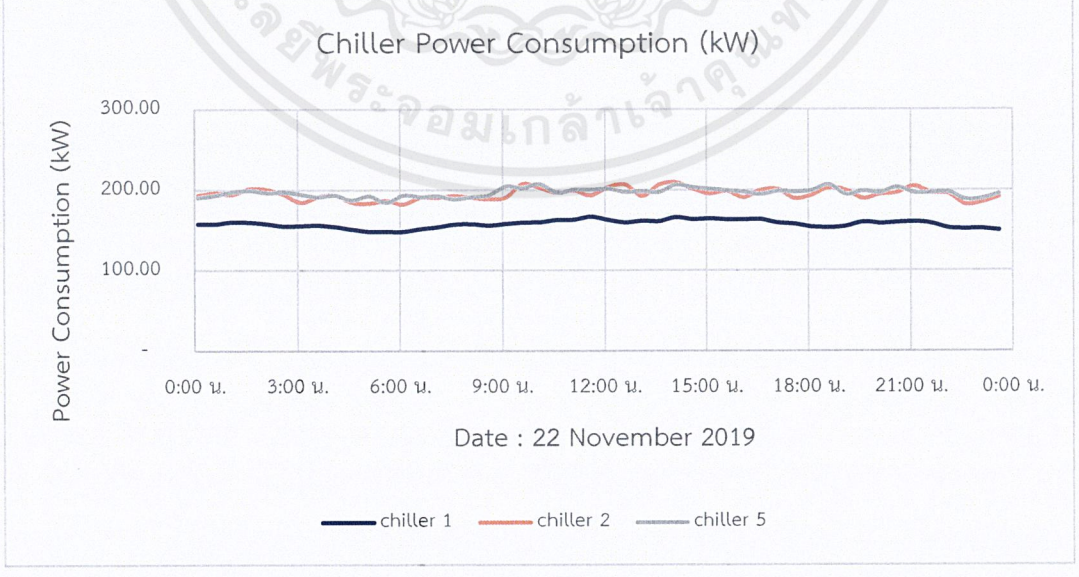
เครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงภาระการทำงานสูง 272.17 และ 272.97 kW ตามลำดับ และช่วงภาระการทำงานต่ำ 230.58 และ 237.89 kW ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลาของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์

จากรูปที่ 4.2 สามารถแบ่งการใช้ไฟฟ้าได้ 2 ช่วงดังนี้ ช่วงภาระการทำงานสูง (High Load) เวลา 08:00 – 21:00 น. และช่วงภาระการทำงานต่ำ (Low Load) เวลา 21:00 – 08:00 น. โดยเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 มีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงภาระการทำงานสูง 234.12 และ 244.85 kW ตามลำดับ และช่วงภาระการทำงานต่ำ 213.95 และ 224.29 kW ตามลำดับ

4.1.2 อาคาร 2



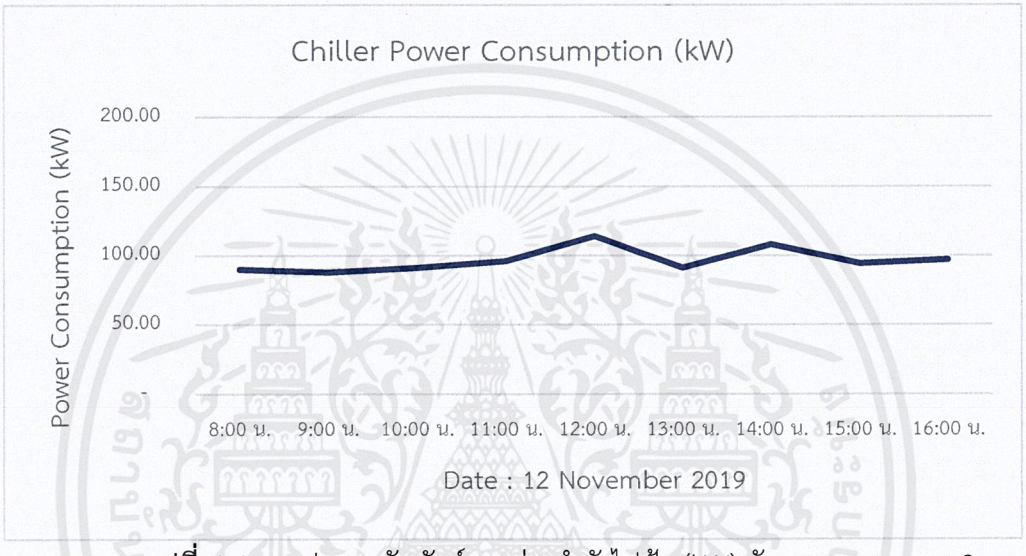
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลา ของอาคาร 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 เครื่องทำความเย็นเบอร์ 1, 2, 5 มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 157.23, 194.40 และ 196.15 kW ตามลำดับ

4.1.3 อาคาร 3

เนื่องจากอาคาร 3 ไม่มีอุปกรณ์ที่สามารถบันทึกข้อมูลจากเครื่องทำความเย็นได้ จึงต้องเก็บค่าที่หน้าเครื่องทุก 1 ชั่วโมง เวลา 08:00-16:00 น. และนำมาวิเคราะห์ช่วงเวลาทำงานของเครื่องทำความเย็น



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (kW) กับเวลาของอาคาร 3

จากรูปที่ 4.4 เครื่องทำความเย็นมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 96.56 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพของระบบทำความเย็น

ในความจริงแล้ว เครื่องทำความเย็นที่ทำงานสถานะต่างกัน จะไม่สามารถเปรียบเทียบกันด้วยค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ได้ จะต้องเปรียบเทียบกันด้วยค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ที่สภาวะมาตรฐาน โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ทำตารางค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ที่กระทรวงพลังงานกำหนดไว้ได้ [26]

โดยเปรียบเทียบที่ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Condition) ซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกจากเครื่องระเหย เท่ากับ 7.22 ºC หรือ 45 ºF และอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาเข้าเครื่องควบแน่น เท่ากับ 32.2 ºC หรือ 90 ºF

วิธีการคำนวณประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน

ประสิทธิภาพการทำความเย็นก่อนปรับปรุงของเครื่องทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยของคอมเพรสเซอร์ในเครื่องทำความเย็น } (kW)\ x \text{ ค่าแก้ไขพลังไฟฟ้า}}{\text{ปริมาณการทำความเย็นเฉลี่ยที่ทำได้ของเครื่องทำความเย็น } (tons)x \text{ ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็น}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าแก้ไขขนาดทำความเย็นและพลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องทำความเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ [26]

อุณหภูมิน้ำระบายความร้อน ขาเข้าเครื่องทำความเย็น (°C)	อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก (°C)	ค่าแก้ไข		
		ขนาดทำความเย็น	พลังไฟฟ้า	พลังไฟฟ้าต่อตันทำความเย็น
25	5	0.98	1.14	1.16
	6	0.95	1.14	1.19
	7	0.93	1.12	1.20
	7.2	0.93	1.12	1.20
	8	0.90	1.11	1.22
	9	0.88	1.10	1.24
	10	0.87	1.09	1.25
30	5	1.39	1.05	0.76
	6	1.01	1.04	1.04
	7	0.98	1.03	1.05
	7.2	0.97	1.03	1.06
	8	0.95	1.02	1.08
	9	0.93	1.01	1.09
	10	0.90	1.00	1.11
32.2	5	1.25	1.02	0.82
	6	1.03	1.02	0.98
	7	1.00	1.00	1.00
	7.2	1.00	1.00	1.00
	8	0.98	0.99	1.02
	9	0.95	0.98	1.03
	10	0.93	0.97	1.05
35	5	1.11	0.99	0.99
	6	1.06	0.97	0.92
	7	1.03	0.96	0.93
	7.2	1.03	0.96	0.93
	8	1.01	0.95	0.94
	9	0.98	0.94	0.60
	10	0.95	0.93	0.98
40	5	1.16	1.04	0.90
	6	1.12	0.92	0.81
	7	1.10	0.93	0.84
	7.2	1.10	0.92	0.84
	8	1.08	0.89	0.83
	9	1.04	0.88	0.85
	10	1.01	0.88	0.87
45	5	1.23	0.88	0.71
	6	1.20	0.86	0.72
	7	1.16	0.85	0.73
	7.2	1.16	0.85	0.74
	8	1.14	0.84	0.74
	9	1.10	0.83	0.76
	10	1.08	0.82	0.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 อาคาร 1

(1) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น ทำโดยการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า-ขาออกเครื่องระเหยและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นในหน่วย kW/ton และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของกระทรวงพลังงาน และวิเคราะห์ค่า Evaporator Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 4 °F และค่า Condenser Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่น) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 6 °F และ เนื่องจากอาคาร 1 มีบางแผนกหยุดทำงานในวันอาทิตย์ จึงแบ่งการตรวจวัดเป็นวันธรรมดาและวันอาทิตย์ เพราะวันอาทิตย์จะมีภาระโหลดน้อยกว่าวันธรรมดา

จากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สภาวะจริงและสภาวะมาตรฐานของอาคาร 1

Chiller Number		การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทำความเย็นที่สภาวะจริง			ระดับการใช้พลังงานที่สภาวะมาตรฐาน				
		ภาระโหลดการทำความเย็น (kW)	ตันความเย็นที่ทำได้จริง (tons)	kW/ton ที่สภาวะจริง	ค่าแก้ไข correction factor		กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	ตันความเย็น (tons)	kW/ton ที่สภาวะมาตรฐาน
					kW	ton			
วันธรรมดา									
chiller 1	high load	272.17	502.61	0.54	1.06	0.93	288.50	467.43	0.62
	low load	230.58	432.76	0.53	1.06	0.93	244.41	402.47	0.61
chiller 4	high load	272.97	577.07	0.47	1.03	1.00	281.16	577.07	0.49
	low load	237.89	473.68	0.50	1.03	1.00	245.03	473.68	0.52
วันอาทิตย์									
chiller 1	high load	234.12	432.93	0.54	1.02	0.95	238.80	411.28	0.58
	low load	213.95	360.41	0.59	1.02	0.93	218.23	335.18	0.65
chiller 4	high load	244.63	480.34	0.51	1.03	0.99	251.97	475.54	0.53
	low load	224.57	431.26	0.52	1.04	1.00	233.55	431.26	0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.1 ประกาศกระทรวงเรื่อง การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะขั้นต่ำ ค่าประสิทธิภาพการให้ความเย็นและค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ในปี พ.ศ. 2552 ระบุว่าเกณฑ์ค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของเครื่องทำความเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำชนิดเครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยง ขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระพิกัดของเครื่องทำความเย็นน้อยกว่า 500 ton มีค่า 0.76 kW/ton และขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 500 ton มีค่า 0.62 kW/ton ซึ่งกราฟต่อไปนี้เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเวลา โดยจะใช้เส้นเป็นเกณฑ์ที่ได้จากกระทรวงพลังงานมาเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ ใช้เส้นสีส้มแทนเกณฑ์ของเครื่องทำความเย็นขนาดน้อยกว่า 500 ton และใช้เส้นสีน้ำเงินแทนเกณฑ์ของเครื่องทำความเย็นขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 500 ton

ตารางที่ 4.3 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง

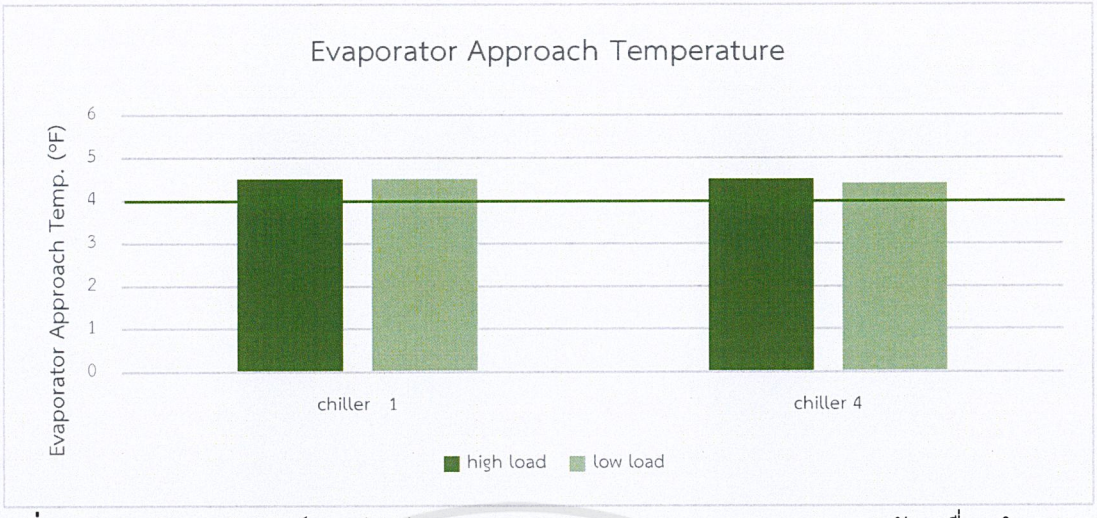
ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Water Cooled Water Chiller				
Plant		EMTC 1	EMTC 1	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
หมายเลขเครื่อง		CH-01	CH-04	
ยี่ห้อ	-	Trane	Trane	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด				
ขนาดการทำความเย็น (TR)	TR	500	550	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)	kW	287	332	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)	kW/TR	0.574	0.604	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดสารทำความเย็น	-	R-123	R-123	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดคอมเพรสเซอร์	-	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมความเร็วรอบ	-	Constant Speed	Constant Speed	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,200	1,320	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	Deg.F	55.0	55.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	45.0	45.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	1,500	1,650	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	Deg.F	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	Deg.F	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Set Point อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	47.0	44.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Demand Limit	%	90%	78%	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
ข้อมูลด้านน้ำเย็น				
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,225.7	1,355	จากการตรวจวัด
อัตราส่วนอัตราการไหลต่อพิกัดความสามารถในการทำความเย็น	GPM/TR	2.45	2.46	จากการคำนวณ
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	deg.F	56.9	54.2	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	deg.F	47.0	44.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evap.	deg.F	42.5	39.5	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Evaporator Approach Temp.	deg.F	4.5	4.5	อ่านค่าจากหน้าเครื่องหรือจากการคำนวณ (4)
ความสามารถในการทำความเย็น	TR	502.5	577.0	จากการคำนวณ (1)
ค่าแก้ไข ตันทำความเย็น		0.93	1.00	จากตารางค่าแก้ไข
ความสามารถในการทำความเย็น (corrected)	TR	467.4	577.0	
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น				
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	GPM	1,874	1,428	จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	81.54	87.34	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	90.0	96.1	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Cond.	deg.F	92.9	97.2	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Condenser Approach Temp.	deg.F	2.9	1.1	จากการคำนวณ (5)
ข้อมูลด้านไฟฟ้า				
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	272.2	273.0	จากการตรวจวัด
ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า		1.06	1.03	จากตารางค่าแก้ไข
กำลังไฟฟ้า (corrected)	kW	288.5	281.2	
EnPI (at actual)	**kW/TR**	0.542	0.473	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (corrected)	**kW/TR**	0.617	0.487	
EnPI (Standard) : ไม่เกิน	**kW/TR**	**0.620**	**0.620**	**อ้างอิงตามประกาศกระทรวงฯ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น ของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานต่ำ

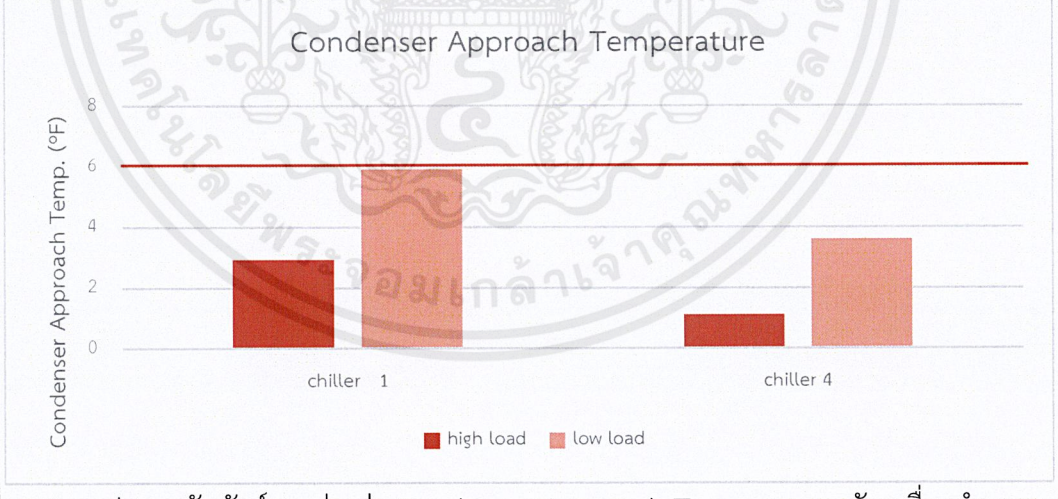
ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ปร+A1:E34ะสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Water Cooled Water Chiller				
Plant		EMTC 1	EMTC 1	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
หมายเลขเครื่อง		CH-01	CH-04	
ยี่ห้อ	-	Trane	Trane	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด				
ขนาดการทำความเย็น (TR)	TR	500	550	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)	kW	287	332	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)	kW/TR	0.574	0.604	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดสารทำความเย็น	-	R-123	R-123	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดคอมเพรสเซอร์	-	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมความเร็วรอบ	-	Constant Speed	Constant Speed	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,200	1,320	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	Deg.F	55.0	55.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	45.0	45.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	1,500	1,650	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	Deg.F	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	Deg.F	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Set Point อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	47.0	44.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Demand Limit	%	85%	78%	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
ข้อมูลด้านน้ำเย็น				
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,225.7	1,355	จากการตรวจวัด
อัตราส่วนอัตราการไหลต่อพิกัดความสามารถในการทำความเย็น	GPM/TR	2.45	2.46	จากการคำนวณ
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	deg.F	55.5	52.3	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	deg.F	47.0	43.9	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evap.	deg.F	42.5	39.5	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Evaporator Approach Temp.	deg.F	4.5	4.4	อ่านค่าจากหน้าเครื่องหรือจากการคำนวณ (4)
ความสามารถในการทำความเย็น	TR	432.6	473.1	จากการคำนวณ (1)
ค่าแก้ไข ด้านทำความเย็น		0.93	1.00	จากตารางค่าแก้ไข
ความสามารถในการทำความเย็น (corrected)	TR	402.3	473.1	
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น				
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	GPM	1,874	1,428	จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	82.5	85.8	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	86.9	93.6	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Cond.	deg.F	92.8	97.2	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Condenser Approach Temp.	deg.F	5.9	3.6	จากการคำนวณ (5)
ข้อมูลด้านไฟฟ้า				
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	230.6	237.9	จากการตรวจวัด
ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า		1.06	1.03	จากตารางค่าแก้ไข
กำลังไฟฟ้า (corrected)	kW	244.4	245.0	
EnPI (at actual)	**kW/TR**	0.533	0.503	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (corrected)	**kW/TR**	0.608	0.518	
EnPI (Standard) : ไม่เกิน	**kW/TR**	**0.620**	**0.620**	**อ้างอิงตามประกาศกระทรวงฯ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา

