ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบชิลเลอร์ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage

นายณัฐพล แหล่งสนาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2569

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบชิลเลอร์ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage

นายณัฐพล แหล่งสนาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2569

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรื่อง ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบชิลเลอร์ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage

โดย นายณัฐพล แหล่งสนาม

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน

..... รักษาการคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.เสาวณิต สุขภารังษี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ติกะ บุนนาค)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชัยยศ ดำรงกิจโกศล)

ชื่อ : นายณัฐพล แหล่งสนาม
ชื่อวิทยานิพนธ์ : ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบชิลเลอร์ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage
สาขาวิชา : เทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์
ปีการศึกษา : 2569

บทคัดย่อ

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นอุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศของอาคารขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในสัดส่วนสูง โดยสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานจริง ซึ่งมักแตกต่างจากเงื่อนไขการออกแบบ (Off-Design Conditions) โดยเฉพาะอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของ ECWT ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 7 โครงการ ประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 300 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 370 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 400 ตันความเย็น จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 450 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง และขนาด 800 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง จากนั้นนำผลการดำเนินงานจริงมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่กำหนดอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F แม้แต่ละโครงการจะมีระยะเวลาการเดินเครื่องแตกต่างกัน แต่การประเมินสมรรถนะใช้ดัชนีอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่สามารถใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเดินเครื่องโดยตรง

ผลการวิเคราะห์พบว่า ECWT ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงมีค่าอยู่ในช่วง 78.4°F ถึง 95.5°F ซึ่งแตกต่างจากเงื่อนไขมาตรฐานของผู้ผลิต และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะที่ ECWT เท่ากับ 85°F พบว่าค่า kW/RT มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง −19.84% ถึง +34.90% โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ ECWT สูงขึ้น

สะท้อนให้เห็นความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง ECWT และค่า kW/RT ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ที่สูงขึ้นทำให้ภาระการอัดของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานต่อหน่วยความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) ลดลง ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ECWT เป็นปัจจัยสำคัญที่ควรนำมาพิจารณาในการประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานจริง และสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการพลังงาน การกำหนดแนวทางการเดินระบบ และการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่

(มีจำนวนทั้งสิ้น 103 หน้า)

คำสำคัญ : เครื่องทำน้ำเย็น, อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์, สภาวะการทำงานนอกเงื่อนไขการออกแบบ (Off-Design Conditions), ประสิทธิภาพพลังงาน, kW/RT, Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chille

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

_____ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Name : Mr. Nattapol Langsanam

Thesis Title : Effect of Condenser Entering Water Temperature on the Energy Performance of Chilled Water Air-Conditioning Systems Using Magnetic Bearing Dual-Stage Chillers

Major Field : Energy Engineering Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Thesis Advisor : Dusit Ngamrungroj

Co-Advisor : Preeda Chantawong

Academic Year : 2026

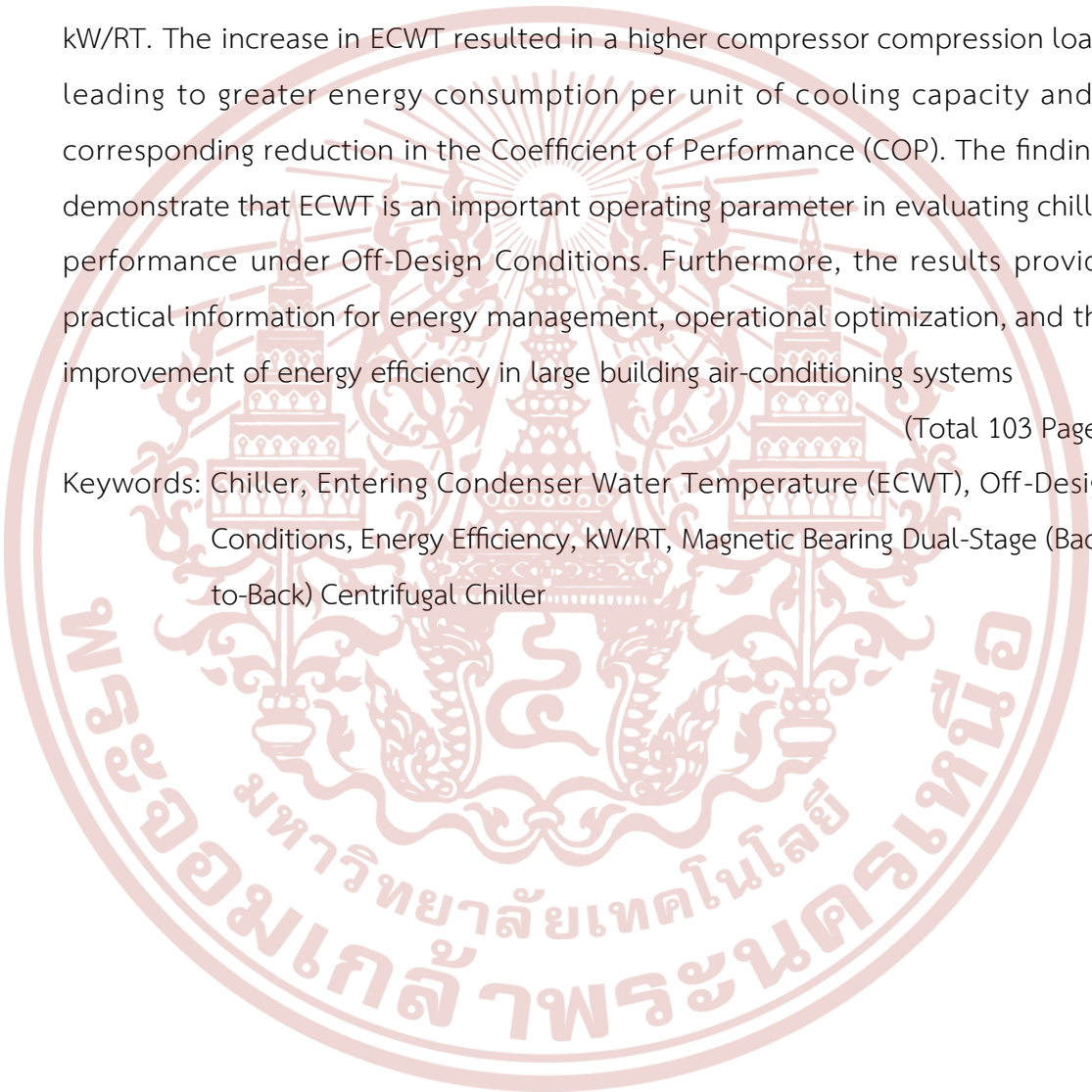
ABSTRACT

Chillers are the primary energy-consuming equipment in large building air-conditioning systems, accounting for a substantial portion of total electricity consumption. Their energy performance is influenced by actual operating conditions, which often differ from the design conditions (Off-Design Conditions). Among these factors, the Entering Condenser Water Temperature (ECWT) plays an important role in determining compressor workload and the overall energy performance of the chiller. This study aimed to investigate the effect of ECWT on the energy performance of chillers under actual operating conditions. Field operational data were collected from seven water-cooled Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chillers, consisting of one 300 RT unit, one 370 RT unit, two 400 RT units, one 450 RT unit, one 500 RT unit, and one 800 RT unit. The measured operating performance was then compared with the manufacturer's performance data under the standard condition of an ECWT of 85°F. Although the operating hours varied among the seven projects, the performance evaluation was based on the energy efficiency index expressed as kilowatts per refrigeration ton (kW/RT), which enables a direct comparison of chiller performance regardless of operating duration.