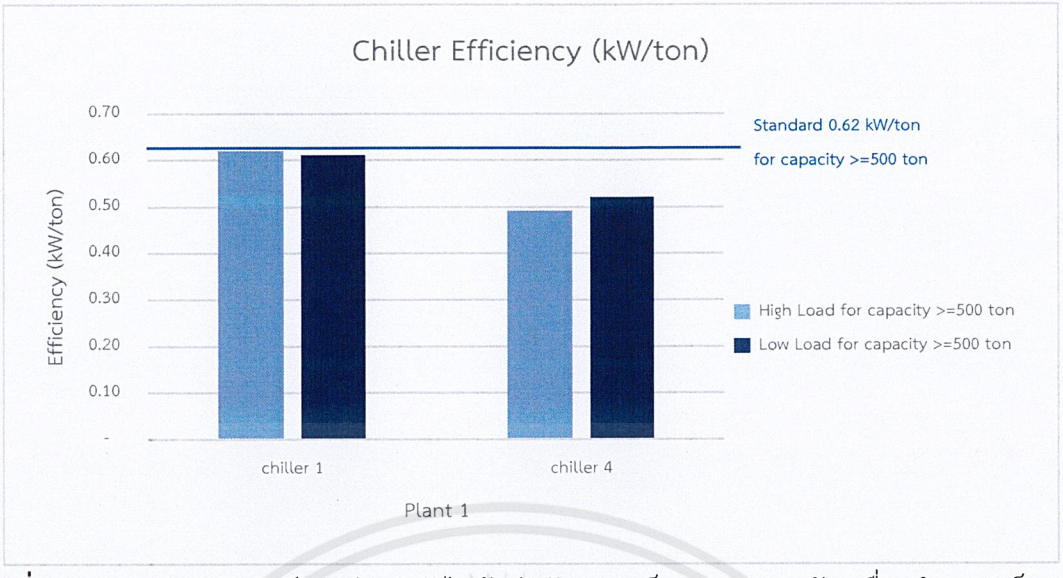
จากรูปที่ 4.5 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 มีค่า Evaporator Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (4 °F) อาจมีสาเหตุมาจากภายในเครื่องระเหยมีความสกปรกหรือมีตะกรันเกาะที่ผนังท่อ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นไม่ดีเท่าที่ควร



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 มีค่า Condenser Approach Temperature ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) มีผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าระบบทำความเย็นของอาคาร 1 วันธรรมดามีการทำงานอยู่ในสภาวะปกติ

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา จะทำการตรวจวัด 3 ค่า คือค่า Evaporator Approach Temperature (°F), ค่า Condenser Approach Temperature (°F) และค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) จากการตรวจวัดพบว่าค่า Evaporator Approach Temperature ของเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 มีค่าแย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (4 °F) แต่ค่า Condenser Approach Temperature ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) ซึ่งทั้ง 2 ค่าจะส่งผลต่อค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) แต่เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) มีค่าดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เพราะความจริงแล้วมีปัจจัยหลายอย่างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น เช่น อายุการใช้งานของเครื่องทำความเย็น ค่า Cooling Tower Approach Temperature (°F) หรืออัตราการไหลของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปนี้จะเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์

ตารางที่ 4.5 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานสูง

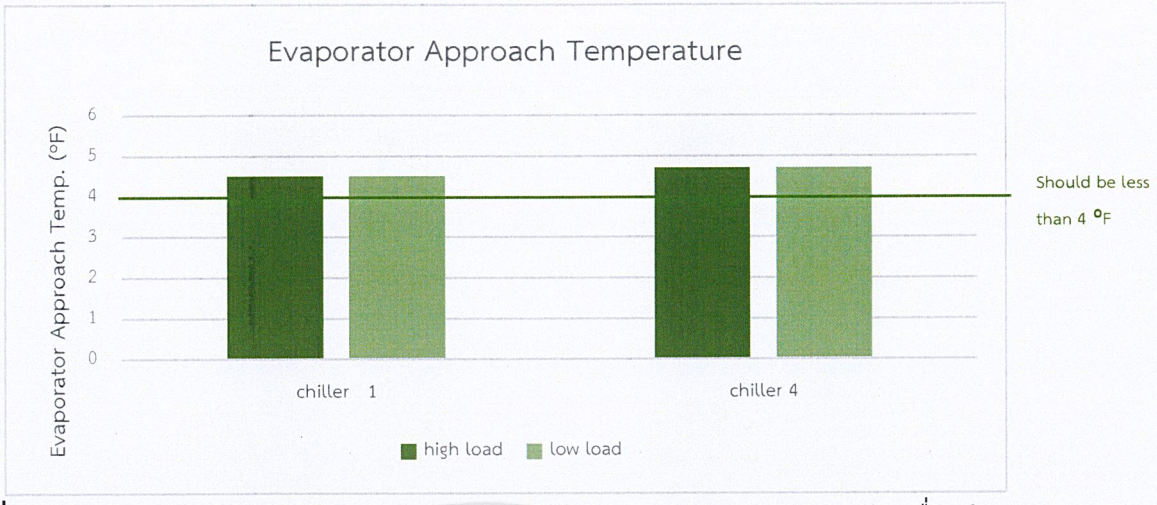
ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Water Cooled Water Chiller				
Plant		EMTC 1	EMTC 1	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
หมายเลขเครื่อง		CH-01	CH-04	
ยี่ห้อ	-	Trane	Trane	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าคงที่				
ขนาดการทำความเย็น (TR)	TR	500	550	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)	kW	287	332	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)	kW/TR	0.574	0.604	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดสารทำความเย็น	-	R-123	R-123	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดคอมเพรสเซอร์	-	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมความเร็วรอบ	-	Constant Speed	Constant Speed	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,200	1,320	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	Deg.F	55.0	55.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	45.0	45.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	1,500	1,650	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	Deg.F	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	Deg.F	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Set Point อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	47.0	44.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Demand Limit	%	79%	73%	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
ข้อมูลด้านน้ำเย็น				
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,225.7	1,355	จากการตรวจวัด
อัตราส่วนอัตราการไหลต่อพิกัดความสามารถในการทำความเย็น	GPM/TR	2.45	2.46	จากการคำนวณ
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	deg.F	55.5	52.7	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	deg.F	47.0	44.2	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evap.	deg.F	42.5	39.5	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Evaporator Approach Temp.	deg.F	4.5	4.7	อ่านค่าจากหน้าเครื่องหรือจากการคำนวณ (4)
ความสามารถในการทำความเย็น	TR	433.1	480.5	จากการคำนวณ (1)
ตำแก้ไข ตันทำความเย็น		0.95	0.99	จากตาราง 4.1
ความสามารถในการทำความเย็น (corrected)	TR	411.4	475.7	
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น				
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	GPM	1,874	1,428	จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	84.2	86.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	93.8	93.5	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Cond.	deg.F	94.5	94.4	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Condenser Approach Temp.	deg.F	0.7	0.9	จากการคำนวณ (5)
ข้อมูลด้านไฟฟ้า				
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	234.1	244.6	จากการตรวจวัด
ตำแก้ไข กำลังไฟฟ้า		1.02	1.03	จากตาราง 4.1
กำลังไฟฟ้า (corrected)	kW	238.8	252.0	
EnPI (at actual)	**kW/TR**	0.541	0.509	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (corrected)	**kW/TR**	0.580	0.530	
EnPI (Standard) : ไม่เกิน	**kW/TR**	**0.620**	**0.620**	**อ้างอิงตามประกาศกระทรวงฯ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานต่ำ

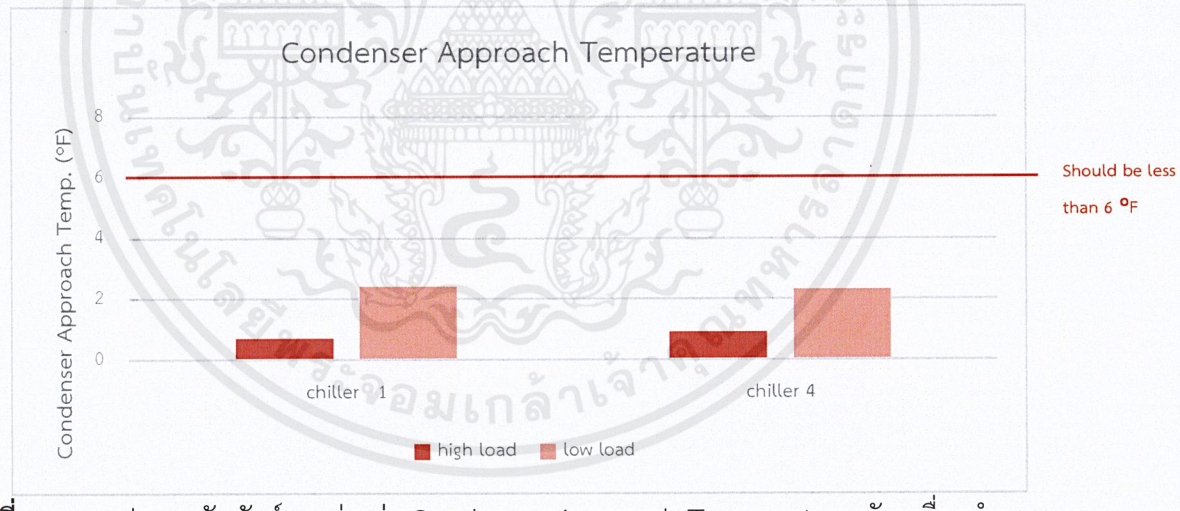
ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Water Cooled Water Chiller				
Plant		EMTC 1	EMTC 1	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
หมายเลขเครื่อง		CH-01	CH-04	
ยี่ห้อ	-	Trane	Trane	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด				
ขนาดการทำความเย็น (TR)	TR	500	550	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)	kW	287	332	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)	kW/TR	0.574	0.604	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดสารทำความเย็น	-	R-123	R-123	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดคอมเพรสเซอร์	-	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมความเร็วรอบ	-	Constant Speed	Constant Speed	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,200	1,320	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	Deg.F	55.0	55.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	45.0	45.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	1,500	1,650	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	Deg.F	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	Deg.F	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Set Point อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	47.0	44.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Demand Limit	%	78%	71%	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
ข้อมูลด้านน้ำเย็น				
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,225.7	1,355	จากการตรวจวัด
อัตราส่วนอัตราการไหลต่อพิกัดความสามารถในการทำความเย็น	GPM/TR	2.45	2.46	จากการคำนวณ
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	deg.F	54.1	51.7	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	deg.F	47.1	44.1	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evap.	deg.F	42.5	39.5	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Evaporator Approach Temp.	deg.F	4.6	4.6	อ่านค่าจากหน้าเครื่องหรือจากการคำนวณ (4)
ความสามารถในการทำความเย็น	TR	360.1	431.4	จากการคำนวณ (1)
ค่าแก้ไข ตันทำความเย็น		0.93	1.00	จากตารางค่าแก้ไข
ความสามารถในการทำความเย็น (corrected)	TR	334.8	431.4	
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น				
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	GPM	1,874	1,428	จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	82.7	84.4	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	92.1	92.1	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Cond.	deg.F	94.5	94.4	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Condenser Approach Temp.	deg.F	2.4	2.3	จากการคำนวณ (5)
ข้อมูลด้านไฟฟ้า				
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	214.0	224.6	จากการตรวจวัด
ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า		1.02	1.04	จากตารางค่าแก้ไข
กำลังไฟฟ้า (corrected)	kW	218.2	233.6	
EnPI (at actual)	**kW/TR**	0.594	0.521	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (corrected)	**kW/TR**	0.652	0.541	
EnPI (Standard) : ไม่เกิน	**kW/TR**	**0.620**	**0.620**	**อ้างอิงตามประกาศกระทรวงฯ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์

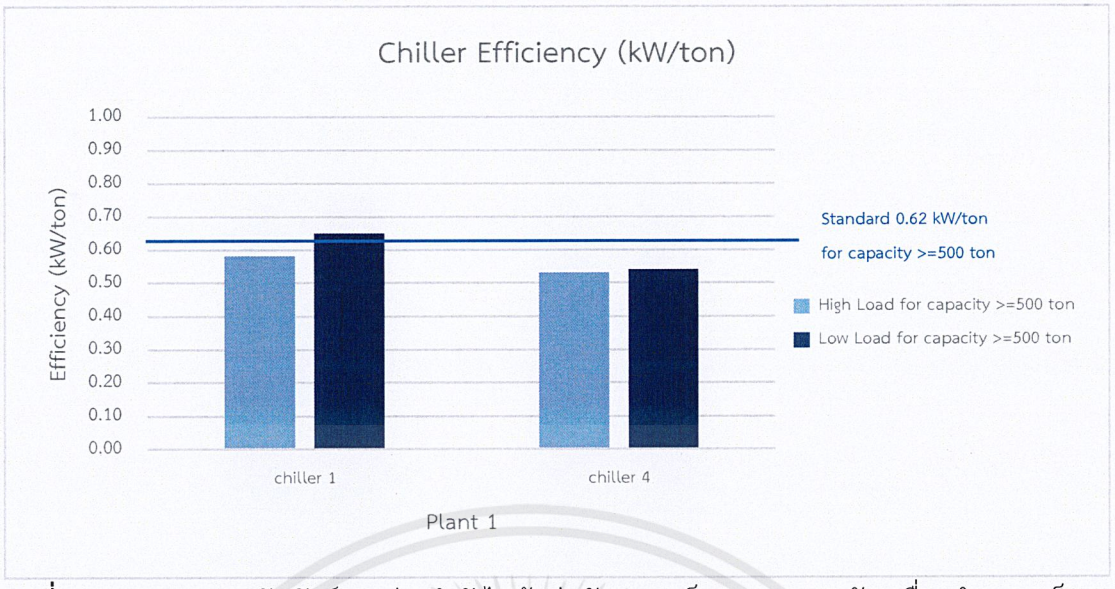
จากรูปที่ 4.8 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 มีค่า Evaporator Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (4 °F) อาจมีสาเหตุมาจากภายในเครื่องระเหยมีความสกปรกหรือมีตะกรันเกาะที่ผนังท่อ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นไม่ดี



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 มีค่า Condenser Approach Temperature ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) มีผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 ช่วงภาระการทำงานสูงและเบอร์ 4 มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าเครื่องทำความเย็นมีการทำงานอยู่ในสภาวะปกติ ส่วนเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 ช่วงภาระการทำงานต่ำ มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นไม่ดีเท่าที่ควรในฝั่งเครื่องระเหยและความสามารถในการทำความเย็นช่วงภาระการทำงานต่ำของวันอาทิตย์น้อยกว่าช่วงอื่น ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน

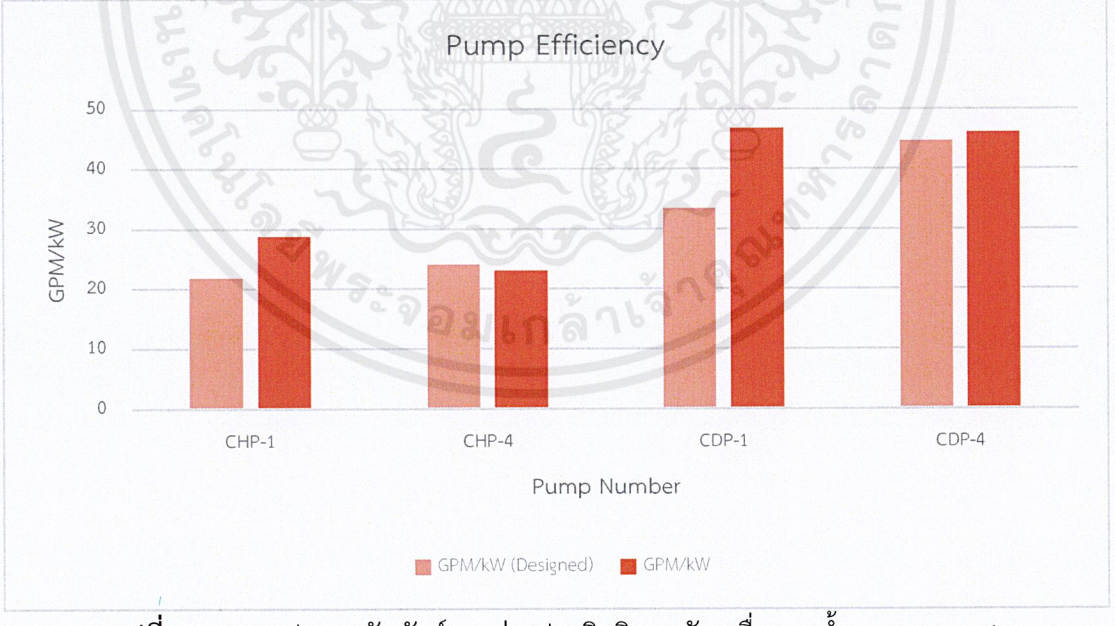
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ ทำโดยการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำระบายความร้อน กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำในหน่วย GPM/kW ซึ่งควรมีค่ามากกว่า 90% ของค่าพิกัด และเนื่องจากการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของเครื่องสูบน้ำมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน จึงวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำออกมาเป็นตารางเดียว โดยการวัดค่าอัตราการไหลวัดในช่วงภาระการทำงานสูง วันธรรมดา

ตารางที่ 4.7 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Chilled & Condenser Water Pump (CHP & CDP)						
หมายเลขเครื่อง		CHP-1	CHP-4	CDP-1	CDP-4	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
ยี่ห้อ	-	Ebara	Ajax	Ebara	Ajax	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ประเภท	-	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด						
กำลังไฟฟ้า	kW	55	55	45	37	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,200	1,320	1,500	1,650	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Head	Ftน้ำ					ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมด้วย VSD	-	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ตรวจสอบจากหน้างาน
	รูปแบบการควบคุม					สอบถามจากผู้ใช้งาน
ผลการตรวจวัด (Monitoring)						
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,226	1,355	1,874	1,428	ตรวจวัดด้วย Ultrasonic Flow Meter
%การเปิดวาล์วด้านขาเข้า	%	100	100	100	100	ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
%การเปิดวาล์วด้านขาออก	%	100	100	100	100	ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
Head	Ftน้ำ	121.0	138.0	88.5	115.0	Performance curve
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	42.7	58.7	40.1	31.1	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรืออ่านจาก VSD (ถ้ามี)
EnPI (>=90% of Designed)	**GPM/kW**	**28.71**	**23.08**	**46.71**	**45.98**	**Performance curve**
EnPI (Designed)	**GPM/kW**	**21.82**	**24.00**	**33.33**	**44.59**	**Performance curve**



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเครื่องสูบน้ำ ของอาคาร 1

จากรูปที่ 4.11 พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำของอาคาร 1 มีค่า GPM/kW ใกล้เคียงและมากกว่าค่าพิกัด แสดงว่าเครื่องสูบน้ำทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

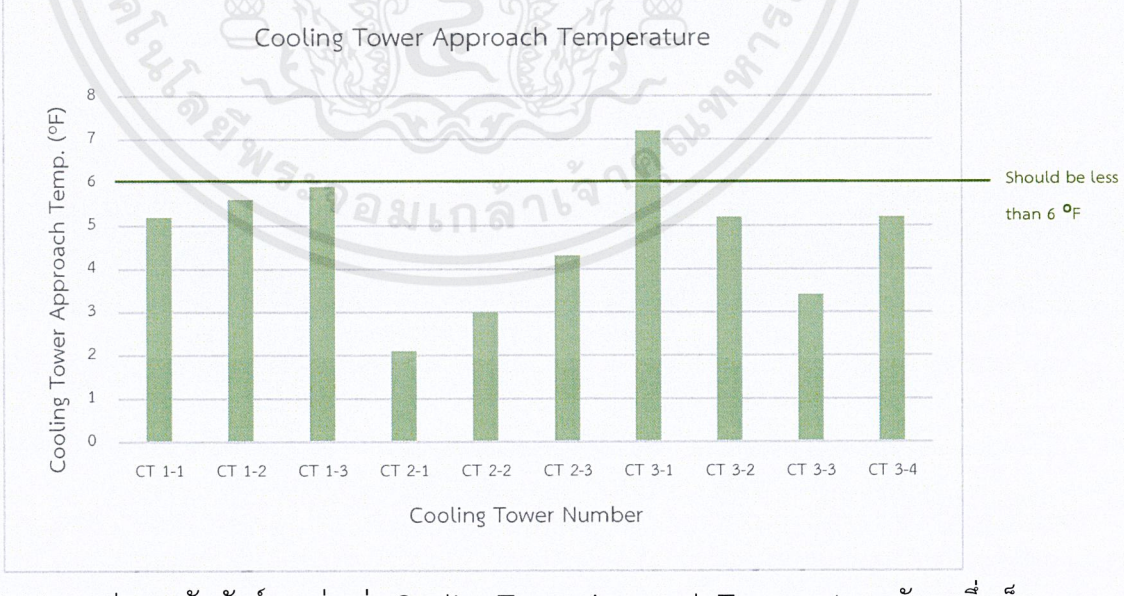
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น ทำโดยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและอุณหภูมิของน้ำขาออกหอผึ่งเย็น เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็นจากค่า Cooling Tower Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 6 °F และเนื่องจากการใช้กำลังไฟฟ้าของหอผึ่งเย็นในแต่ละช่วงมีค่าใกล้เคียงกันมากและการตรวจวัดค่าอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนสามารถตรวจวัดได้ในช่วงภาระการทำงานสูง วันธรรมดา

ตารางที่ 4.8 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหอผึ่งเย็นของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Cooling Tower											
หมายเลขเครื่อง		CT 1-1	CT 1-2	CT 1-3	CT 2-1	CT 2-2	CT 2-3	CT 3-1	CT 3-2	CT 3-3	CT 3-4	แนวทางการพรรณา/ที่มาของข้อมูล
ยี่ห้อ	-	Tru-water	Tru-water	Tru-water	Tru-water	Tru-water	Tru-water	Liangchi	Liangchi	Liangchi	Liangchi	คาม Technical Data ของผู้ผลิต
ประเภท	-	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	คาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าที่ได้												
Cooling Capacity	Ton	300	300	300	300	300	300	250	250	250	250	คาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลม	kW	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	คาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM											คาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเข้า	Deg.F	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	คาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำออก	Deg.F	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	คาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	Deg.F	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	คาม Technical Data ของผู้ผลิต
ผลการตรวจวัด (Monitoring)												
ด้านไฟฟ้า												
กำลังไฟฟ้า	kW	4.3	4.4	4.3	4.5	6.5	6.1	3.6	6.4	6.1	7.2	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรือ VSD
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น												
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0	
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	77.4	77.7	78.1	74.3	75.2	76.5	79.3	77.4	75.6	77.4	ตรวจวัดด้วย Thermometer
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	deg.F	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	ตรวจวัดด้วย Weather station
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า	%RH	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	ตรวจวัดด้วย Weather station
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	deg.F	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	ตรวจวัดด้วย Weather station
Cooling Tower Approach Temp.	deg.F	5.2	5.6	5.9	2.1	3.0	4.3	7.2	5.2	3.4	5.2	ผลการคำนวณ (1)
Range		15.6	15.3	14.9	18.7	17.8	16.5	13.7	15.6	17.4	15.6	ผลการคำนวณ (2)
EnPI	**Thermal Efficiency (%)**	75.1%	73.3%	71.4%	89.2%	85.4%	79.3%	65.9%	75.1%	83.3%	75.1%	**ผลการคำนวณ (3)**
EnPI (Standard) ไม่มีผลการ	**Thermal Efficiency (%)**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**ผลการคำนวณ (4)**



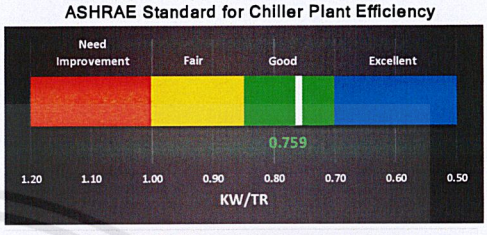
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cooling Tower Approach Temperature กับหอผึ่งเย็นของอาคาร 1

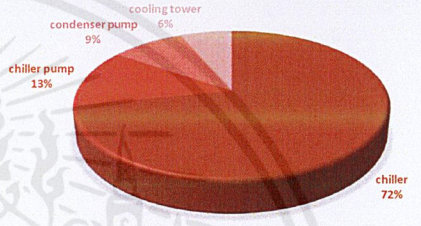
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 สามารถสรุปได้ว่า หอผึ่งเย็นเบอร์ 3-1 มีค่า Cooling Tower Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) อาจมีสาเหตุมาจากตะกรันและตะไคร่น้ำที่เกาะตามฟิลเลอร์ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศไม่ดีเท่าที่ควร

(4) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)			
รายการเครื่องจักรอุปกรณ์	หมายเลขเครื่อง	ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Chiller	CH-01	467.36	288.5
	CH-04	577.03	281.2
Chilled water pump	CHP-1	-	42.7
	CHP-4	-	58.7
Condenser water pump	CDP-1	-	40.1
	CDP-4	-	31.1
Cooling tower	CT 1-1	-	4.3
	CT 1-2	-	4.4
	CT 1-3	-	4.4
	CT 2-1	-	4.3
	CT 2-2	-	4.5
	CT 2-3	-	6.5
	CT 3-1	-	6.1
	CT 3-2	-	3.6
	CT 3-3	-	6.4
	CT 3-4	-	6.1
ผลรวมทั้งระบบ		1044.40	792.6
ประสิทธิภาพการความเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)		0.759	
COP		4.634	

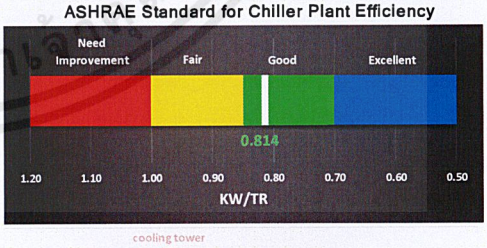


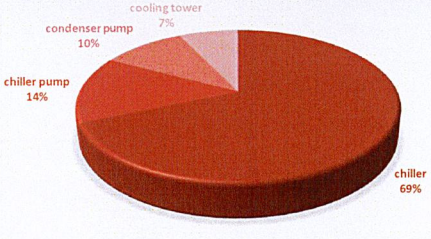


รูปที่ 4.13 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานสูง

จากรูปที่ 4.13 พบว่าระบบทำความเย็นของอาคาร 1 ในช่วงภาระการทำงานสูงของวันธรรมดา มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นรวมทั้งระบบ 0.759 kW/TRp เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ ASHRAE Standard แล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ ดี (Good)

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)			
รายการเครื่องจักรอุปกรณ์	หมายเลขเครื่อง	ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Chiller	CH-01	402.29	244.4
	CH-04	473.15	245.0
Chilled water pump	CHP-1	-	42.7
	CHP-4	-	58.7
Condenser water pump	CDP-1	-	40.1
	CDP-4	-	31.1
Cooling tower	CT 1-1	-	4.3
	CT 1-2	-	4.4
	CT 1-3	-	4.4
	CT 2-1	-	4.3
	CT 2-2	-	4.5
	CT 2-3	-	6.4
	CT 3-1	-	6.1
	CT 3-2	-	3.7
	CT 3-3	-	6.4
	CT 3-4	-	6.1
ผลรวมทั้งระบบ		875.44	712.6
ประสิทธิภาพการความเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)		0.814	
COP		4.321	



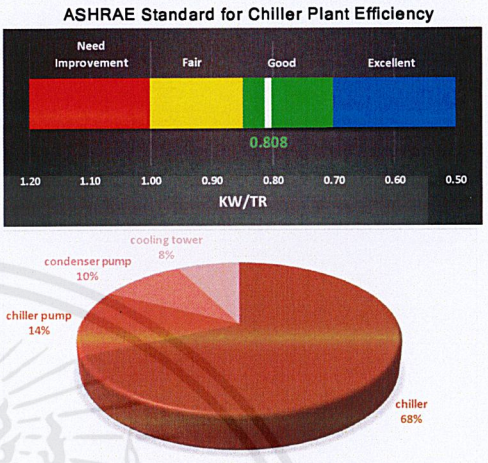


รูปที่ 4.14 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันธรรมดา ช่วงภาระการทำงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 พบว่าระบบทำความเย็นของอาคาร 1 ในช่วงภาระการทำงานต่ำของวันธรรมดา มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นรวมทั้งระบบ 0.814 kW/TRp เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ ASHRAE Standard แล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ ดี (Good)

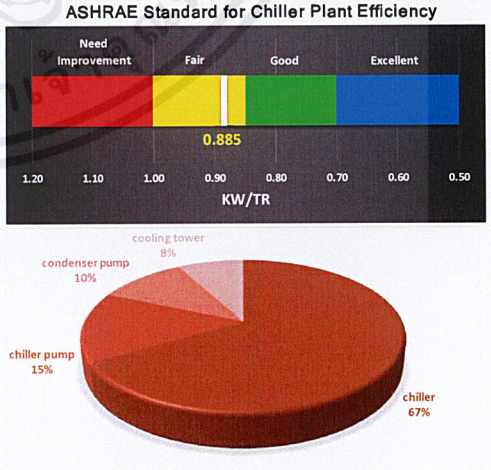
ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)			
รายการเครื่องจักรอุปกรณ์	หมายเลขเครื่อง	ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Chiller	CH-01	411.43	238.8
	CH-04	475.68	252.0
Chilled water pump	CHP-1	-	42.7
	CHP-4	-	58.7
Condenser water pump	CDP-1	-	40.1
	CDP-4	-	31.1
Cooling tower	CT 1-1	-	4.4
	CT 1-2	-	4.4
	CT 1-3	-	4.3
	CT 2-1	-	4.5
	CT 2-2	-	6.4
	CT 2-3	-	6.1
	CT 3-1	-	3.7
	CT 3-2	-	6.4
	CT 3-3	-	6.1
	CT 3-4	-	7.2
ผลรวมทั้งระบบ		887.11	716.9
ประสิทธิภาพการความเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)		0.808	
COP		4.352	



รูปที่ 4.15 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานสูง

จากรูปที่ 4.15 พบว่าระบบทำความเย็นของอาคาร 1 ในช่วงภาระการทำงานสูง มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นรวมทั้งระบบ 0.808 kW/TRp เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ ASHRAE Standard แล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ ดี (Good)

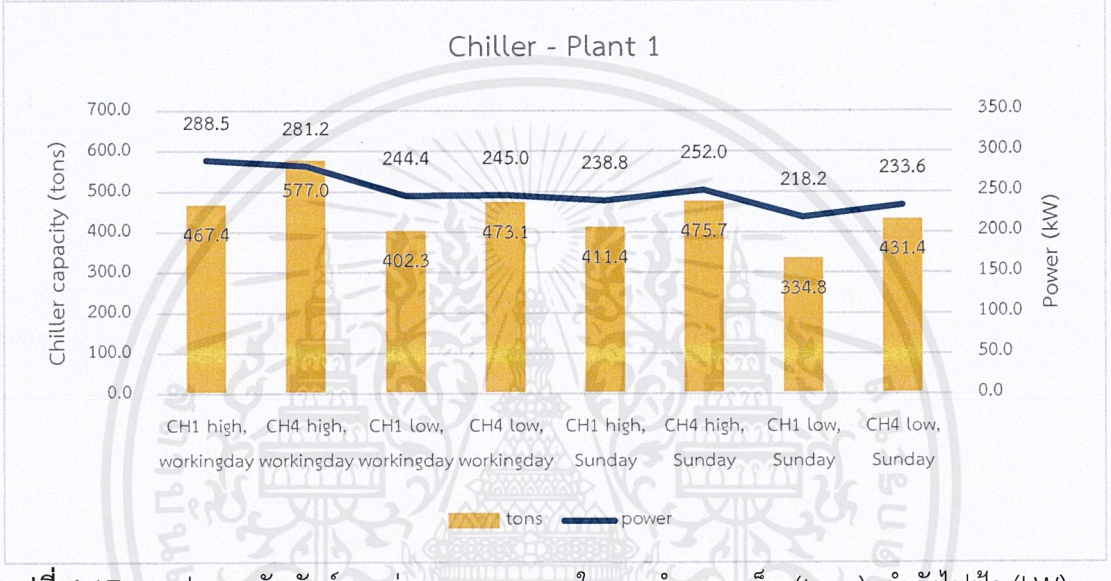
ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)			
รายการเครื่องจักรอุปกรณ์	หมายเลขเครื่อง	ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Chiller	CH-01	334.85	218.2
	CH-04	431.36	233.6
Chilled water pump	CHP-1	-	42.7
	CHP-4	-	58.7
Condenser water pump	CDP-1	-	40.1
	CDP-4	-	31.1
Cooling tower	CT 1-1	-	4.3
	CT 1-2	-	4.4
	CT 1-3	-	4.3
	CT 2-1	-	4.5
	CT 2-2	-	6.4
	CT 2-3	-	6.1
	CT 3-1	-	3.7
	CT 3-2	-	6.4
	CT 3-3	-	6.1
	CT 3-4	-	7.3
ผลรวมทั้งระบบ		766.21	677.8
ประสิทธิภาพการความเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)		0.885	
COP		3.976	