The results showed that the ECWT under actual operating conditions ranged from 78.4°F to 95.5°F, differing from the manufacturer's standard operating condition. Compared with the manufacturer's performance at an ECWT of 85°F, the measured kW/RT varied from −19.84% to +34.90%, with an increasing trend as ECWT increased. This trend indicates a positive relationship between ECWT and kW/RT. The increase in ECWT resulted in a higher compressor compression load, leading to greater energy consumption per unit of cooling capacity and a corresponding reduction in the Coefficient of Performance (COP). The findings demonstrate that ECWT is an important operating parameter in evaluating chiller performance under Off-Design Conditions. Furthermore, the results provide practical information for energy management, operational optimization, and the improvement of energy efficiency in large building air-conditioning systems

(Total 103 Pages)

Keywords: Chiller, Entering Condenser Water Temperature (ECWT), Off-Design Conditions, Energy Efficiency, kW/RT, Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller



_____ Advisor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความเมตตากรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดุสิต งามรุ่งโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา จันทวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาคำแนะนำและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ณัฐพล แหล่งสนาม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูปภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 ระบบเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Plant System) 6
2.2 วัฏจักรการอัดไอของเครื่องทำน้ำเย็น (Vapor Compression Refrigeration Cycle) 9
2.3 ครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller 12
2.4 บทบาทของ Evaporator และ Condenser ต่อสมรรถนะของระบบ 17
2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ต่อการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น 19
2.6 ภาระความเย็น 20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย 24
3.1 รูปแบบและแนวทางการวิจัย 24
3.2 เครื่องทำน้ำเย็นและโครงการที่ศึกษา 25
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล 27
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 29
3.5 ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต 32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและการเชื่อมโยงข้อมูล 33
3.7 การคำนวณสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น 34
3.8 การวิเคราะห์ 36
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล 39
4.1 แนวทางการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้พลังงาน 40
4.2 อิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ต่อค่า kW/RT ของเครื่องทำน้ำเย็น 40
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะจากการตรวจวัดจริงกับข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิต 48
4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 7 โครงการ 55
4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และค่า kW/RT จากข้อมูลภาคสนาม 56
4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และค่า kW/RT 64
4.7 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของเครื่องทำน้ำเย็น 65
4.8 อภิปรายผลการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น 67
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 55
5.1 การสรุปผลการวิจัย 55
5.2 ข้อจำกัดของการศึกษา 56
5.3 ข้อเสนอแนะ 57
บรรณานุกรม 59
ภาคผนวก ก รายนามผู้เชี่ยวชาญการประเมิน 62
ภาคผนวก ข ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนาม 71
ภาคผนวก ค ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด 86
ภาคผนวก ง แคตตาล็อกเครื่องทำน้ำเย็นจากผู้ผลิต 98
ประวัติผู้เขียน 103

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดโครงการที่ศึกษา 26
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในการศึกษา 27
ตารางที่ 3-3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล 28
ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างข้อมูลตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในการวิเคราะห์ 29
ตารางที่ 3-5 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและค่าความถูกต้องของเครื่องมือ 30
ตารางที่ 3-6 ค่ากำลังไฟฟ้าต่อหน่วยความเย็นจากข้อมูลผู้ผลิตที่ ECWT 85°F 32
ตารางที่ 4-1 การวิเคราะห์ความความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ในช่วง 72–99°F ที่ภาระโหลดต่าง ๆ 47
ตารางที่ 4-2 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างข้อมูลผู้ผลิตและข้อมูลภาคสนาม 56
ตารางที่ 4-3 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ECWT และค่า kW/RT ของเครื่องน้ำเย็นทั้ง 7 โครงการ 64
ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบสมรรถนะและต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้ข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตและข้อมูลตรวจวัดจริง 66

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 ระบบเครื่องทำน้ำเย็น 7

ภาพที่ 2-2 ทฤษฎีวัฏจักรอัดไอ (Çengel & Boles, 2005) 10

ภาพที่ 2-3 ผลกระทบของอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของวัฏจักร... 11

ภาพที่ 2-4 เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller 13

ภาพที่ 2-5 การออกแบบเชิงอากาศพลศาสตร์และการวิเคราะห์การไหลของสารทำความเย็นภายในคอมเพรสเซอร์แบบ Dual-Stage (Back-to-Back)..... 14

ภาพที่ 2-6 โครงสร้างคอมเพรสเซอร์แบบ Dual-Stage (Back-to-Back)..... 15

ภาพที่ 2-7 โครงสร้างและหลักการทำงานของระบบตลับลูกปืนแม่เหล็ก..... 16

ภาพที่ 2-8 หลักการทำงานของเครื่องระเหยแบบ Full Falling Film Evaporator 17

ภาพที่ 3-1 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกที่ท่อน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์ 31

ภาพที่ 3-2 ตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเข้า–ออกของอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์..... 31

ภาพที่ 3-3 การติดตั้งเครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าสำหรับตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น..... 31

ภาพที่ 3-4 แผนภาพการเชื่อมโยงข้อมูลและขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล 38

ภาพที่ 4-1 ผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ 1°F ต่อค่า kW/RT ภายใต้ช่วงโหลดต่าง ๆ (เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 ตันความเย็น)..... 41

ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) กับอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต ในแต่ละระดับภาระการทำงาน 43

ภาพที่ 4-3 การวิเคราะห์ความความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ต่อการเปลี่ยนแปลง 45

ภาพที่ 4-4 การวิเคราะห์ความความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ในช่วง 72–99°F ที่ภาระโหลดตั้งแต่ 21-100%..... 46

ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 1 49

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 2 50
ภาพที่ 4-7 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 3 51
ภาพที่ 4-8 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 4 52
ภาพที่ 4-9 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 5 53
ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 6 54
ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 7 54
ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 1 (400 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง 57
ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 2 (400 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง 58
ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 3 (370 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง 59
ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 4 (300 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง 60
ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 5 (450 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง 61

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 6 (500 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง 62
ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 7 (800 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง 63

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารขนาดใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของภาคธุรกิจและบริการ โดยระบบปรับอากาศเป็นระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงในอาคารพาณิชย์ คิดเป็นประมาณร้อยละ 40–60 ของการใช้พลังงานทั้งหมด (ASHRAE, 2023) เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของระบบทำความเย็นแบบศูนย์กลาง (Central Chilled Water System) จึงมีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะด้านพลังงานของอาคาร โดยทั่วไป สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นสามารถประเมินได้จากอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบทำความเย็น

อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) เป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น เนื่องจากมีผลต่ออุณหภูมิและความดันการควบแน่นของสารทำความเย็น เมื่อ ECWT เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิการควบแน่นและความดันด้านส่งของคอมเพรสเซอร์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ภาระการอัดของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตความเย็นเพิ่มขึ้น และค่า COP ลดลง ในทางกลับกัน การควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยลดการใช้พลังงานและเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบได้ (Braun, 1992)

ในทางปฏิบัติ เครื่องทำน้ำเย็นส่วนใหญ่ไม่ได้ทำงานภายใต้เงื่อนไขการออกแบบ (Design Conditions) ตลอดช่วงเวลาการใช้งาน แต่จะทำงานภายใต้สภาวะนอกจุดออกแบบ (Off-Design Conditions) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของภาระความเย็น สภาพอากาศภายนอก และรูปแบบการใช้งานอาคาร ส่งผลให้สมรรถนะที่เกิดขึ้นจริงอาจแตกต่างจากข้อมูลสมรรถนะที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน งานวิจัยของ Hydeman et al. (2002) ได้พัฒนาแบบจำลองทางสถิติสำหรับทำนายสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะโหลดบางส่วน (Part-Load Conditions) และรายงานว่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสภาวะการทำงานเบี่ยงเบนจากจุดออกแบบ ขณะที่ Yu และ Chan (2010) รายงานว่าค่า kW/RT มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ภายใต้สภาวะการทำงานจริง และ Zhang et al. (2020) พบว่าการปรับอุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสามารถลดการใช้พลังงานของระบบทำความเย็นได้ประมาณ 5–15%

ปัจจุบัน เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ได้รับความสนใจมากขึ้นในอาคารขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ใช้แบริ่งแม่เหล็กในการรองรับเพลาหมุนของคอมเพรสเซอร์ ช่วยลดการสูญเสียจากแรงเสียดทาน ลดความต้องการใช้น้ำมันหล่อลื่น และเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบ นอกจากนี้ การออกแบบคอมเพรสเซอร์แบบ Dual-Stage (Back-to-Back) ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอัดสารทำความเย็น และรองรับการทำงานภายใต้ภาระโหลดที่เปลี่ยนแปลงได้ดีขึ้น ส่งผลให้เครื่องทำน้ำเย็นประเภทนี้มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงทั่วไป แม้เทคโนโลยีดังกล่าวจะได้รับการยอมรับในด้านสมรรถนะพลังงาน แต่ข้อมูลการศึกษาจากการใช้งานจริงในอาคาร โดยเฉพาะผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ต่อค่า kW/RT ภายใต้สภาวะนอกจุดออกแบบ ยังมีการเผยแพร่ค่อนข้างจำกัด

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลอง การจำลองการทำงานของระบบ หรือการศึกษากลยุทธ์ควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ขณะที่การศึกษาที่ใช้ข้อมูลภาคสนามจริงจากหลายโครงการและนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะมาตรฐานของผู้ผลิตยังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ต่อค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นและสภาวะนอกจุดออกแบบ ดังนั้น จึงยังมีความจำเป็นในการศึกษาข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สามารถอธิบายความแตกต่างระหว่างสมรรถนะที่เกิดขึ้นจริงกับข้อมูลมาตรฐานของผู้ผลิต และนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการเดินระบบให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) และสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในรูปของค่า kW/RT โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดจริงจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ขนาด 300–800 ตันความเย็น จำนวน 7 โครงการ และเปรียบเทียบข้อมูลการทำงานจริงกับข้อมูลสมรรถนะของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่กำหนด ECWT เท่ากับ 85°F เพื่อประเมินผลของสภาวะนอกจุดออกแบบต่อสมรรถนะพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น และใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการบริหารจัดการพลังงาน รวมถึงการกำหนดแนวทางการควบคุมระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) และสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ขนาด 300 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 370 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 400 ตันความเย็น จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 450 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง และขนาด 800 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง โดยประเมินสมรรถนะในรูปของอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ภายใต้สภาวะการทำงานจริง

เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ที่ตรวจวัดได้จากภาคสนามกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-Design Conditions)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่อสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ขนาด 300 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 370 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 400 ตันความเย็น จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 450 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง และขนาด 800 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งติดตั้งและใช้งานจริงในอาคารขนาดใหญ่

การประเมินสมรรถนะใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) เป็นดัชนีหลัก โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดจากระบบควบคุมของเครื่องทำน้ำเย็น ประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำเข้าและออกด้าน Evaporator อัตราการไหลของน้ำเย็นด้าน Evaporator อุณหภูมิน้ำเข้าและออกด้าน Condenser ภาระการทำความเย็น และกำลังไฟฟ้าที่ใช้

การวิเคราะห์มุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง พร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิต เพื่อประเมินผลของ ECWT ต่อสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-Design Conditions) ทั้งนี้ การศึกษามุ่งเน้นเฉพาะผลกระทบของ ECWT ต่อค่า kW/RT โดยไม่พิจารณาปัจจัยอื่นที่อาจมีผลต่อสมรรถนะของระบบ เช่น อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ประสิทธิภาพของ Cooling Tower และสภาพอากาศภายนอก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ภายใต้สภาวะการทำงานจริง

ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ และเป็นแนวทางในการปรับปรุงการเดินระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ Chiller Plant

เป็นข้อมูลสนับสนุนการวางแผนการเดินเครื่อง การบำรุงรักษา และการประเมินสมรรถนะของระบบทำความเย็น เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง

เป็นข้อมูลประกอบการกำหนดแนวทางการบริหารจัดการพลังงานและการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานของอาคาร เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจด้านการจัดการพลังงาน

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

ในการวิจัยได้กำหนดนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน ดังต่อไปนี้

เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) หมายถึง เครื่องจักรที่ใช้ผลิตน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง โดยอาศัยวัฏจักรการอัดไอของสารทำความเย็น (Vapor Compression Refrigeration Cycle) เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำเย็น และระบายความร้อนผ่านคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller หมายถึง เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้แบริ่งแม่เหล็ก (Magnetic Bearing) รองรับเพลาหมุนของคอมเพรสเซอร์โดยไม่เกิดการสัมผัสทางกล และใช้คอมเพรสเซอร์แบบสองขั้นการอัด (Dual-Stage) ในลักษณะ Back-to-Back เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอัดสารทำความเย็น ลดการสูญเสียเชิงกล และเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) หมายถึง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนจากน้ำเย็น โดยสารทำความเย็นภายในอุปกรณ์เกิดการระเหยและรับพลังงานความร้อนจากน้ำ

อุณหภูมิน้ำทางเข้าอีวาพอเรเตอร์ (Entering Chilled Water Temperature: ECHWT) หมายถึง อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์ก่อนเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

อุณหภูมิน้ำทางออกอีวาพอเรเตอร์ (Leaving Chilled Water Temperature: LCHWT) หมายถึง อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกจากอีวาพอเรเตอร์หลังผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