รูปที่ 4.16 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 1 สำหรับวันอาทิตย์ ช่วงภาระการทำงานต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 พบว่าระบบทำความเย็นของอาคาร 1 ในช่วงภาระการทำงานต่ำ มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นรวมทั้งระบบ 0.885 kW/TRp เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ ASHRAE Standard แล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ ปานกลาง (Fair) ซึ่งสอดคล้องกับการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 ในช่วงภาระการทำงานต่ำของวันอาทิตย์พอดี จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าความสามารถในการทำความเย็นช่วงภาระการทำงานต่ำของวันอาทิตย์น้อยกว่าช่วงอื่น ทำให้มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน ส่งผลให้ภาพรวมของทั้งระบบในเวลานั้นมีเกณฑ์แย่กว่าช่วงเวลาอื่น



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (tons), กำลังไฟฟ้า (kW) กับเครื่องทำความเย็น ของอาคาร 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) แนวทางการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า Evaporator Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย) ของเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 4 แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน และค่า Cooling Tower Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น) ของหอผึ่งเย็นเบอร์ 3-1 แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นสามารถเสนอแนวทางการปรับปรุงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.9 มาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร 1

มาตรการประหยัดพลังงาน	มูลค่าผลประหยัด (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน)	มูลค่าผลประหยัด (บาท/เดือน)	ผลประหยัดของค่าไฟฟ้าในระบบทำความเย็น (%)
1.1 การทำความสะอาดเครื่องระเหยเบอร์ 1	1,090.10	3,608.23	0.07
1.2 การทำความสะอาดเครื่องระเหยเบอร์ 4	1,062.18	3,515.80	0.07
1.3 การทำความสะอาดหอผึ่งเย็น CT3-1	2,640.43	8,739.83	0.17
รวมมูลค่าผลประหยัดพลังงาน	**4,792.71**	**15,863.86**	**0.32**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 อาคาร 2

(1) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น ทำโดยการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า-ขาออกเครื่องระเหยและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นในหน่วย kW/ton และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของกระทรวงพลังงาน และวิเคราะห์ค่า Evaporator Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 4 °F และค่า Condenser Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่น) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 6 °F

จากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานได้ดังนี้

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สภาวะจริงและสภาวะมาตรฐาน สำหรับอาคาร 2

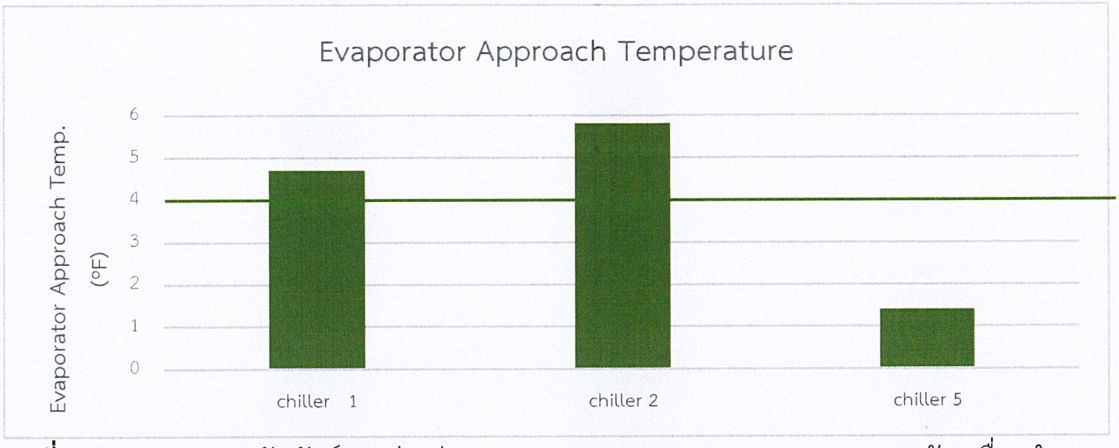
Chiller Number		การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทำความเย็นที่สภาวะจริง			ระดับการใช้พลังงานที่สภาวะมาตรฐาน				
		ภาระโหลดการทำความเย็น (kW)	ตันความเย็นที่ทำได้จริง (tons)	kW/ton ที่สภาวะจริง	ค่าแก้ไข correction factor		กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	ตันความเย็น (tons)	kW/ton ที่สภาวะมาตรฐาน
					kW	ton			
chiller 1	high load	157.20	267.50	0.59	1.04	0.89	163.49	238.08	0.69
chiller 2	high load	194.00	257.60	0.75	1.01	0.90	195.94	231.84	0.85
chiller 5	high load	196.20	347.50	0.56	1.09	0.88	213.86	305.80	0.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2

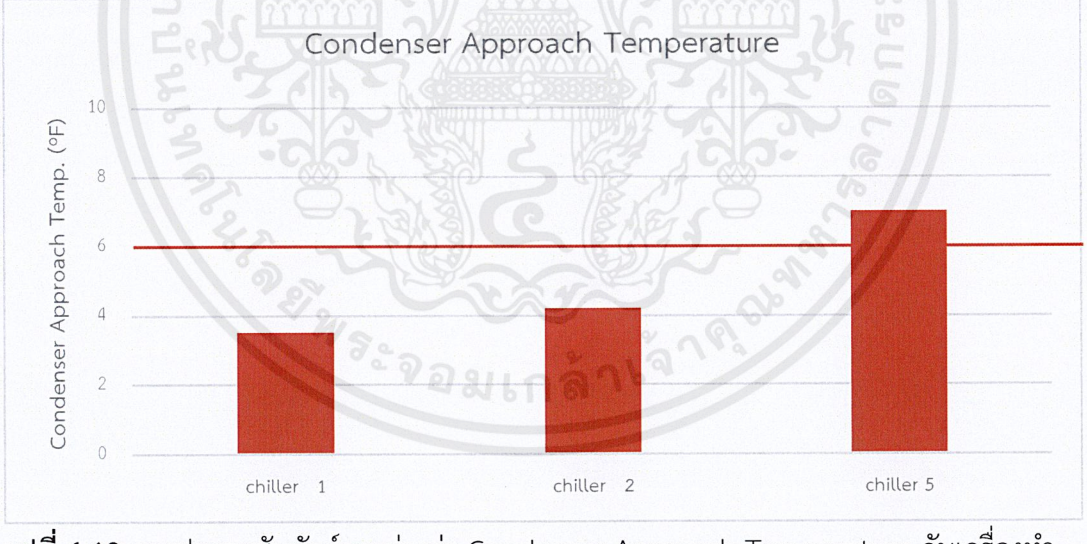
ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Water Cooled Water Chiller					
Plant		EMTC 2	EMTC 2	EMTC 2	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
หมายเลขเครื่อง		CH-01	CH-02	CH-05	
ยี่ห้อ	-	York	York	York	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด					
ขนาดการทำความเย็น (TR)	TR	400	400	550	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)	kW	249	276	326	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)	kW/TR	0.623	0.690	0.593	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดสารทำความเย็น	-	R-123	R-134a	R-134a	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดคอมเพรสเซอร์	-	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมความเร็วรอบ	-	Constant Speed	Variable Speed	Constant Speed	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	960	960	1,320	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	Deg.F	55.0	55.0	55.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	45.0	45.0	45.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	1,200	1,200	1,650	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	Deg.F	90.0	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	Deg.F	100.0	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Set Point อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	50.5	50.0	48.2	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Demand Limit	%	77%	75%	63%	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)					
ข้อมูลด้านน้ำเย็น					
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,150.4	1,027	1,075	จากการตรวจวัด
อัตราส่วนอัตราการไหลต่อพิกัดความสามารถในการทำความเย็น	GPM/TR	2.88	2.57	1.95	จากการคำนวณ
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	deg.F	56.1	56.1	56.1	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	deg.F	50.6	50.1	48.3	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evap.	deg.F	45.8	44.3	46.9	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Evaporator Approach Temp.	deg.F	4.7	5.8	1.4	ต่ำมาก่อจากหน้าเครื่องหรือจากการคำนวณ (4)
ความสามารถในการทำความเย็น	TR	267.5	257.6	347.5	จากการคำนวณ (1)
ค่าแก้ไข ดันทำความเย็น		0.89	0.90	0.88	จากตารางค่าแก้ไข
ความสามารถในการทำความเย็น (corrected)	TR	238.1	231.9	305.8	
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น					
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	GPM	1198.86	1284.49	1329.38	จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	82.1	84.9	77.61	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	87.1	91.3	85.4	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Cond.	deg.F	90.6	95.5	92.4	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Condenser Approach Temp.	deg.F	3.5	4.6	7.0	จากการคำนวณ (5)
ข้อมูลด้านไฟฟ้า					
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	157.2	194.0	196.2	จากการตรวจวัด
ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า		1.04	1.01	1.09	จากตารางค่าแก้ไข
กำลังไฟฟ้า (corrected)	kW	163.5	195.9	213.8	
EnPI (at actual)	**kW/TR**	0.588	0.763	0.564	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (corrected)	**kW/TR**	0.687	0.845	0.699	
EnPI (Standard) : ไม่เกิน	**kW/TR**	**0.760**	**0.760**	**0.620**	**อ้างอิงตามประกาศกระทรวงฯ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2

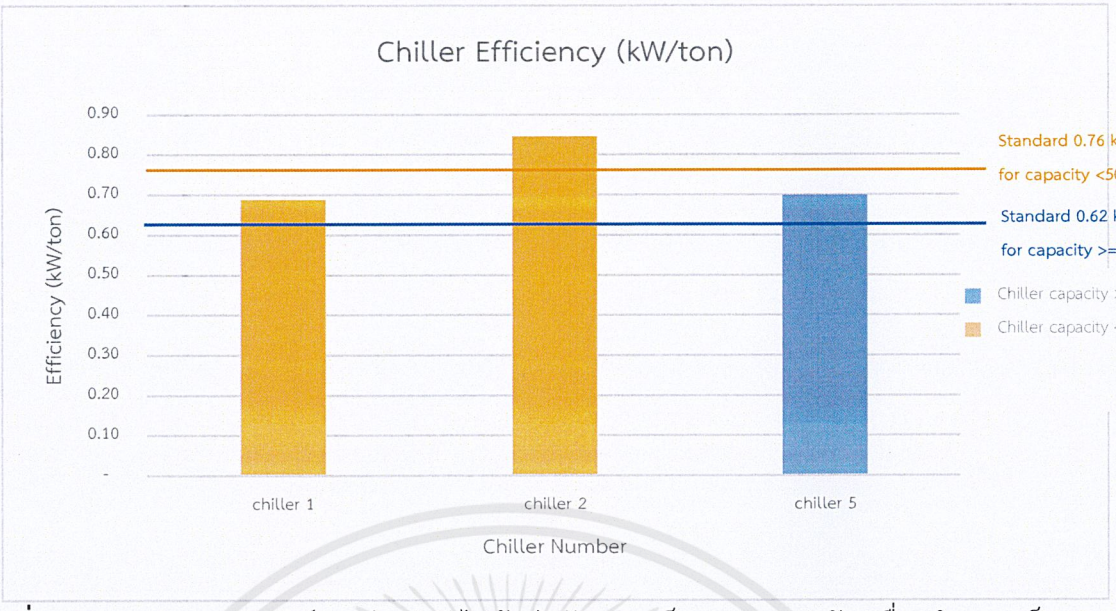
จากรูปที่ 4.18 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 และเบอร์ 2 มีค่า Evaporator Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (4 °F) อาจมีสาเหตุมาจากภายในเครื่องระเหยมีความสกปรกหรือมีตะกรันเกาะที่ผนังท่อ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นไม่ดีเท่าที่ควร



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2

จากรูปที่ 4.19 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 5 มีค่า Condenser Approach แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) อาจมีสาเหตุมาจากภายในเครื่องควบแน่นมีความสกปรกหรือมีตะกรันเกาะที่ผนังท่อ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 2

จากรูปที่ 4.20 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าเครื่องทำความเย็นมีการทำงานอยู่ในสภาวะปกติ ส่วนเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 และเบอร์ 5 มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 มีค่า Evaporator Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (4 °F) และเครื่องทำความเย็นเบอร์ 5 มีค่า Condenser Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) และยังมีปัจจัยอื่นๆอีกที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น เช่น อายุการใช้งานของเครื่องทำความเย็น ค่า Cooling Tower Approach Temperature อัตราการไหลของน้ำ หรือการตั้งค่า setpoint ของเครื่องทำความเย็น

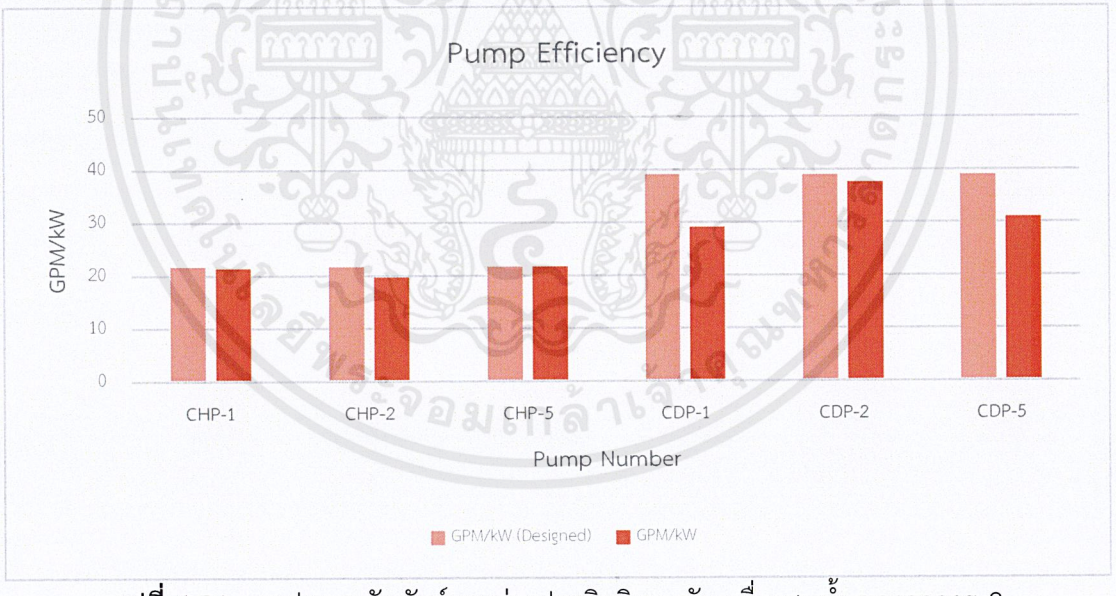
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ ทำโดยการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำระบายความร้อน กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำในหน่วย GPM/kW ซึ่งควรมีค่ามากกว่า 90% ของค่าพิกัด และเนื่องจากการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของเครื่องสูบน้ำมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน

ตารางที่ 4.12 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำของอาคาร 2

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Chilled & Condenser Water Pump (CHP & CDP)								
หมายเลขเครื่อง		CHP-1	CHP-2	CHP-5	CDP-1	CDP-2	CDP-5	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
ยี่ห้อ	-	Ebara	Ajax	Ebara	Ebara	Ajax	Ebara	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ประเภท	-	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด								
กำลังไฟฟ้า	kW	55	55	55	37	37	37	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,190	1,190	1,190	1,440	1,440	1,440	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Head	Ft.น้ำ							ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การหมุนด้วย VSD	-	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ตรวจสอบจากหน้างาน
	รูปแบบการควบคุม							สอบถามจากผู้ใช้งาน
ผลการตรวจวัด (Monitoring)								
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	1,150	1,027	1,075	1,199	1,284	1,329	ตรวจวัดด้วย Ultrasonic Flow Meter
%การเปิดวาล์วด้านขาเข้า	%							ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
%การเปิดวาล์วด้านขาออก	%							ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
Head	Ft.น้ำ	164.0	177.0	197.0	98.0	121.0	92.0	Performance Curve
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	52.4	52.4	49.8	40.8	35.9	44.2	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรืออ่านจาก VSD (ถ้ามี)
EnPI (>=90% of Designed)	**GPM/kW**	21.90	19.60	21.58	29.41	35.79	30.09	**Performance curve**
EnPI (Designed)	**GPM/kW**	**21.84**	**21.84**	**21.84**	**38.92**	**38.92**	**38.92**	**Performance curve**



รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเครื่องสูบน้ำ ของอาคาร 2

จากรูปที่ 4.21 พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเย็นเบอร์ 1, 2, 5 และเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเบอร์ 2 มีค่า GPM/kW ใกล้เคียงกับค่าพิกัด แสดงว่าเครื่องสูบน้ำทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเบอร์ 1, 5 มีค่า GPM/kW น้อยกว่าค่าพิกัดมาก แสดงว่าเครื่องสูบน้ำทำงานผิดปกติ อาจมีสาเหตุมาจากสเตรนเนอร์มีความสกปรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