คอนเดนเซอร์ (Condenser) หมายถึง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น เพื่อให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลว โดยใช้น้ำหล่อเย็นเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) หมายถึง อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ไหลเข้าสู่คอนเดนเซอร์ของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์กับสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในการวิจัยครั้งนี้

อุณหภูมิน้ำทางออกคอนเดนเซอร์ (Leaving Condenser Water Temperature: LCWT) หมายถึง อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ไหลออกจากคอนเดนเซอร์หลังจากรับความร้อนจากสารทำความเย็นในกระบวนการควบแน่น

อัตราส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio: PLR) หมายถึง สัดส่วนของภาระการทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นผลิตได้ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังการทำความเย็นตามพิกัดของเครื่อง โดยแสดงค่าเป็นร้อยละ

กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น (Kilowatt per Refrigeration Ton: kW/RT) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็นใช้ หน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW) ต่อความสามารถในการทำความเย็นที่ผลิตได้ หน่วยเป็นตันความเย็น (Refrigeration Ton: RT) ซึ่งใช้เป็นดัชนีในการประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยค่าที่ต่ำกว่าสะท้อนถึงสมรรถนะด้านพลังงานที่ดีกว่า

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความสามารถในการทำความเย็นที่ผลิตได้ต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งใช้เป็นดัชนีในการประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของระบบทำความเย็น

สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-Design Conditions) หมายถึง สภาวะการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่แตกต่างจากเงื่อนไขมาตรฐานหรือเงื่อนไขการออกแบบที่ผู้ผลิตกำหนด เช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ภาระการทำความเย็น อัตราการไหลของน้ำ หรือสภาพแวดล้อมในการใช้งานจริง

ข้อมูลสมรรถนะจากผู้ผลิต (Manufacturer Performance Data) หมายถึง ข้อมูลสมรรถนะด้านพลังงานและความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นที่ผู้ผลิตกำหนดภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบ โดยในการวิจัยนี้ใช้อ้างอิงข้อมูลที่อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F

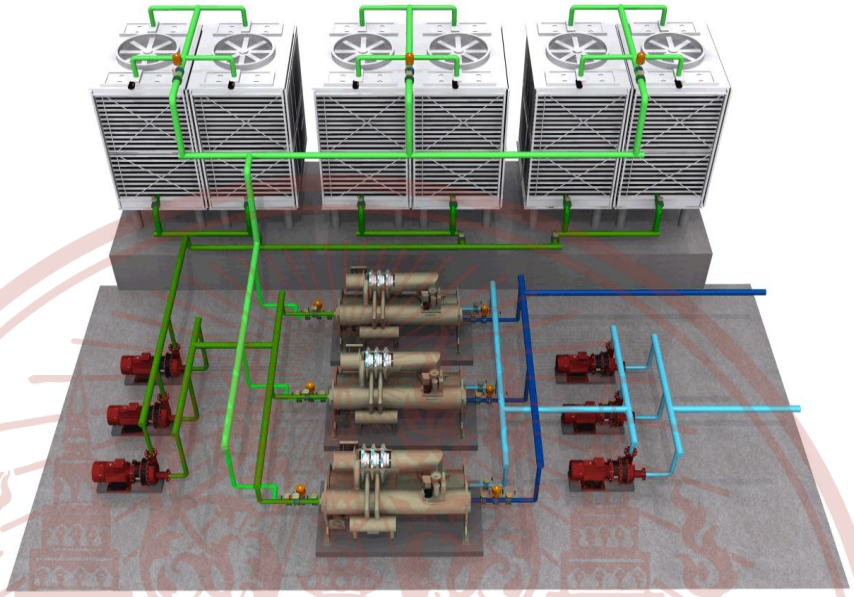
ข้อมูลภาคสนาม (Field Measurement Data) หมายถึง ข้อมูลการทำงานจริงของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากการตรวจวัดและบันทึกจากโครงการที่ศึกษา เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานและเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิต

บทที่ 2
ทฤษฎีเกี่ยวข้องและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาระบบชิลเลอร์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำน้ำเย็นและระบบปรับอากาศ โดยครอบคลุมหลักการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบบการถ่ายเทความร้อนในอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ตลอดจนบทบาทของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ที่มีผลต่อสมรรถนะด้านพลังงานของระบบ นอกจากนี้ ยังได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อสรุปองค์ความรู้ในปัจจุบัน ระบุช่องว่างของงานวิจัย และใช้เป็นกรอบแนวคิดสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จำนวน 7 โครงการในการวิจัยครั้งนี้

2.1 ระบบเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Plant System)

ระบบเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Plant System) เป็นระบบผลิตความเย็นส่วนกลางที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอาคารขนาดกลางและขนาดใหญ่ เช่น อาคารสำนักงาน โรงพยาบาล โรงแรม และโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีหน้าที่ผลิตน้ำเย็นเพื่อดูดซับความร้อนจากพื้นที่ปรับอากาศหรือกระบวนการผลิต ก่อนระบายความร้อนดังกล่าวออกสู่บรรยากาศผ่านระบบน้ำหล่อเย็น องค์ประกอบหลักของระบบประกอบด้วย เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ระบบน้ำเย็น (Chilled Water System) ระบบน้ำหล่อเย็น (Condenser Water System) หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) ปั๊มน้ำ (Pump) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปลายทาง เช่น เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit: AHU) และเครื่องเป่าลมเย็น (Fan Coil Unit: FCU) ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อรักษาสภาวะความสบายภายในอาคารและตอบสนองต่อภาระความเย็นที่เปลี่ยนแปลงตามสภาพการใช้งาน



ภาพที่ 2-1 ระบบเครื่องทำน้ำเย็น

เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำทำงานตามหลักวัฏจักรการอัดไอของสารทำความเย็น (Vapor Compression Refrigeration Cycle) ซึ่งประกอบด้วยอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) และอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Device) โดยอีวาพอเรเตอร์ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนจากน้ำเย็น สารทำความเย็นที่ระเหยแล้วจะถูกอัดด้วยคอมเพรสเซอร์ให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น ก่อนถ่ายเทความร้อนออกสู่น้ำหล่อเย็นภายในคอนเดนเซอร์ และผ่านอุปกรณ์ลดความดันเพื่อลดความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนกลับเข้าสู่อีวาพอเรเตอร์อีกครั้ง กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อผลิตน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ

สมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นนิยมประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่ใช้ประเมินการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานต่าง ๆ ปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นประกอบด้วยภาระการทำความเย็น อุณหภูมิน้ำทางเข้าอีวาพอเรเตอร์ (Entering Chilled Water Temperature: ECHWT) อัตราการไหลของน้ำ และอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) โดยเมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ลดลง ความดันการควบแน่นของสารทำความเย็น

จะลดลง ส่งผลให้ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง และค่า COP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามหลักอุณหพลศาสตร์ (Çengel & Boles, 2019; ASHRAE, 2023)

ระบบน้ำเย็น (Chilled Water System) ประกอบด้วยปั๊มน้ำเย็น ระบบท่อ และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนปลายทาง เช่น AHU และ FCU ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำเย็นจากอีวาพอเรเตอร์ไปยังพื้นที่ปรับอากาศและรับความร้อนกลับเข้าสู่เครื่องทำน้ำเย็น ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเย็นระหว่างทางเข้าและทางกลับ (ΔT) เป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ประเมินประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อนและสภาพการทำงานของระบบ

ระบบน้ำหล่อเย็น (Condenser Water System) ประกอบด้วยปั๊มน้ำคอนเดนเซอร์ ระบบท่อ และหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) ทำหน้าที่ระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์สู่บรรยากาศโดยอาศัยหลักการระบายความร้อนแบบการระเหย (Evaporative Cooling) ประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature) ของอากาศภายนอก อัตราการไหลของน้ำและอัตราการไหลของอากาศ ดังนั้น สมรรถนะของ Cooling Tower จึงมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และส่งผลต่อสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นโดยรวม (Ma & Wang, 2021)

การออกแบบระบบเครื่องทำน้ำเย็นจำเป็นต้องพิจารณาภาระความเย็นสูงสุดของอาคารควบคู่กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลด เพื่อเลือกขนาดเครื่องทำน้ำเย็นให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง การเลือกเครื่องที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นอาจทำให้เครื่องทำงานภายใต้สภาวะภาระบางส่วน (Part-Load Conditions) เป็นสัดส่วนสูงของชั่วโมงการเดินเครื่อง ซึ่งอาจส่งผลให้สมรรถนะด้านพลังงานลดลง ดังนั้น การเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่มีสมรรถนะดีในช่วง Part Load และการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบแบบแปรผัน (Variable Speed Drive: VSD) สำหรับปั๊มน้ำและพัดลม จึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดการใช้พลังงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Yu & Chan, 2010; Zhang et al., 2020)

ปัจจุบัน แนวทางการเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นได้พัฒนาจากการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละชนิด ไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม (Whole Chiller Plant Optimization) โดยอาศัยระบบควบคุมอัจฉริยะในการปรับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น ความเร็วรอบของปั๊มน้ำ และลำดับการเดินเครื่องให้สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริง ในบรรดาตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เป็นหนึ่งในตัวแปรที่มีบทบาทสำคัญ เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความดันการควบแน่น ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น งานวิจัยภาคสนามรายงานว่าการควบคุม ECWT ให้อยู่ในช่วง

ที่เหมาะสมสามารถลดการใช้พลังงานรวมของระบบได้ประมาณร้อยละ 5–20 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ลักษณะการใช้งาน และกลยุทธ์การควบคุมระบบ (Li et al., 2022; Wang et al., 2023)

การออกแบบ การติดตั้ง และการประเมินสมรรถนะของระบบเครื่องทำน้ำเย็นโดยทั่วไปอ้างอิงตาม ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment, ASHRAE Standard 90.1 และ AHRI Standard 550/590 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขณะที่การตรวจวัดและยืนยันผลการประหยัดพลังงานของระบบสามารถดำเนินการตามแนวทางของ International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) (Efficiency Valuation Organization, 2022)

จากองค์ประกอบและหลักการทำงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาวะการทำงานในองค์ประกอบต่าง ๆ มีผลต่อสมรรถนะด้านพลังงานของระบบโดยรวม โดยเฉพาะอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ซึ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับกระบวนการควบแน่นและการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ ดังนั้น การทำความเข้าใจองค์ประกอบและหลักการทำงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นจึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบของ ECWT ต่ออัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ซึ่งเป็นประเด็นหลักของงานวิจัยนี้

2.2 วัฏจักรการอัดไอของเครื่องทำน้ำเย็น (Vapor Compression Refrigeration Cycle)

วัฏจักรการอัดไอของสารทำความเย็น (Vapor Compression Refrigeration Cycle) เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นและระบบทำความเย็นส่วนใหญ่ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำความเย็นร่วมกับกระบวนการอัด การควบแน่น การลดความดัน และการระเหย เพื่อถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นไปยังสภาพแวดล้อมภายนอก สมรรถนะของวัฏจักรขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันระหว่างด้านอีวาพอเรเตอร์และด้านคอนเดนเซอร์ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) ดังสมการ

$$r = \frac{P_{cond}}{P_{evap}} \tag{2-1}$$

เมื่ออุณหภูมิด้านคอนเดนเซอร์เพิ่มสูงขึ้น ความดันการควบแน่นของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้อัตราส่วนการอัดของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้น คอมเพรสเซอร์จึงต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นในการอัดสารทำความเย็น และทำให้ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) เพิ่มขึ้น ขณะที่สมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นมีแนวโน้มลดลง (Çengel & Boles, 2019)

วัฏจักรการอัดไอประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 4 ส่วน ได้แก่ อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอนเดนเซอร์ (Condenser) และอุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Device) ซึ่งทำงานต่อเนื่องเป็นวงจรเพื่อผลิตความเย็น ดังแสดงในภาพที่ 2-2

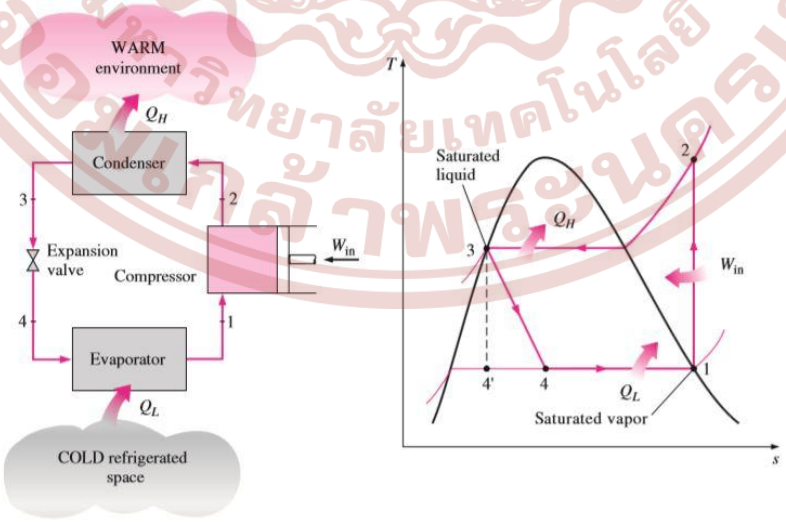
ในกระบวนการ 1–2 สารทำความเย็นในสถานะไอความดันต่ำจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกดูดเข้าสู่คอมเพรสเซอร์และถูกอัดจนมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้น กระบวนการนี้เป็นส่วนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดของระบบ

กระบวนการ 2–3 เป็นการถ่ายเทความร้อนภายในคอนเดนเซอร์ โดยสารทำความเย็นจะคายความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นจนเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวที่ความดันสูง

กระบวนการ 3–4 เป็นการลดความดันของสารทำความเย็นผ่านอุปกรณ์ลดความดัน ทำให้ความดันและอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว โดยกระบวนการนี้ไม่มีการแลกเปลี่ยนงานกับภายนอก