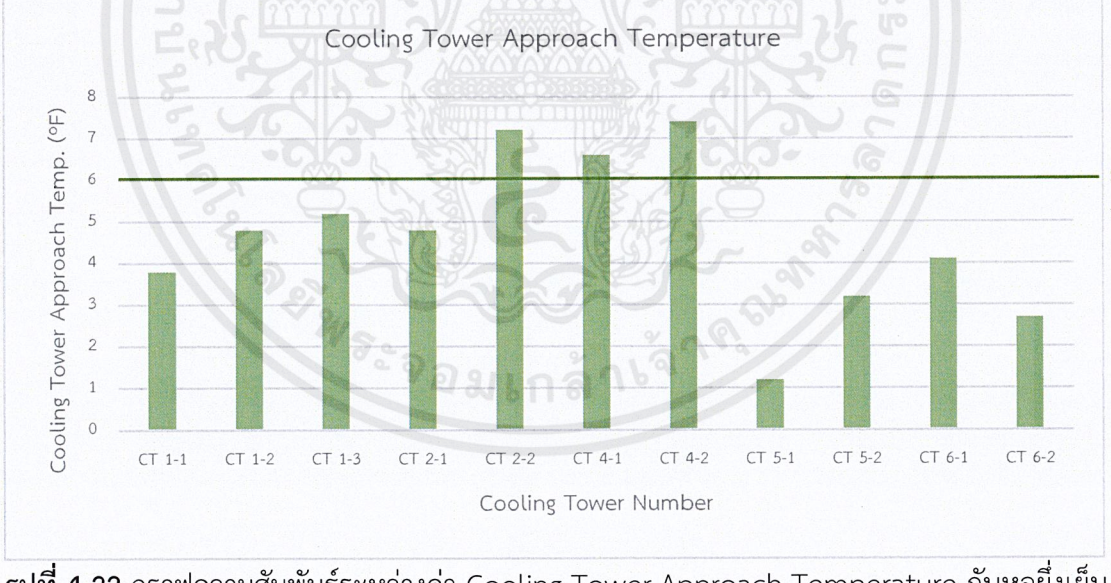
(3) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น ทำโดยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและอุณหภูมิของน้ำขาออกหอผึ่งเย็น เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็นจากค่า Cooling Tower Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 6 °F

ตารางที่ 4.13 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหอผึ่งเย็นของอาคาร 2

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Cooling Tower

หมายเลขเครื่อง		CT 1-1	CT 1-2	CT 1-3	CT 2-1	CT 2-2	CT 4-1	CT 4-2	CT 5-1	CT 5-2	CT 6-1	CT 6-2	แหล่งอ้างอิงข้อมูล
ยี่ห้อ		Shinwa	Shinwa	Shinwa	Shinwa	Shinwa	Liangchi	Liangchi	Liangchi	Liangchi	Liangchi	Liangchi	ตาม Technical Data ของเครื่อง
ประเภท		Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	Cross Flow	ตาม Technical Data ของเครื่อง
ค่าที่ได้													
Cooling Capacity	Ton	175	175	175	250	250	250	250	250	250	250	250	ตาม Technical Data ของเครื่อง
กำลังไฟฟ้าระบบมอเตอร์พัดลม	kW	5.5	5.5	5.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	ตาม Technical Data ของเครื่อง
อัตราการไหลของน้ำผ่านเย็น	GPM												ตาม Technical Data ของเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเข้า	Deg F	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของเครื่อง
อุณหภูมิน้ำออก	Deg F	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของเครื่อง
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเข้า	Deg F	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	83.0	ตาม Technical Data ของเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)													
ด้านไฟฟ้า													
กำลังไฟฟ้า	kW	2.2	5.0	5.5	6.3	6.8	7.8	4.4	5.7	7.8	7.5	7.5	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรือ VSD
ด้านน้ำและอากาศ													
อุณหภูมิน้ำหลอดเย็นขาเข้า	deg F	87.1	87.1	87.1	91.3	91.3	85.4	85.4	85.4	85.4	85.4	85.4	วัดจากท่อวัดน้ำหล่อเย็นขาออก condenser
อุณหภูมิน้ำหลอดเย็นขาเข้า	deg F	75.9	77.0	77.4	77.0	79.3	78.8	79.5	73.4	75.4	76.3	74.8	ตรวจวัดด้วย Thermometer
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	deg F	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	86.7	ตรวจวัดด้วย Weather station
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า	%RH	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	ตรวจวัดด้วย Weather station
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	deg F	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	ตรวจวัดด้วย Weather station
Cooling Tower Approach Temp.	deg F	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	ผลการคำนวณ (1)
Range		11.2	10.1	9.7	14.3	12.0	6.6	5.9	12.0	10.0	9.1	10.6	ผลการคำนวณ (2)
ElvPI	**Thermal Efficiency (%)**	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	**ผลการคำนวณ (3)**
ElvPI (Standard) ไม่น้อยกว่า	**Thermal Efficiency (%)**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**58.8%**	**ผลการคำนวณ (4)**



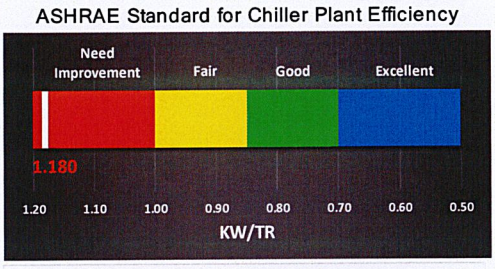
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cooling Tower Approach Temperature กับหอผึ่งเย็นของอาคาร 2

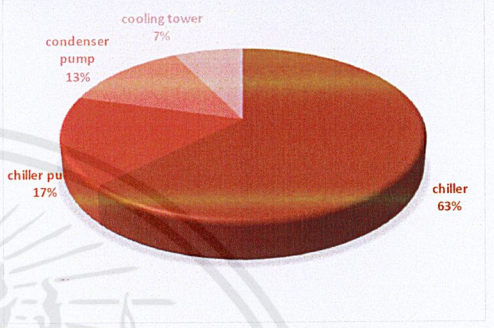
จากรูปที่ 4.22 สามารถสรุปได้ว่า หอผึ่งเย็นเบอร์ 2-2, 4-1, 4-2 มีค่า Cooling Tower Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) อาจมีสาเหตุมาจากตะกรันและตะไคร่น้ำที่เกาะตามฟิลเลอร์ ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศไม่ดีเท่าที่ควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)			
รายการเครื่องจักร อุปกรณ์	หมายเลขเครื่อง	ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Chiller	CH-01	238.05	163.5
	CH-02	231.86	195.9
	CH-05	305.80	213.8
Chilled water pump	CHP-1	-	52.4
	CHP-2	-	52.4
	CHP-5	-	49.8
Condenser water pump	CDP-1	-	40.8
	CDP-2	-	35.9
	CDP-5	-	44.2
Cooling tower	CT 1-1	-	2.2
	CT 1-2	-	5.0
	CT 1-3		5.5
	CT 2-1	-	6.3
	CT 2-2	-	6.8
	CT 4-1	-	7.8
	CT 4-2	-	4.4
	CT 5-1	-	5.7
	CT 5-2	-	7.8
	CT 6-1	-	7.5
	CT 6-2	-	7.5
ผลรวมทั้งระบบ		775.71	915.2
ประสิทธิภาพการความเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp		1.180	
COP		2.981	

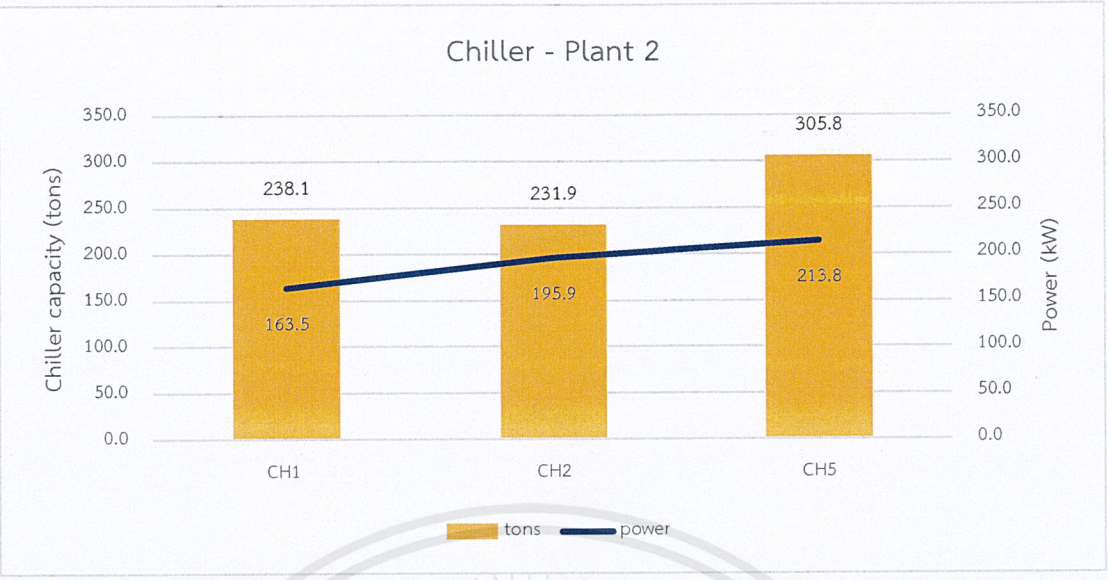




รูปที่ 4.23 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 2 ช่วงภาระการทำงานสูง

จากรูปที่ 4.23 พบว่าระบบทำความเย็นของอาคาร 2 ในช่วงภาระการทำงานสูง มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นรวมทั้งระบบ 1.180 kW/TRp ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ ASHRAE Standard แล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ ต้องการปรับปรุง (Need Improvement) เนื่องจากอาคาร 2 มีเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 และเบอร์ 5 มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน จึงส่งผลทำให้ภาพรวมของระบบทำความเย็นอยู่ในเกณฑ์ ต้องการปรับปรุง (Need Improvement) และจากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 ทำความเย็นได้ใกล้เคียงกับเครื่องทำความเย็นเบอร์ 1 แต่ใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่า แสดงว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 ทำงานผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการทำความเย็น (tons), กำลังไฟฟ้า (kW) กับเครื่องทำความเย็น ของอาคาร 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) แนวทางการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ของอาคาร 2 จะเสนอเป็น 2 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 คือเปิดเครื่องทำความเย็น 3 เครื่องเหมือนเดิม แต่เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นโดยการทำความสะอาดอุปกรณ์ในระบบ ได้แก่ เครื่องระเหย เครื่องควบแน่น และหอผึ่งเย็น เนื่องจากค่า Evaporator Approach Temperature, Condenser Approach Temperature และ Cooling Tower Approach Temperature แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน

รูปแบบที่ 2 คือเสนอให้ปรับตั้งอุณหภูมิตามผู้ออกแบบ, ลดการเดินเครื่องทำความเย็นลง 1 เครื่องขณะที่ได้รับปริมาณความเย็นเท่าเดิมและทำการปรับปรุงเครื่องอัดให้มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 80% เนื่องจากปัจจุบันอาคารที่ 2 มีความต้องการใช้ความเย็น 775.71 ton ขณะที่พิกัดเครื่องทำความเย็นรวมกัน 3 เครื่อง อยู่ที่ 1,350 ton ซึ่งมากกว่า 1.74 เท่า ดังนั้นสามารถเสนอแนวทางการปรับปรุงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 มาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร 2

มาตรการประหยัดพลังงาน	มูลค่าผลประหยัด (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน)	มูลค่าผลประหยัด (บาท/เดือน)	ผลประหยัดของค่าไฟฟ้าในระบบทำความเย็น (%)
รูปแบบที่ 1 เดินเครื่องทำความเย็น 3 เครื่องเหมือนเดิม			
2.1 การทำความสะอาดเครื่องระเหยเบอร์ 1	865.64	2,865.26	0.06
2.2 การทำความสะอาดเครื่องระเหยเบอร์ 2	2,666.56	8,826.32	0.18
2.3 การทำความสะอาดเครื่องควบแน่นเบอร์ 5	1,615.98	5,348.90	0.11
2.4 การทำความสะอาดหอผึ่งเย็นเบอร์ 2-2	2,370.28	7,845.62	0.16
2.5 การทำความสะอาดหอผึ่งเย็นเบอร์ 4-1, 4-2	4,309.28	14,263.73	0.29
2.6 ทำความสะอาดสเตรน-เนอร์ของเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน CDP1	5,311.17	17,579.99	0.35
2.7 ทำความสะอาดสเตรน-เนอร์ของเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน CDP5	4,452.80	14,738.77	0.29
รวมมูลค่าผลประหยัดพลังงาน (ตัวเลือกที่ 1)	**21,591.72**	**71,468.59**	**1.43**
รูปแบบที่ 2 เดินเครื่องทำความเย็น 2 เครื่อง			
2.8 ปรับตั้งอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็นตามมาตรฐาน, ลดการใช้งานเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 และทำการ overhaul compressor ให้มีประสิทธิภาพ 80%	14,066.79	46,561.09	0.93
รวมมูลค่าผลประหยัดพลังงาน (ตัวเลือกที่ 2)	**14,066.79**	**46,561.09**	**0.93**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 อาคาร 3

(1) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น ทำโดยการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า-ขาออกเครื่องระเหยและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นในหน่วย kW/ton และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ของกระทรวงพลังงาน และวิเคราะห์ค่า Evaporator Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 4 °F และค่า Condenser Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่น) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 6 °F

จากตารางที่ 4.1 สามารถคำนวณประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐานได้ดังนี้

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สภาวะจริงและสภาวะมาตรฐาน สำหรับอาคาร 3

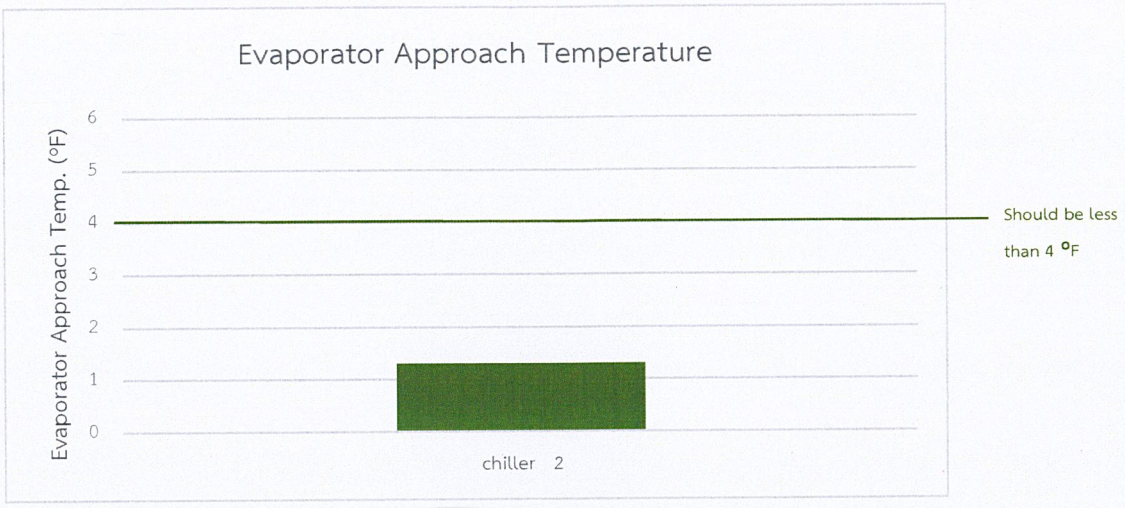
Chiller Number		การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทำความเย็นที่สภาวะจริง			ระดับการใช้พลังงานที่สภาวะมาตรฐาน				
		ภาระโหลดการทำความเย็น (kW)	ตันความเย็นที่ทำได้จริง (tons)	kW/ton ที่สภาวะจริง	ค่าแก้ไข correction factor		กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	ตันความเย็น (tons)	kW/ton ที่สภาวะมาตรฐาน
					kW	ton			
chiller 2	high load	96.58	74.43	1.30	1.09	0.87	105.27	64.75	1.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3

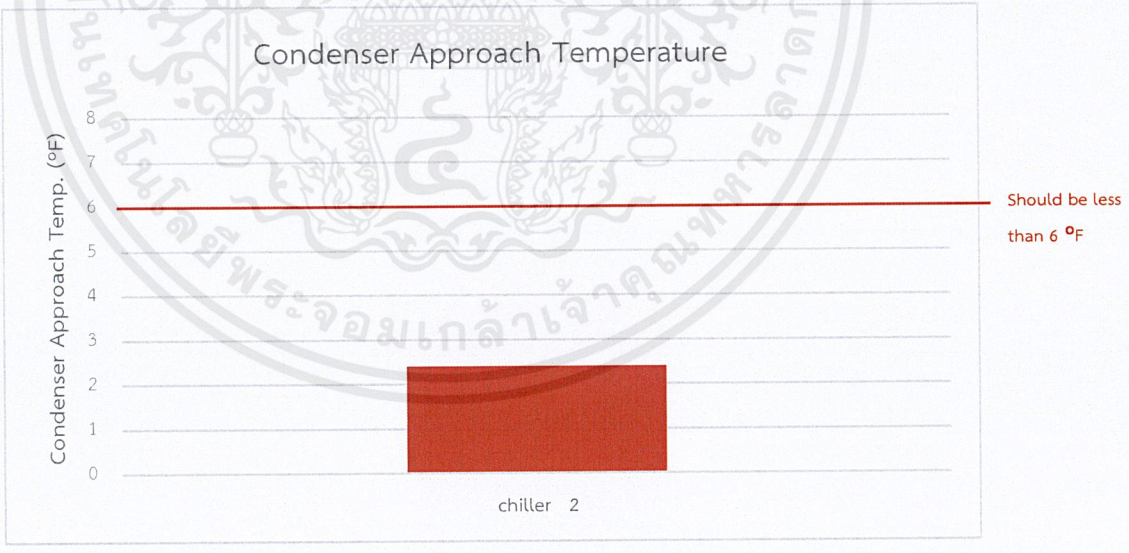
ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Water Cooled Water Chiller			
Plant		EMTC 3	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
หมายเลขเครื่อง		CH-02	
ยี่ห้อ	-	York	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด			
ขนาดการทำความเย็น (TR)	TR	300	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)	kW	218	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)	kW/TR	0.727	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดสารทำความเย็น	-	R-134a	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดคอมเพรสเซอร์	-	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมความเร็วรอบ	-	Variable Speed	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	720	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	Deg.F	55.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	45.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	900	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	Deg.F	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	Deg.F	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Set Point อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	50.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Demand Limit	%	50%	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)			
ข้อมูลด้านน้ำเย็น			
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	714.6	จากการตรวจวัด
อัตราส่วนอัตราการไหลต่อพิกัดความสามารถในการทำความเย็น	GPM/TR	2.38	จากการคำนวณ
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	deg.F	52.5	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	deg.F	50.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evap.	deg.F	48.8	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Evaporator Approach Temp.	deg.F	1.3	อ่านค่าจากหน้าเครื่องหรือจากการคำนวณ (3)
ความสามารถในการทำความเย็น	TR	74.4	จากการคำนวณ (1)
ค่าแก้ไข ตันทำความเย็น		0.87	จากตารางค่าแก้ไข
ความสามารถในการทำความเย็น (corrected)	TR	64.8	
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น			
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	GPM	350.87	จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	77.6	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	84.8	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Cond.	deg.F	87.3	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Condenser Approach Temp.	deg.F	2.4	จากการคำนวณ (4)
ข้อมูลด้านไฟฟ้า			
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	96.6	จากการตรวจวัด
ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า		1.09	จากการคำนวณ (1)
กำลังไฟฟ้า (corrected)	kW	105.3	
EnPI (at actual)	**kW/TR**	1.297	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (corrected)	**kW/TR**	1.625	
EnPI (Standard) : ไม่เกิน	**kW/TR**	**0.760**	**อ้างอิงตามประกาศกระทรวงฯ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Evaporator Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3

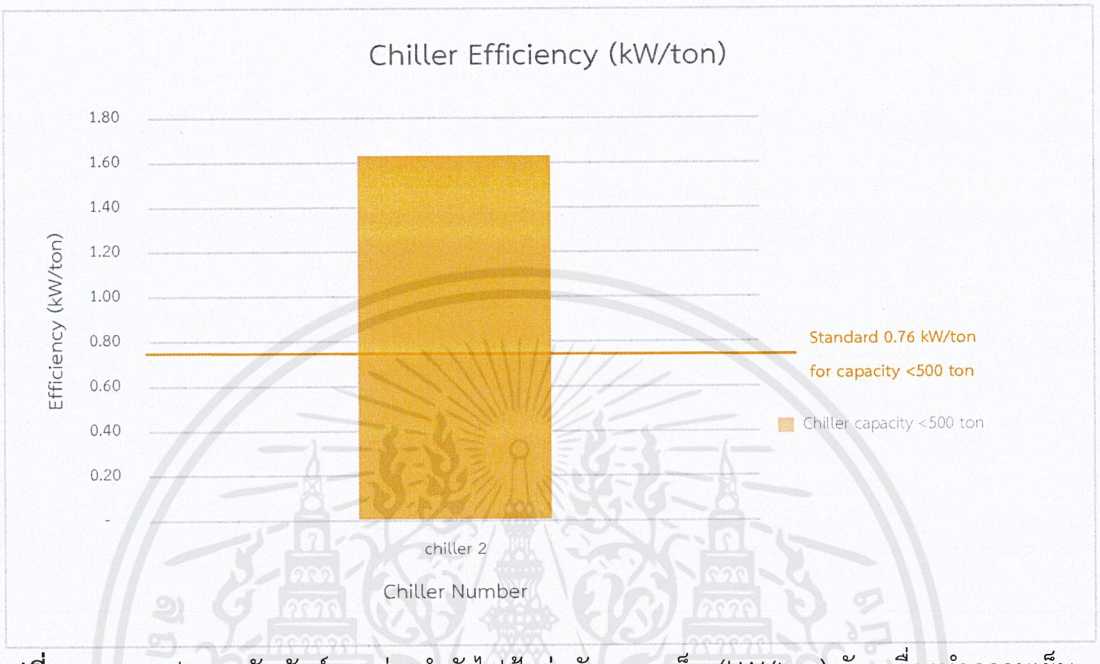
จากรูปที่ 4.25 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 ของอาคาร 3 มีค่า Evaporator Approach Temperature ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (4 °F) แสดงว่ามีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นดี



รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Condenser Approach Temperature กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 ของอาคาร 3 มีค่า Condenser Approach Temperature ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F) แสดงว่ามีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและสารทำความเย็นดี



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) กับเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3

จากรูปที่ 4.27 พบว่าเครื่องทำความเย็นเบอร์ 2 มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) มีค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น (kW/ton) แย่กว่าเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากเครื่องทำความเย็นที่โรงงานใช้งานมีขนาด 300 ton แต่อาคารที่ 3 ต้องการเพียง 64.8 ton ส่งผลให้เครื่องทำความเย็นทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ

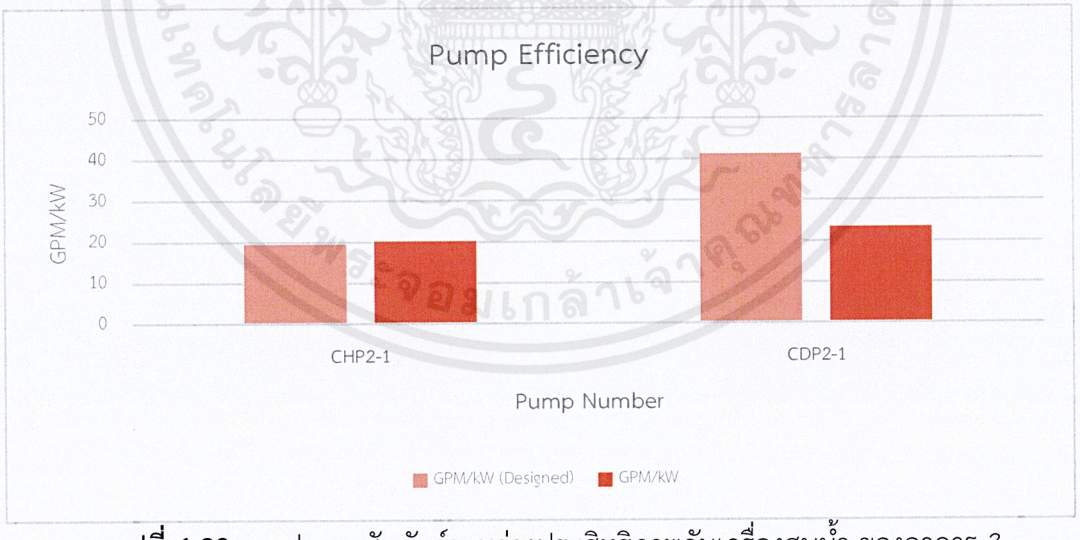
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ ทำโดยการตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำระบายความร้อน กำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำในหน่วย GPM/kW ซึ่งควรมีค่ามากกว่า 90% ของค่าพิกัด และเนื่องจากการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของเครื่องสูบน้ำมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งวัน

ตารางที่ 4.17 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องสูบน้ำของอาคาร 3

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Chilled & Condenser Water Pump (CHP & CDP)				
หมายเลขเครื่อง		CHP-2	CDP-2	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
ยี่ห้อ	-	Grundfos	Grundfos	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ประเภท	-	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด				
กำลังไฟฟ้า	kW	37	22	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	720	906	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Head	Ft.น้ำ	141	79	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมด้วย VSD	-	ไม่มี	ไม่มี	ตรวจสอบจากหน้างาน
	รูปแบบการควบคุม			สอบถามจากผู้ใช้งาน
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	715	351	ตรวจวัดด้วย Ultrasonic Flow Meter
%การเปิดวาล์วด้านขาเข้า	%	100	100	ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
%การเปิดวาล์วด้านขาออก	%	100	100	ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
Head	Ft.น้ำ	144.0	92.0	Performance Curve
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	35.5	15.1	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรืออ่านจาก VSD (ถ้ามี)
EnPI (>=90% of Designed)	**GPM/kW**	**20.14**	**23.28**	**Performance curve**
EnPI (Designed)	**GPM/kW**	**19.46**	**41.18**	**Performance curve**



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเครื่องสูบน้ำ ของอาคาร 3

จากรูปที่ 4.28 พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเย็นเบอร์ 2-1 มีค่า GPM/kW ใกล้เคียงค่าพิกัด แสดงว่าเครื่องสูบน้ำทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเบอร์ 2-1 มีค่า GPM/kW ต่ำกว่าค่าพิกัดมาก แสดงว่าเครื่องสูบน้ำทำงานผิดปกติ อาจมีสาเหตุมาจากสเตรนเนอร์มีความสกปรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

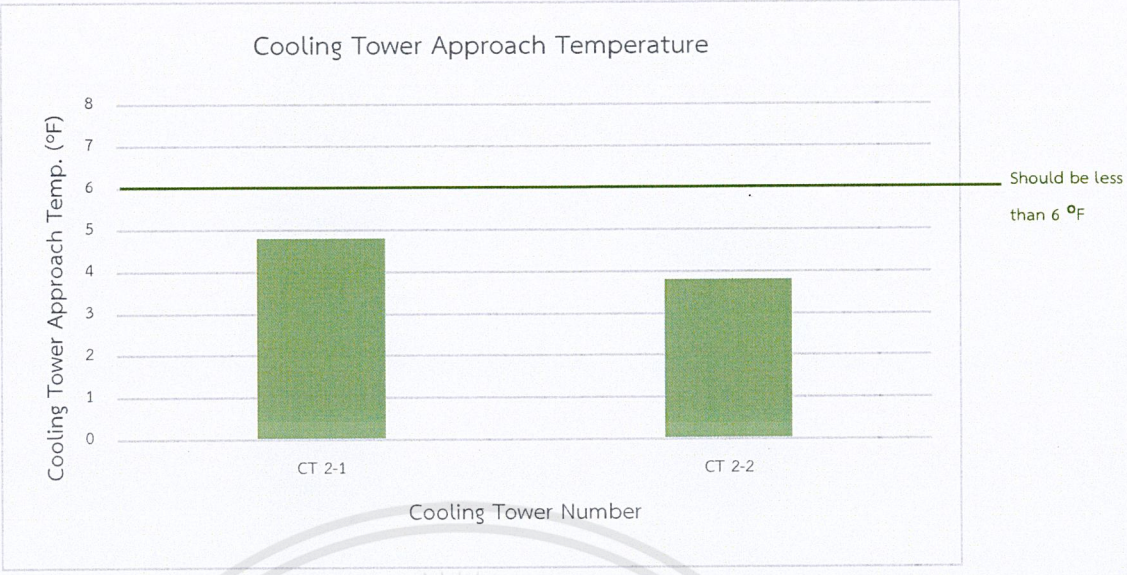
(3) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น ทำโดยการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้งาน อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศและอุณหภูมิของน้ำขาออกหอผึ่งเย็น เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็นจากค่า Cooling Tower Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น) ซึ่งควรมีค่าไม่เกิน 6 °F

ตารางที่ 4.18 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของหอผึ่งเย็นของอาคาร 3

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Cooling Tower				
หมายเลขเครื่อง		CT 2-1	CT 2-2	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
ยี่ห้อ	-	Liangchi	Liangchi	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ประเภท	-	Cross Flow	Cross Flow	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด				
Cooling Capacity	Ton	250	250	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลม	kW	7.5	7.5	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	900	900	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเข้า	Deg.F	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำออก	Deg.F	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	Deg.F	83.0	83.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
ด้านไฟฟ้า				
กำลังไฟฟ้า	kW	7.5	7.7	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรือ VSD
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น				
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	84.8	84.8	
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เบซิน	deg.F	73.8	75.7	ตรวจวัดด้วย Thermometer
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศขาเข้า	deg.F	86.7	86.7	ตรวจวัดด้วย Weather station
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า	%RH	50.1	50.1	ตรวจวัดด้วย Weather station
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	deg.F	72.2	72.2	ตรวจวัดด้วย Weather station
Cooling Tower Approach Temp.	deg.F	1.6	3.6	จากการคำนวณ (1)
Range		11.1	9.1	จากการคำนวณ (2)
EnPI	**Thermal Efficiency (%)**	**87.4%**	**71.8%**	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (Standard) : ไม่น้อยกว่า	**Thermal Efficiency (%)**	**58.8%**	**58.8%**	**จากการคำนวณ (4)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

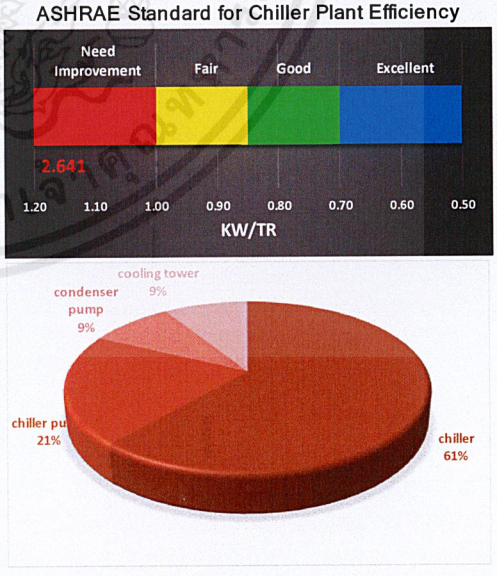


รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cooling Tower Approach Temperature กับหอผึ่งเย็นของอาคาร 3

จากรูปที่ 4.29 พบว่าหอผึ่งเย็นเบอร์ 2-1 และ 2-2 ของอาคาร 3 มีค่า Cooling Tower Approach Temperature (ผลต่างของอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้าหอผึ่งเย็น) ดีกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (6 °F)

(4) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)			
รายการเครื่องจักร อุปกรณ์	หมายเลขเครื่อง	ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)
Chiller	CH-02	64.76	105.3
Chilled water pump	CHP-2	-	35.5
Condenser water pump	CDP-2	-	15.1
Cooling tower	CT 2-1	-	7.5
	CT 2-2	-	7.7
ผลรวมทั้งระบบ		64.76	171.0
ประสิทธิภาพการความเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp		2.641	
COP		1.332	



รูปที่ 4.30 โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นทั้งระบบของอาคาร 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.30 พบว่าระบบทำความเย็นของอาคาร 3 มีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นรวมทั้งระบบ 2.641 kW/TRp เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของ ASHRAE Standard แล้วถือว่าอยู่ในเกณฑ์ต้องการปรับปรุง (Need Improvement) เนื่องจากเครื่องทำความเย็นที่โรงงานใช้งานมีขนาด 300 ton แต่อาคารที่ 3 ต้องการเพียง 64.8 ton และทำงานที่ 50 % ส่งผลให้เครื่องทำความเย็นทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ

(5) แนวทางการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า ค่า GPM/kW ของเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเบอร์ 2/1 ต่ำกว่าค่าพิกัด จึงเสนอให้ทำความสะอาดสเตรนเนอร์ของเครื่องสูบน้ำและเนื่องจากเครื่องทำความเย็นของอาคาร 3 มีขนาดใหญ่กว่าตันความเย็นที่ต้องการ จึงเสนอให้ซื้อเครื่องทำความเย็นใหม่ที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานมากขึ้น

ตารางที่ 4.19 มาตรการประหยัดพลังงานของอาคาร 3

มาตรการประหยัดพลังงาน	มูลค่าผลประหยัด (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/เดือน)	มูลค่าผลประหยัด (บาท/เดือน)	ผลประหยัดของค่าไฟฟ้าในระบบทำความเย็น (%)
3.1 ทำความสะอาดสเตรน-เนอร์ของเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน CDP2/1	3,303.10	10,933.25	0.22
3.2 เปลี่ยนเครื่องทำความเย็นให้มีขนาดเล็กลง	30,536.35	101,075.33	2.02
รวมมูลค่าผลประหยัดพลังงาน	**33,839.45**	**112,008.58**	**2.24**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลผลการตรวจวัดและการเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบทำความเย็นให้กับบริษัท เอสซีลอร์ พบว่าจะทำให้บริษัทสามารถประหยัดพลังงานลง 3.99% ของค่าใช้จ่ายพลังงานด้านระบบทำความเย็น คิดเป็นมูลค่าประมาณ 199,341.02 บาทต่อเดือน สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 มาตรการประหยัดพลังงานระบบทำความเย็นของโรงงาน

มาตรการประหยัดพลังงาน	มูลค่าผลประหยัด (บาท/เดือน)	ผลประหยัดของค่าไฟฟ้าในระบบทำความเย็น (%)
อาคาร 1	15,863.86	0.32
อาคาร 2	71,468.59	1.43
อาคาร 3	112,008.58	2.24
รวมมูลค่าผลประหยัดพลังงาน	**199,341.02**	**3.99**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ว่า

5.1.1 ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นของอาคาร 1 อยู่ในเกณฑ์ ดี (Good) แต่มีตัวแปรที่มีค่ามากกว่ามาตรฐาน ได้แก่ Evaporator Approach temperature และ Cooling tower Approach temperature ส่งผลให้ระบบทำความเย็นแลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่ดี จึงเสนอให้ทำความสะอาดเครื่องระเหยเบอร์ 1,4 และหอผึ่งเย็นเบอร์ 3/1 ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 0.32% ของค่าใช้จ่ายด้านระบบทำความเย็นของโรงงานหรือคิดเป็นมูลค่า 15,863.86 บาท/เดือน