กระบวนการ 4–1 เป็นการดูดซับความร้อนภายในอีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นจะระเหยจากของเหลวความดันต่ำเป็นไอ โดยรับความร้อนจากน้ำเย็นในระบบปรับอากาศ กระบวนการนี้เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการผลิตความเย็นของระบบ ก่อนที่สารทำความเย็นจะไหลกลับเข้าสู่คอมเพรสเซอร์เพื่อเริ่มวัฏจักรใหม่

วงจรการทำงานดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภาพอุณหภูมิ–เอนโทรปี (Temperature–Entropy Diagram: T–s Diagram) ดังแสดงในภาพที่ 2-2 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำความเย็นในแต่ละกระบวนการ และช่วยอธิบายการรับและการคายความร้อนของระบบตามหลักอุณหพลศาสตร์ (Çengel & Boles, 2005)



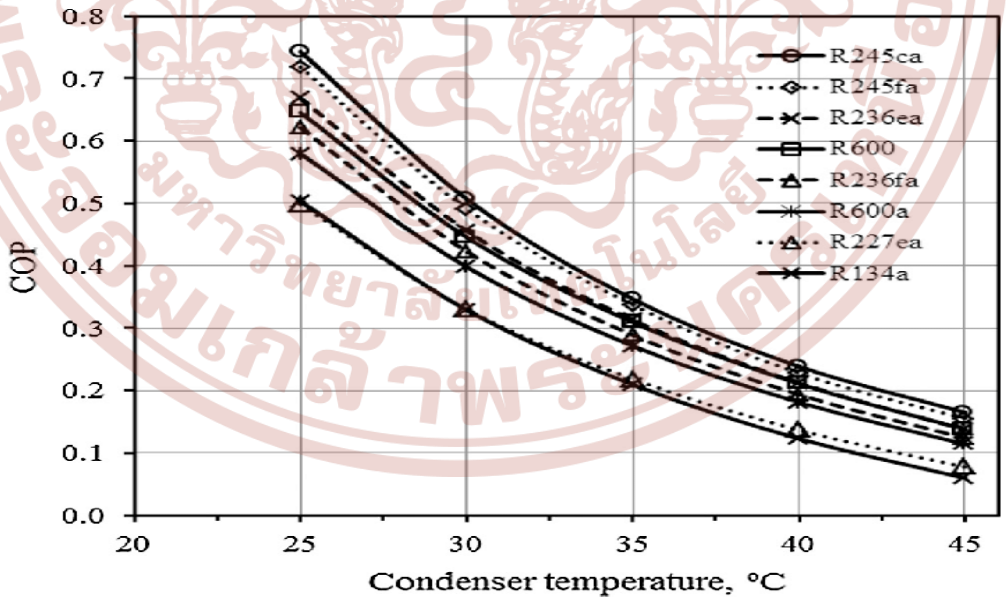
ภาพที่ 2-2 ทฤษฎีวัฏจักรอัดไอ **(Çengel & Boles, 2005)**

ในทางทฤษฎี สมรรถนะสูงสุดของระบบทำความเย็นสามารถอธิบายได้ด้วยวัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot Refrigeration Cycle) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) ดังสมการ

$$COP_{Carnot} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \quad (2\text{-}2)$$

สมการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิด้านคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งดูดซับและแหล่งคายความร้อนจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า COP ลดลงตามหลักกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นหรืออุณหภูมิด้านคอนเดนเซอร์จึงทำให้เครื่องทำน้ำเย็นต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการผลิตความเย็นปริมาณเท่าเดิม (Çengel & Boles, 2019; Saleh, 2016)

ภาพที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิคอนเดนเซอร์และค่า COP ของสารทำความเย็นหลายชนิด ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น ค่า COP มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในทุกชนิดของสารทำความเย็น เนื่องจากคอมเพรสเซอร์ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อเอาชนะแรงดันการควบแน่นที่สูงขึ้น แม้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของ COP จะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของสารทำความเย็นแต่ละชนิด แต่แนวโน้มของผลลัพธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Saleh, 2016)



ภาพที่ 2-3 ผลกระทบของอุณหภูมิคอนเดนเซอร์ต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของวัฏจักร

จากหลักการของวัฏจักรการอัดไอ พบว่าอุณหภูมิด้านคอนเดนเซอร์เป็นตัวแปรที่มีบทบาทสำคัญต่อความดันการควบแน่น ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น เมื่ออุณหภูมิด้านคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น คอมเพรสเซอร์จะใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น ส่งผลให้ค่า COP ลดลงและค่า kW/RT เพิ่มขึ้น ดังนั้น การควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม จึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดการใช้พลังงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็น และเป็นพื้นฐานของการศึกษาผลกระทบของ ECWT ต่อสมรรถนะด้านพลังงานในการวิจัยครั้งนี้

2.3 เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller

เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller เป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Centrifugal Chiller) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ลดการสูญเสียเชิงกล และเพิ่มความน่าเชื่อถือของการทำงาน โดยผสานเทคโนโลยีสำคัญหลายด้าน ได้แก่ การออกแบบเชิงอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Design) ระบบอัดสารทำความเย็นแบบสองขั้น (Dual-Stage Compression) ระบบตลับลูกปืนแม่เหล็ก (Magnetic Bearing Technology) และเครื่องระเหยแบบฟิล์มไหลเต็มพื้นที่ (Full Falling Film Evaporator) เข้าด้วยกัน ส่งผลให้เครื่องสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งภายใต้สภาวะโหลดเต็ม (Full-load Condition) และสภาวะโหลดบางส่วน (Part-load Condition)

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงทั่วไปที่ใช้ระบบหล่อลื่นด้วยน้ำมัน เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้สามารถลดการสูญเสียจากแรงเสียดทานของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ ลดการใช้พลังงานของระบบหล่อลื่น และลดภาระในการบำรุงรักษา เนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบน้ำมัน เช่น ปั๊มน้ำมัน เครื่องทำความร้อนน้ำมัน เครื่องหล่อเย็นน้ำมัน และอุปกรณ์แยกน้ำมัน นอกจากนี้ การใช้ระบบควบคุมความเร็วรอบร่วมกับมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ยังช่วยให้เครื่องสามารถปรับสมรรถนะการทำงานให้สอดคล้องกับภาระความเย็นที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบสูงขึ้น (ASHRAE, 2023; Midea Group, 2021)



ภาพที่ 2-4 เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller

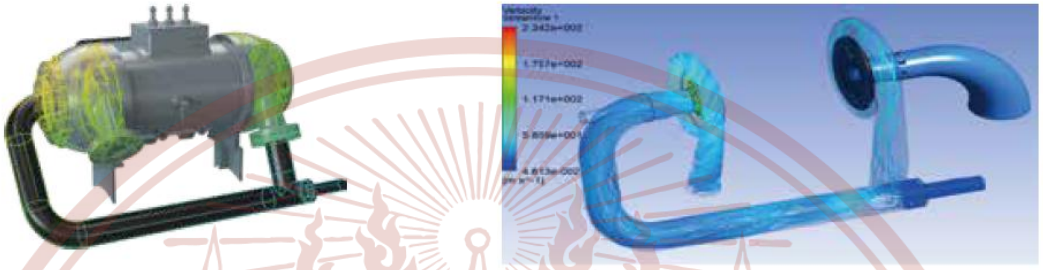
2.3.1 เทคโนโลยีการออกแบบเชิงอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Technology)

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงขึ้นอยู่กับสมรรถนะของคอมเพรสเซอร์เป็นสำคัญ เนื่องจากคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดภายในระบบ การออกแบบทางอากาศพลศาสตร์จึงมีบทบาทสำคัญในการลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการอัดของสารทำความเย็น

การออกแบบเชิงอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Design) เป็นการปรับปรุงลักษณะการไหลของสารทำความเย็นภายในคอมเพรสเซอร์โดยอาศัยหลักพลศาสตร์ของไหลและการวิเคราะห์ด้วยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics: CFD) เพื่อให้สารทำความเย็นไหลผ่านใบพัดและช่องทางการไหลได้อย่างต่อเนื่อง ลดการสูญเสียจากการแยกตัวของกระแสการไหล (Flow Separation) การเกิดกระแสวน (Flow Recirculation) และการรั่วไหลบริเวณปลายใบพัด (Tip Leakage) ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงไอเซนโทรปิก (Isentropic Efficiency) ของคอมเพรสเซอร์เพิ่มสูงขึ้น (Çengel & Boles, 2019)

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ใช้คอมเพรสเซอร์แบบ Dual-Stage Back-to-Back Compression ร่วมกับใบพัดแบบปิด (Enclosed Impeller) ซึ่งช่วยลดการรั่วไหลของสารทำความเย็นบริเวณปลายใบพัด เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทพลังงานจากใบพัดไปยังสารทำความเย็น และเพิ่มประสิทธิภาพการอัดเมื่อเปรียบเทียบกับคอมเพรสเซอร์แบบขั้นเดียว (Single-stage Compression) โดยผู้ผลิตรายงานว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ประมาณร้อยละ 6 (Midea Group, 2021)

นอกจากนี้ การจัดวางใบพัดในลักษณะ Back-to-Back ยังช่วยให้แรงตามแนวแกน (Axial Thrust Force) ที่เกิดขึ้นจากการหมุนของใบพัดทั้งสองด้านเกิดการสมดุล ลดภาระที่กระทำต่อระบบรองรับเพลาหมุน ลดการสั่นสะเทือน และช่วยยืดอายุการใช้งานของชุดคอมเพรสเซอร์



Back-to-back two-stage compression flow field analysis

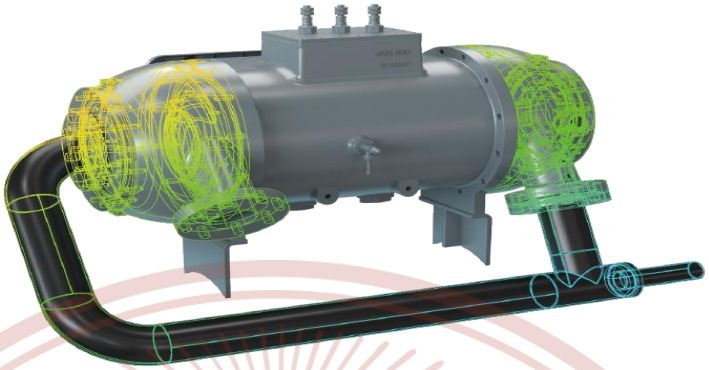
ภาพที่ 2-5 การออกแบบเชิงอากาศพลศาสตร์และการวิเคราะห์การไหลของสารทำความเย็นภายในคอมเพรสเซอร์แบบ Dual-Stage (Back-to-Back)

2.3.2 ระบบอัดสารทำความเย็นแบบ Dual-Stage (Back-to-Back Compression)

เครื่องทำน้ำเย็นรุ่นนี้ใช้ระบบอัดสารทำความเย็นแบบสองขั้น (Dual-Stage Compression) โดยแบ่งการเพิ่มความดันของสารทำความเย็นออกเป็นสองลำดับก่อนเข้าสู่เครื่องควบแน่น แตกต่างจากคอมเพรสเซอร์แบบขั้นเดียวที่เพิ่มความดันทั้งหมดภายในขั้นตอนเดียว การแบ่งกระบวนการอัดออกเป็นสองขั้นช่วยลดอัตราส่วนการอัด (Pressure Ratio) ในแต่ละขั้น ทำให้กระบวนการอัดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกระบวนการอัดแบบไอเซนโทรปิกมากขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นลดลง และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักรการทำความเย็นโดยรวม (Çengel & Boles, 2019)

คอมเพรสเซอร์ได้รับการออกแบบให้ติดตั้งใบพัดสองชุดในลักษณะ Back-to-Back หรือหันหลังชนกันบนเพลาหมุนเดียวกัน ทำให้แรงผลักตามแนวแกนที่เกิดขึ้นจากใบพัดทั้งสองด้านสามารถหักล้างกันได้ ส่งผลให้แรงที่กระทำต่อเพลาหมุนและระบบรองรับลดลง ลดการสั่นสะเทือนของโรเตอร์ เพิ่มเสถียรภาพในการทำงาน และช่วยยืดอายุการใช้งานของคอมเพรสเซอร์

การออกแบบดังกล่าวยังช่วยให้คอมเพรสเซอร์สามารถทำงานที่ความเร็วรอบสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งลดเสียงรบกวนและเพิ่มความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่อง โดยเฉพาะภายใต้สภาวะโหลดบางส่วนซึ่งเป็นช่วงการทำงานหลักของระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ (ASHRAE, 2023; Midea Group, 2021)



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างคอมเพรสเซอร์แบบ Dual-Stage (Back-to-Back)

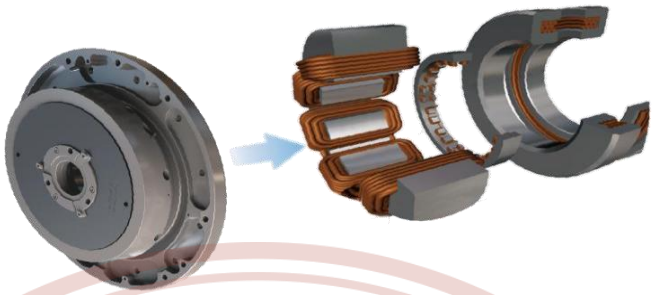
2.3.3 ระบบตลับลูกปืนแม่เหล็ก (Magnetic Bearing Technology