5.1.2 ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นของอาคาร 2 อยู่ในเกณฑ์ ต้องการปรับปรุง (Need Improvement) มีผลมาเนื่องมาจากมีตัวแปรที่มีค่ามากกว่ามาตรฐาน ได้แก่ Evaporator Approach temperature, Condenser Approach temperature , GPM/kW ของเครื่องสูบน้ำ และ Cooling tower Approach temperature จากการวิเคราะห์สามารถแบ่งข้อเสนอเป็น 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือเดินเครื่องทำความเย็น 3 เครื่องแบบเดิมและทำความสะอาดเครื่องระเหยเบอร์ 1 และ 4, เครื่องควบแน่นเบอร์ 5, สเตรนเนอร์ของเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเบอร์ 1 และ 5 และหอผึ่งเย็นเบอร์ 2/2 4/1 4/2 จะสามารถลดพลังงานได้ประมาณ 1.43% ของค่าใช้จ่ายด้านระบบทำความเย็นของโรงงานหรือคิดเป็นมูลค่าประมาณ 71,468.59 บาท/เดือน รูปแบบที่ 2 คือเสนอให้ปรับตั้งอุณหภูมิตามผู้ออกแบบ, ลดการเดินเครื่องทำความเย็นลง 1 เครื่องขณะที่ได้รับปริมาณความเย็นเท่าเดิมและทำการปรับปรุงเครื่องอัดให้มีประสิทธิภาพไม่ต่ำกว่า 80% เนื่องจากปัจจุบันอาคารที่ 2 มีความต้องการใช้ความเย็น 775.71 ton ขณะที่พิกัดเครื่องทำความเย็นรวมกัน 3 เครื่อง อยู่ที่ 1,350 ton ซึ่งมากกว่า 1.74 เท่า จะสามารถลดพลังงานได้ประมาณ 0.93% ของค่าใช้จ่ายด้านระบบทำความเย็นของโรงงานหรือคิดเป็นมูลค่า 46,561.09 บาท/เดือน

5.1.3 ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นของอาคาร 3 อยู่ในเกณฑ์ ต้องการปรับปรุง (Need Improvement) เนื่องจากเครื่องทำความเย็นที่โรงงานใช้งานมีขนาด 300 ton แต่อาคารที่ 3 ต้องการเพียง 64.8 ton ส่งผลให้เครื่องทำความเย็นทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพ จึงเสนอให้ซื้อเครื่องทำความเย็นใหม่ที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานมากขึ้น และเนื่องจากเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเบอร์ 2/1 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าค่าพิกัดมาก จึงเสนอให้ทำความสะอาดสเตรนเนอร์เพื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ หากทำตามที่เสนอจะสามารถประหยัดพลังงานลงประมาณ 2.24% ของค่าใช้จ่ายด้านระบบทำความเย็นของโรงงานหรือคิดเป็นมูลค่า 112,008.58 บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากทางโรงงานสามารถปรับปรุงตามข้อเสนอที่ให้ไปทั้ง 3 อาคาร จะสามารถประหยัดพลังงานลงประมาณ 3.99% ของค่าใช้จ่ายด้านระบบทำความเย็นของโรงงานหรือคิดเป็นมูลค่า 199,341.02 บาท/เดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำ ตรวจวัดเฉพาะช่วงภาระการทำงานสูง ควรจะตรวจวัดทุกช่วงที่มีการวิเคราะห์

5.2.2 ควรตรวจวัดความดันขาเข้า-ขาออกของเครื่องสูบน้ำ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ

5.2.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็นที่วิเคราะห์นั้น ไม่ได้รับอนุญาติให้ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำขาเข้าหอผึ่งเย็น จึงอาจทำให้การวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้

5.2.4 แนะนำให้นำอุปกรณ์มาตรวจวัดเอง ไม่ควรเชื่อค่าที่หน้าจอของเครื่องทำความเย็น เพราะอาจมีความคลาดเคลื่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550. **โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยาง.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 11 สิงหาคม 2562).

[2] บริษัท หาญ เอ็นจิเนียริ่ง โซลูชั่นส์ จำกัด (มหาชน). 2560. **ระบบทำความเย็น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.harn.co.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[3] บริษัท นิวแม็ก จำกัด. 2560. **ระบบทำความเย็น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.harn.co.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[4] มารินทร์ แก้วงาม. 2554. **วัฏจักรระบบทำความเย็น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://refrigerations.blogspot.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2004. **กระบวนการของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://ienergyguru.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[6] P-H และ T-s ไดอะแกรมสำหรับวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ เข้าถึงได้จาก : http://www.mechdiploma.com (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[7] ห้างหุ้นส่วนจำกัด ดรีม ชิลเลอร์ ซิสเท็ม. 2560. **เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://dreamchiller.lnwshop.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[8] บริษัท ยอร์ค จำกัด. **เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.york.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[9] อมรภัทรดอทคอม. 2557. **ประเภทของเครื่องทำความเย็น.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.amornpat.biz (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[10] เดอะนิวส์.2559. **Trane Water Cooled Centrifugal Chiller.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.achrnews.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[11] บริษัท อินเดียมาร์ท จำกัด. **Water Cooled Reciprocating Chiller**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.indiamart.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[12] บริษัท อินเดียมาร์ท จำกัด. **Water Cooled Screw Chiller**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.indiamart.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[13] เดอะนิวส์.2560. **Water Cooled Scroll Chiller.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.achrnews.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 13 สิงหาคม 2562).

[14] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2547. **ปั๊ม**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://ienergyguru.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2562).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] บริษัท สยาม เพ็ญเทค เซลส์ จำกัด. 2558. **ปั๊มแบบโรตารี่**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://siampentech.co.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2562).

[16] คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน. 2551. **หอผึ่งเย็น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://energyauditorthai.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2562).

[17] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2547. **เครื่องส่งลมเย็น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://ienergyguru.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2562).

[18] บริษัท แอร์คอนดิชั่นนิ่ง อีควิปเมนต์ จำกัด. 2547. **Fan Coil Unit**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.skmaircon.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2562).

[19] บริษัท ยอร์ค จำกัด. **เครื่องส่งลมเย็น Air Handling Unit**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.york.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 21 สิงหาคม 2562).

[20] บริษัท หาญ เอ็นจิเนียริ่ง โซลูชั่นส์ จำกัด (มหาชน). 2560. **สารทำความเย็น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.harn.co.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 ตุลาคม 2562).

[21] ห้างหุ้นส่วนจำกัด เชียงใหม่แอร์แคร์. 2559. **สารทำความเย็น**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.thaiaircare.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 ตุลาคม 2562).

[22] คู่มือฝึกอบรม การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน. 2550. **กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 25 สิงหาคม 2562).

[23] บริษัท ฮาร์ทแมน จำกัด. 2554. **ASHRAE COP classification**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.automatedbuildings.com. (วันที่ค้นข้อมูล : 29 ตุลาคม 2562).

[24] คู่มือการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ. 2550. **มาตรการอนุรักษ์พลังงาน**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 25 ตุลาคม 2562).

[25] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550. **โปรแกรมบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 15 สิงหาคม 2562).

[26] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2550. **ประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องทำความเย็นที่สภาวะมาตรฐาน.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th. (วันที่ค้นข้อมูล : 30 สิงหาคม 2562).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

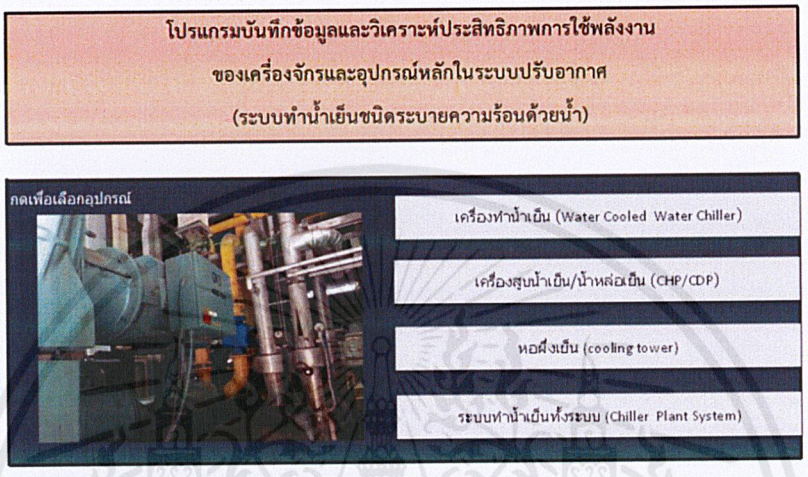
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมการคำนวณประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นของกระทรวงพลังงาน โดยนำมาปรับแก้ให้เหมาะกับการใช้งานของโรงงานมากขึ้น

1. หน้าแรกของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Water Cooled Water Chiller			
Plant		EMTC 3	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
หมายเลขเครื่อง		CH-02	
ยี่ห้อ	-	York	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด			
ขนาดการทำความเย็น (TR)	TR	300	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ (kW)	kW	218	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
สมรรถนะการทำความเย็น (kW/TR)	kW/TR	0.727	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดสารทำความเย็น	-	R-134a	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ชนิดคอมเพรสเซอร์	-	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมความเร็วรอบ	-	Variable Speed	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	720	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	Deg.F	55.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	45.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	900	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	Deg.F	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	Deg.F	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Set Point อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	Deg.F	50.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Demand Limit	%	50%	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
ผลการตรวจวัด (Monitoring)			
ข้อมูลด้านน้ำเย็น			
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	714.6	จากการตรวจวัด
อัตราส่วนอัตราการไหลต่อพิกัดความสามารถในการทำความเย็น	GPM/TR	2.38	จากการคำนวณ
อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า	deg.F	52.5	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก	deg.F	50.0	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evap.	deg.F	48.8	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Evaporator Approach Temp.	deg.F	1.3	อ่านค่าจากหน้าเครื่องหรือจากการคำนวณ (3)
ความสามารถในการทำความเย็น	TR	74.4	จากการคำนวณ (1)
ค่าแก้ไข ตันทำความเย็น		0.87	จากตารางค่าแก้ไข
ความสามารถในการทำความเย็น (corrected)	TR	64.8	จากการคำนวณ (5)
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น			
อัตราการไหลน้ำหล่อเย็น	GPM	350.87	จากการตรวจวัด
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	77.6	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก	deg.F	84.8	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Cond.	deg.F	87.3	จากข้อมูลหน้าเครื่อง
Condenser Approach Temp.	deg.F	2.4	จากการคำนวณ (4)
ข้อมูลด้านไฟฟ้า			
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	96.6	จากการตรวจวัด
ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า		1.09	จากการคำนวณ (1)
กำลังไฟฟ้า (corrected)	kW	105.3	จากการคำนวณ (6)
EnPI (at actual)	**kW/TR**	**1.297**	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (corrected)	**kW/TR**	**1.625**	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (Standard) : ไม่เกิน	**kW/TR**	**0.760**	**อ้างอิงตามประกาศกระทรวงฯ**
สูตรการคำนวณ			
(1) ความสามารถในการทำความเย็น (TR) = อัตราการไหลของน้ำเย็น (GPM) x (อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้า - อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก) (Deg.F) / 24			
(2) EnPI (kW/TR) = กำลังไฟฟ้าขาเข้า (kW) / ความสามารถในการทำความเย็น (TR)			
(3) Evaporator Approach Temperature (Deg.F) = อุณหภูมิน้ำเย็นขาออก (Deg.F) - อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Evaporartor (Deg.F)			
(4) Condenser Approach Temperature (Deg.F) = อุณหภูมิสารทำความเย็นด้าน Condenser (Deg.F) - อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก (Deg.F)			
(5) ความสามารถในการทำความเย็น (corrected) = ความสามารถในการทำความเย็น x ค่าแก้ไข ตันความเย็น			
(6) กำลังไฟฟ้า (corrected) = กำลังไฟฟ้าขาเข้า x ค่าแก้ไข กำลังไฟฟ้า			

1

2

3

4

(1) เป็นส่วนที่ใส่ข้อมูล ค่าพิกัด ของเครื่องทำความเย็น

(2) เป็นส่วนที่ใส่ข้อมูล ผลการตรวจวัด ได้แก่ ข้อมูลด้านน้ำเย็น ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็นและข้อมูลด้านการไฟฟ้า

(3) เป็นส่วนที่ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น (kW/ton)

(4) เป็นส่วนของสูตรการคำนวณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Chilled & Condenser Water Pump (CHP & CDP)				
หมายเลขเครื่อง		CHP-2	CDP-2	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
ยี่ห้อ	-	Grundfos	Grundfos	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ประเภท	-	Centrifugal	Centrifugal	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด				
กำลังไฟฟ้า	kW	37	22	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	720	906	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
Head	Ft.น้ำ	141	79	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
การควบคุมด้วย VSD	-	ไม่มี	ไม่มี	ตรวจสอบจากหน้างาน
	รูปแบบการควบคุม			สอบถามจากผู้ใช้งาน
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
อัตราการไหลของน้ำเย็น	GPM	715	351	ตรวจวัดด้วย Ultrasonic Flow Meter
%การเปิดวาล์วด้านขาเข้า	%	100	100	ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
%การเปิดวาล์วด้านขาออก	%	100	100	ตรวจสอบจากหน้าเครื่อง
Head	Ft.น้ำ	144.0	92.0	Performance Curve
กำลังไฟฟ้าขาเข้า	kW	35.5	15.1	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรืออ่านจาก VSD (ถ้ามี)
EnPI (>=90% of Designed)	**GPM/kW**	20.14	23.28	**จากการคำนวณ (2)**
EnPI (Designed)	**GPM/kW**	**19.46**	**41.18**	**จากการคำนวณ (1)**
สูตรการคำนวณ				
(1) GPM/kW (Desiged) = อัตราการไหลของน้ำ ที่ค่าพิกัด / กำลังไฟฟ้า ที่ค่าพิกัด				
(2) GPM/kW = อัตราการไหลของน้ำ การตรวจวัด / กำลังไฟฟ้า การตรวจวัด				

1

2

3

4

(1) เป็นส่วนที่ใส่ข้อมูล ค่าพิกัด ของเครื่องสูบน้ำ

(2) เป็นส่วนที่ใส่ข้อมูล ผลการตรวจวัด

(3) เป็นส่วนที่ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (GPM/kW)

(4) เป็นส่วนของสูตรการคำนวณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพหอผึ่งเย็น

ตารางบันทึกข้อมูลและผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ Cooling Tower				
หมายเลขเครื่อง		CT 2-1	CT 2-2	**แนวทางการตรวจวัด/ที่มาของข้อมูล**
ยี่ห้อ	-	Liangchi	Liangchi	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ประเภท	-	Cross Flow	Cross Flow	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ค่าพิกัด				
Cooling Capacity	Ton	250	250	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์พัดลม	kW	7.5	7.5	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น	GPM	900	900	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำเข้า	Deg.F	100.0	100.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิน้ำออก	Deg.F	90.0	90.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	Deg.F	83.0	83.0	ตาม Technical Data ของผู้ผลิต
ผลการตรวจวัด (Monitoring)				
ด้านไฟฟ้า				
กำลังไฟฟ้า	kW	7.5	7.7	ตรวจวัดด้วย Power Meter หรือ VSD
ข้อมูลด้านน้ำหล่อเย็น				
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า	deg.F	84.8	84.8	
อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เบซิ่น	deg.F	73.8	75.7	ตรวจวัดด้วย Thermometer
อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศขาเข้า	deg.F	86.7	86.7	ตรวจวัดด้วย Weather station
ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้า	%RH	50.1	50.1	ตรวจวัดด้วย Weather station
อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า	deg.F	72.2	72.2	ตรวจวัดด้วย Weather station
Cooling Tower Approach Temp.	deg.F	1.6	3.6	จากการคำนวณ (1)
Range		11.1	9.1	จากการคำนวณ (2)
EnPI	**Thermal Efficiency (%)**	87.4%	71.8%	**จากการคำนวณ (3)**
EnPI (Standard) : ไม่น้อยกว่า	**Thermal Efficiency (%)**	**58.8%**	**58.8%**	**จากการคำนวณ (4)**

สูตรการคำนวณ

(1) Cooling Tower Approach Temperature (Deg.F) = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก (Deg.F) - อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า (Deg.F)

(2) Range (Deg.F) = อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า (Deg.F) - อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก (Deg.F)

(3) Thermal Efficiency (%) = $\frac{\text{(อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า - อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออก) (Deg.F)}}{\text{(อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า - อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า) (Deg.F)}} \times 100\%$

(4) Thermal Efficiency (%) (Baseline) = $\frac{\text{(อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า - อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาออกที่ควรทำได้) (Deg.F)}}{\text{(อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นขาเข้า - อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศขาเข้า) (Deg.F)}} \times 100\%$

1

2

3

4

(1) เป็นส่วนที่ใส่ข้อมูล ค่าพิกัด ของหอผึ่งเย็น

(2) เป็นส่วนที่ใส่ข้อมูล ผลการตรวจวัด

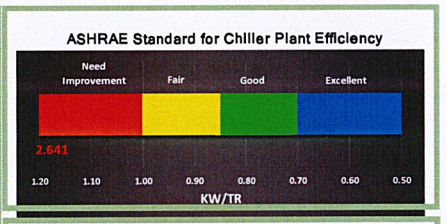
(3) เป็นส่วนที่ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของหอผึ่งเย็น (%)

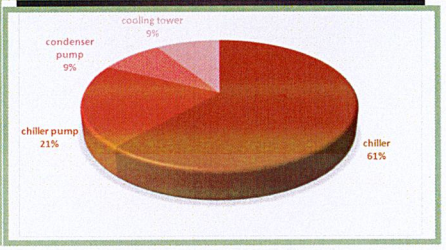
(4) เป็นส่วนของสูตรการคำนวณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบทำความเย็นทั้งระบบ

ผลการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)					
รายการเครื่องจักรอุปกรณ์	หมายเลขเครื่อง	ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kW)		
Chiller	CH-02	64.8	105.3	1.625	kW/TR
Chilled water pump	CHP-2	-	35.5	20.14	GPM/kW
Condenser water pump	CDP-2	-	15.1	23.28	GPM/kW
Cooling tower	CT 2-1	-	7.5	87.4%	
	CT 2-2	-	7.7	71.8%	
ผลรวมทั้งระบบ		64.8	171.0		
ประสิทธิภาพการความเย็นรวมทั้งระบบ (kW/TRp)		2.641			
COP		1.332			





1

2

3

(1) เป็นส่วนที่ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นทั้งระบบ (kW/ton)

(2) เป็นส่วนที่เทียบผลการตรวจวัดกับเกณฑ์ของ ASHRAE Standard

(3) เป็นส่วนที่บอกถึงเปอร์เซ็นต์การใช้ไฟฟ้า (kW) ของอุปกรณ์ต่างๆในระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณผลประหยัดของแต่ละมาตรการที่เสนอให้กับโรงงาน

มาตรการที่ 1.1 การทำความสะอาดเครื่องระเหย

1. อุปกรณ์ที่ปรับปรุง เครื่องทำความเย็นเบอร์ 1

2. จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุง 1 เครื่อง

3. สถานที่ อาคาร 1

4. สภาพก่อนการปรับปรุง

ผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวด้านเครื่องระเหยและอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกมีผลต่าง 4.5 °F

5. สภาพหลังการปรับปรุง

ผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวด้านเครื่องระเหยและอุณหภูมิน้ำเย็นขาออกควรมีผลต่าง 4 °F

6. วิธีการตรวจสอบผลการประหยัดหลังปรับปรุง

ทุกๆ 1 °F ที่เกิน จะทำให้ค่า kW/ton ลดลงประมาณ 1.5% ดังนั้นถ้าทำความสะอาดเครื่องระเหยแล้วค่าลงมาอยู่ที่ 4 °F จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นดีขึ้นประมาณ 0.75%

7. เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

	กิโลวัตต์	kW/เดือน	บาท/เดือน
ก่อนปรับปรุง	288.39	207,637.78	687,281.04
หลังปรับปรุง	286.22	206,080.49	682,126.43
ประหยัดได้ (x0.7)	1.51	1,090.10	3,608.23
เงินลงทุน		24,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน		6.65	ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วิธีการคำนวณ

ข้อมูลเบื้องต้น

เครื่องทำความเย็นทำความเย็นได้	467.4	ตันความเย็น
ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นเดิม	0.617	kW/ton
จำนวนชั่วโมงการเปิดใช้งาน	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	30	วัน/เดือน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	3.31	บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง
safety factor	0.7	

ก่อนการปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	0.617 x 467.4	
	=	288.39	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	288.39 x 24 x 30	
	=	207,637.78	kW/เดือน
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	207,637.78 x 3.31	
	=	687,281.04	บาท/เดือน

หลังการปรับปรุง

หลังปรับปรุง	=	(4.5 - 4) x 1.5	
	=	0.75	%
ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น	=	0.617 x (1 - 0.0075)	
	=	0.612	kW/ton
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	0.612 x 238.1	
	=	286.22	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง	=	286.22 x 24 x 30	
	=	206,080.49	kW/เดือน
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	206,080.49 x 3.31	
	=	682,126.43	บาท/เดือน

ผลประหยัดที่ได้

ผลประหยัดที่ได้	=	(288.39 - 286.22) x 0.7	
	=	1.51	กิโลวัตต์
พลังงานที่ประหยัดได้	=	(207,637.78 - 206,080.49) x 0.7	
	=	1,090.10	kW/เดือน
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	(687,281.04 - 682,126.43) x 0.7	
	=	3,608.23	บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรการที่ 2.3 การทำความสะอาดเครื่องควบแน่น

1. อุปกรณ์ที่ปรับปรุง เครื่องทำความเย็นเบอร์ 5

2. จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุง 1 เครื่อง

3. สถานที่ อาคาร 2

4. สภาพก่อนการปรับปรุง

ผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวด้านเครื่องควบแน่นและอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกมีผลต่าง 7 °F

5. สภาพหลังการปรับปรุง

ผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นอิ่มตัวด้านเครื่องควบแน่นและอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนขาออกควรมีผลต่าง 6 °F

6. วิธีการตรวจสอบผลการประหยัดหลังปรับปรุง

ทุกๆ 1 °F ที่เกิน จะทำให้ค่า kW/ton ลดลงประมาณ 1.5% ดังนั้นถ้าทำความสะอาดแล้วผลต่างลงมาอยู่ที่ 6 °F จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นดีขึ้นประมาณ 1.5%

7. เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

	กิโลวัตต์	kWh/เดือน	บาท/เดือน
ก่อนปรับปรุง	213.75	153,903.02	509,419.01
หลังปรับปรุง	210.55	151,594.48	501,777.72
ประหยัดได้ (x0.7)	2.24	1,615.98	5,348.90
เงินลงทุน		24,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน		4.49	เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วิธีการคำนวณ

ข้อมูลเบื้องต้น

เครื่องทำความเย็นทำความเย็นได้	305.8	ตันความเย็น
ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นเดิม	0.699	kW/ton
จำนวนชั่วโมงการเปิดใช้งาน	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	30	วัน/เดือน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	3.31	บาท/kWh
safety factor	0.7	

ก่อนการปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	0.699 x 305.8	
	=	213.75	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	213.75 x 24 x 30	
	=	153,903.02	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	153,903.02 x 3.31	
	=	509,419.01	บาท/เดือน

หลังการปรับปรุง

หลังปรับปรุง	=	(7-6) x 1.5	
	=	1.5	%
ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น	=	0.699 x (1 - 0.015)	
	=	0.689	kW/ton
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	0.689 x 213.75	
	=	210.55	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง	=	210.55 x 24 x 30	
	=	151,594.48	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	151,594.48 x 3.31	
	=	501,777.72	บาท/เดือน

ผลประหยัดที่ได้

ผลประหยัดที่ได้	=	(213.75 - 210.55) x 0.7	
	=	2.24	กิโลวัตต์
พลังงานที่ประหยัดได้	=	(153,903.02 - 151,594.48) x 0.7	
	=	1,615.98	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	(509,419.01 - 501,777.72) x 0.7	
	=	5,348.90	บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรการที่ 2.4 การทำความสะอาดหอผึ่งเย็น

1. อุปกรณ์ที่ปรับปรุง หอผึ่งเย็น CT2-2

2. จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุง 1 เซลล์

3. สถานที่ อาคาร 2

4. สภาพก่อนการปรับปรุง

ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเดือนยกของอากาศและอุณหภูมิน้ำขาออกหอผึ่งเย็นมีผลต่าง 7.2 °F

5. สภาพหลังการปรับปรุง

ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเดือนยกของอากาศและอุณหภูมิน้ำขาออกหอผึ่งเย็นควรมีผลต่างไม่เกิน 6 °F

6. วิธีการตรวจสอบผลการประหยัดหลังปรับปรุง

ทุกๆ 1 °F ที่เกิน จะทำให้ค่า kW/ton ลดลงประมาณ 2% ดังนั้นถ้าทำความสะอาดแล้วผลต่างลงมาอยู่ที่ 6 °F จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นดีขึ้นประมาณ 2.4%

7. เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

	กิโลวัตต์	kWh/เดือน	บาท/เดือน
ก่อนปรับปรุง	195.96	141,087.96	467,001.15
หลังปรับปรุง	191.25	137,701.85	455,793.12
ประหยัดได้ (x0.7)	3.29	2,370.28	7,845.62
เงินลงทุน		0.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน		0.00	เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วิธีการคำนวณ

ข้อมูลเบื้องต้น

เครื่องทำความเย็นทำความเย็นได้	231.9	ตันความเย็น
ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นเดิม	0.845	kW/ton
จำนวนชั่วโมงการเปิดใช้งาน	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	30	วัน/เดือน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	3.31	บาท/kWh
safety factor	0.7	

ก่อนการปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	0.845 x 231.9	
	=	195.96	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	195.96 x 24 x 30	
	=	141,087.96	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	141,087.96 x 3.31	
	=	467,001.15	บาท/เดือน

หลังการปรับปรุง

หลังปรับปรุง	=	(7.2 - 6) x 2	
	=	2.4	%
ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น	=	0.845 x (1 - 0.024)	
	=	0.825	kW/ton
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	0.825 x 213.75	
	=	191.25	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง	=	191.25 x 24 x 30	
	=	137,701.85	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	137,701.85 x 3.31	
	=	455,793.12	บาท/เดือน

ผลประหยัดที่ได้

ผลประหยัดที่ได้	=	(195.96 - 191.25) x 0.7	
	=	3.29	กิโลวัตต์
พลังงานที่ประหยัดได้	=	(141,087.96 - 137,701.85) x 0.7	
	=	2,370.28	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	(467,001.15 - 455,793.12) x 0.7	
	=	7,845.62	บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรการที่ 2.6 การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำโดยการทำความสะอาดสเตรนเนอร์

1. อุปกรณ์ที่ปรับปรุง เครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเบอร์ 1

2. จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุง 1 เครื่อง

3. สถานที่ อาคาร 2

4. สภาพก่อนการปรับปรุง

GPM/kW จากการตรวจวัดมีค่ามากกว่า GPM/kW จากค่าพิกัด

5. สภาพหลังการปรับปรุง

สมมติให้หลังปรับปรุง GPM/kW มีค่าเท่ากับ
ค่าพิกัด

6. วิธีการตรวจสอบผลการประหยัดหลังปรับปรุง

ตรวจวัดค่า GPM/kW ก่อนและหลังทำความสะอาด และนำมาคิดผลประหยัด

7. เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

	กิโลวัตต์	kWh/เดือน	บาท/เดือน
ก่อนปรับปรุง	41.34	29,768.28	98,532.99
หลังปรับปรุง	30.81	22,180.88	73,418.73
ประหยัดได้ (x0.7)	7.38	5,311.17	17,579.99
เงินลงทุน		0.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน		0.00	เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วิธีการคำนวณ

ข้อมูลเบื้องต้น

อัตราการไหล	1,199	แกลลอน/นาที
ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ	29	GPM/kW
จำนวนชั่วโมงการเปิดใช้งาน	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	30	วัน/เดือน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	3.31	บาท/kWh
safety factor	0.7	

ก่อนการปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	1,199 / 29	
	=	41.34	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	41.34 x 24 x 365	
	=	29,768.28	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	29,768.28 x 3.31	
	=	98,532.99	บาท/เดือน

หลังการปรับปรุง

ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ	=	38.92	GPM/kW
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	1,199 / 38.92	
	=	30.81	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง	=	30.81 x 24 x 365	
	=	22,180.88	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	22,180.88 x 3.31	
	=	73,418.73	บาท/เดือน

ผลประหยัดที่ได้

ผลประหยัดที่ได้	=	(41.34 - 30.81) x 0.7	
	=	7.38	กิโลวัตต์
พลังงานที่ประหยัดได้	=	(29,768.28 - 22,180.88) x 0.7	
	=	5,311.17	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	(98,532.99 - 73,418.73) x 0.7	
	=	17,579.99	บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรการที่ 2.8 ปรับตั้งอุณหภูมิตามผู้ออกแบบ, ลดการเดินเครื่องทำความเย็นลง 1 เครื่องและปรับปรุงเครื่องอัดให้มีประสิทธิภาพ 80%

1. อุปกรณ์ที่ปรับปรุง เครื่องทำความเย็น

2. จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุง 2 เครื่อง

3. สถานที่ อาคาร 2

4. สภาพก่อนการปรับปรุง

เดินเครื่องทำความเย็น 3 เครื่อง

5. สภาพหลังการปรับปรุง

เดินเครื่องทำความเย็น 2 เครื่อง ปรับตั้งอุณหภูมิตามผู้ออกแบบ, ลดการเดินเครื่องทำความเย็นลง 1 เครื่อง และปรับปรุงเครื่องอัดให้มีประสิทธิภาพ 80% จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้

6. วิธีการตรวจสอบผลการประหยัดหลังปรับปรุง

ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าก่อนและหลังปรับปรุง

7. เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

	กิโลวัตต์	kWh/เดือน	บาท/เดือน
ก่อนปรับปรุง	455.46	327,929.23	1,085,445.76
หลังปรับปรุง	427.54	307,833.81	1,018,929.91
ประหยัดได้ (x0.7)	19.54	14,066.79	46,561.09
เงินลงทุน		0.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน		0.00	เดือน

8. วิธีการคำนวณ

ข้อมูลเบื้องต้น

กำลังไฟฟ้ารวมก่อนปรับปรุง (3 เครื่อง)	455.46	กิโลวัตต์
จำนวนชั่วโมงการเปิดใช้งาน	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	30	วัน/เดือน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย	3.31	บาท/kWh
safety factor	0.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนการปรับปรุง

chiller	COP	kW	kWh/month	baht/month
ch1	7.29	127.59	91,865.41	304,074.52
ch2	6.06	149.48	107,625.97	356,241.96
ch5	6.91	178.39	128,437.85	425,129.28
total		**455.46**	**327,929.23**	**1,085,445.76**

กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง = 455.46 กิโลวัตต์

พลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุง = 455.46 x 24 x 30

= 327,929.23 kWh/เดือน

ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง = 327,929.23 x 3.31

= 1,085,445.76 บาท/เดือน

หลังการปรับปรุง

chiller	COP	kW	kWh/month	baht/month
ch1	7.38	190.62	137,248.78	454,293.46
ch5	6.68	236.92	170,585.03	564,636.45
total		**427.54**	**307,833.81**	**1,018,929.91**

กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง = 427.54 กิโลวัตต์

พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง = 427.54 x 24 x 30

= 307,833.81 kWh/เดือน

ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง = 307,833.81 x 3.31

= 1,018,929.91 บาท/เดือน

ผลประหยัดที่ได้

ผลประหยัดที่ได้ = (455.46 - 427.54) x 0.7

= 19.54 กิโลวัตต์

พลังงานที่ประหยัดได้ = (327,929.23 - 307,833.81) x 0.7

= 14,066.79 kWh/เดือน

ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = (1,085,445.76 - 1,018,929.91) x 0.7

= 46,561.09 บาท/เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรการที่ 3.2 การเปลี่ยนเครื่องทำความเย็น

1. อุปกรณ์ที่ปรับปรุง เครื่องทำความเย็น

2. จำนวนอุปกรณ์ที่ปรับปรุง 1 เครื่อง

3. สถานที่ อาคาร 3

4. สภาพก่อนการปรับปรุง

เครื่องทำความเย็นมีขนาด (300 ton, 1.625 kW/ton) ใหญ่กว่าตันความเย็นที่ต้องการ (64.8 ton)

5. สภาพหลังการปรับปรุง

เครื่องทำความเย็นมีขนาด (100 ton, 0.69 kW/ton) เหมาะกับตันความเย็นที่ต้องการ (64.8 ton)

6. วิธีการตรวจสอบผลการประหยัดหลังปรับปรุง

ตรวจวัดค่า kW/ton ก่อนและหลังเปลี่ยนเครื่องทำความเย็น

7. เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง

	กิโลวัตต์	kWh/เดือน	บาท/เดือน
ก่อนปรับปรุง	105.30	75,816.00	250,950.96
หลังปรับปรุง	44.71	32,192.64	106,557.64
ประหยัดได้ (x0.7)	42.41	30,536.35	101,075.33
เงินลงทุน		2,500,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน		24.73	เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. วิธีการคำนวณ

ข้อมูลเบื้องต้น

เครื่องทำความเย็นทำความเย็นได้		64.8	ตันความเย็น
ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นเดิม		1.625	kW/ton
จำนวนชั่วโมงการเปิดใช้งาน		24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน		30	วัน/เดือน
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย		3.31	บาท/kWh
safety factor		0.7	

ก่อนการปรับปรุง

กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	1.625 x 64.8	
	=	105.30	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้ก่อนปรับปรุง	=	105.30 x 24 x 30	
	=	75,816.00	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	75,816.00 x 3.31	
	=	250,950.96	บาท/เดือน

หลังการปรับปรุง

ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นใหม่	=	0.69	kW/ton
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	0.69 x 64.8	
	=	44.71	กิโลวัตต์
พลังงานที่ใช้หลังปรับปรุง	=	44.71 x 24 x 30	
	=	32,192.64	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	32,192.64 x 3.31	
	=	106,557.64	บาท/เดือน

ผลประหยัดที่ได้

ผลประหยัดที่ได้	=	(105.30 - 44.71) x 0.7	
	=	42.41	กิโลวัตต์
พลังงานที่ประหยัดได้	=	(75,816.00 - 32,192.64) x 0.7	
	=	30,536.35	kWh/เดือน
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	(250,950.96 - 106,557.64) x 0.7	
	=	101,075.33	บาท/เดือน

การลงทุน

เงินลงทุน	=	2,500,000.00	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	2,500,000.00 / 101,075.33	
	=	24.7	เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้