ระบบตลับลูกปืนแม่เหล็ก (Magnetic Bearing Technology) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้แรงแม่เหล็กไฟฟ้าในการรองรับเพลาหมุนของคอมเพรสเซอร์แทนการใช้ตลับลูกปืนที่หล่อลื่นด้วยน้ำมัน ส่งผลให้ไม่มีการสัมผัสโดยตรงระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ จึงสามารถลดการสูญเสียจากแรงเสียดทานและลดการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบประกอบด้วยตลับลูกปืนแม่เหล็กแนวรัศมี (Radial Magnetic Bearing) ตลับลูกปืนแม่เหล็กแนวแกน (Thrust Magnetic Bearing) เซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งเพลาหมุน (Position Sensor) และชุดควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (Digital Controller) ซึ่งทำงานร่วมกันแบบวงปิด (Closed-loop Control) โดยเซนเซอร์จะตรวจวัดตำแหน่งของโรเตอร์อย่างต่อเนื่อง และส่งข้อมูลไปยังชุดควบคุมเพื่อคำนวณและปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ขดลวดแม่เหล็ก ทำให้เพลาหมุนลอยตัวอยู่ในตำแหน่งที่กำหนดตลอดช่วงการทำงาน

จากข้อมูลของผู้ผลิต ระบบตลับลูกปืนแม่เหล็กใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 0.4 kW หรือคิดเป็นประมาณ 2–10% ของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบตลับลูกปืนแบบหล่อลื่นน้ำมัน อีกทั้งยังสามารถทำงานที่ความเร็วรอบสูงกว่า เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดด้านแรงเสียดทานเชิงกล ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะภายใต้สภาวะโหลดบางส่วน (Midea Group, 2021)

นอกจากการลดการใช้พลังงานแล้ว การไม่มีระบบหล่อลื่นน้ำมันยังช่วยลดความซับซ้อนของระบบ ลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของน้ำมันในวงจรสารทำความเย็น และลดภาระในการบำรุงรักษา ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบสำคัญของเครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงทั่วไป



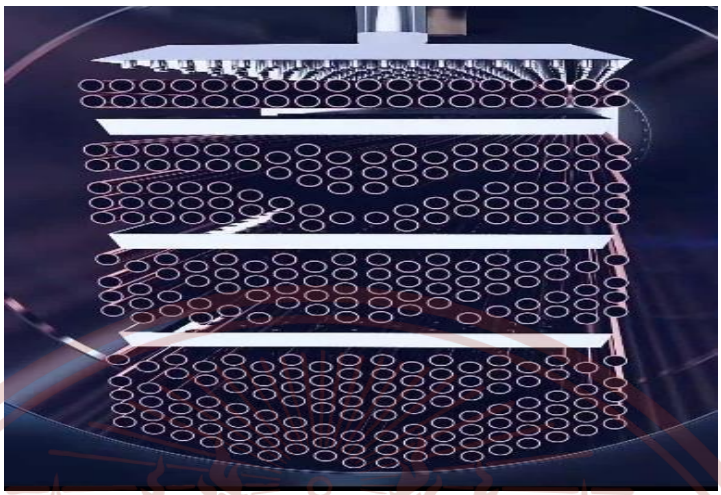
ภาพที่ 2-7 โครงสร้างและหลักการทำงานของระบบตลับลูกปืนแม่เหล็ก

2.3.4 เครื่องระเหยแบบ Full Falling Film Evaporator

เครื่องระเหยแบบ Full Falling Film Evaporator เป็นเทคโนโลยีการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและลดปริมาณสารทำความเย็นภายในระบบ โดยอาศัยหลักการฉีดพ่นสารทำความเย็นให้กระจายเป็นฟิล์มบางเคลือบผิวด้านนอกของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างสม่ำเสมอ แตกต่างจากเครื่องระเหยแบบ Flooded Evaporator ซึ่งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจมอยู่ในสารทำความเย็นทั้งหมด

การเกิดฟิล์มบางของสารทำความเย็นช่วยลดความต้านทานการถ่ายเทความร้อน เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (Overall Heat Transfer Coefficient) และเพิ่มประสิทธิภาพการระเหยของสารทำความเย็น ส่งผลให้สามารถลดปริมาณสารทำความเย็นภายในระบบได้สูงสุดประมาณ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องระเหยแบบ Flooded ตามข้อมูลของผู้ผลิต (Midea Group, 2021)

นอกจากนี้ เครื่องระเหยยังใช้ตัวกระจายสารทำความเย็น (Refrigerant Distributor) ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถกระจายสารทำความเย็นได้อย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นผิวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ช่วยลดการเกิดบริเวณแห้ง (Dry-out) และทำให้พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนถูกใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนและสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นโดยรวมสูงขึ้น



ภาพที่ 2-8 หลักการทำงานของเครื่องระเหยแบบ Full Falling Film Evaporator

2.4 บทบาทของ Evaporator และ Condenser ต่อสมรรถนะของระบบ

อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และคอนเดนเซอร์ (Condenser) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนหลักของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะด้านพลังงานของระบบ เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำหน้าที่รับและระบายความร้อนของสารทำความเย็นภายในวัฏจักรการอัดไอ ประสิทธิผลของการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์ทั้งสองส่วนมีผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของเครื่องทำน้ำเย็น

อีวาพอเรเตอร์ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากน้ำเย็นไปยังสารทำความเย็น โดยสารทำความเย็นในสถานะของเหลวที่มีความดันต่ำจะดูดซับความร้อนและระเหยเป็นไอภายในอุปกรณ์ กระบวนการดังกล่าวเป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการผลิตความเย็นของระบบ และเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิน้ำเย็นที่ส่งไปยังอุปกรณ์ปรับอากาศในอาคาร ดังนั้น ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์จึงมีผลต่อความสามารถในการรักษาอุณหภูมิของน้ำเย็น ความเสถียรของระบบปรับอากาศ และภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Çengel & Boles, 2019)

ในขณะเดียวกัน คอนเดนเซอร์ทำหน้าที่ระบายความร้อนที่สะสมอยู่ในสารทำความเย็นออกสู่ระบบน้ำหล่อเย็น โดยความร้อนที่ต้องระบายประกอบด้วยความร้อนที่ดูดซับจากอีวาพอเรเตอร์และพลังงานไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการอัดสารทำความเย็น ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามหลักสมดุลพลังงาน ดังสมการ

$$Q_H = Q_L + W_{comp} \tag{2-3}$$

กำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ของเครื่องทำน้ำเย็นถูกใช้ในการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่อัดสารทำความเย็นจากสภาวะความดันต่ำไปยังสภาวะความดันสูง ในเชิงอุณหพลศาสตร์ กำลังงานที่ใช้ในการอัดสามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$W_{\mathrm{comp}} = \dot{\mathrm{m}}_{\mathrm{ref}}(\mathrm{h}_2 - h_1) \quad (2\text{-}4)$$

จากสมการ (2-4) จะเห็นได้ว่ากำลังงานที่คอมเพรสเซอร์ใช้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นและความแตกต่างของเอนทัลปีระหว่างทางเข้ากับทางออกของคอมเพรสเซอร์ เมื่อความดันด้านคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น ความแตกต่างของเอนทัลปีจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นเพิ่มขึ้นตาม

ในเชิงอุณหพลศาสตร์ อุณหภูมิและความดันการควบแน่นภายในคอนเดนเซอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดอัตราส่วนการอัดของคอมเพรสเซอร์ หากคอนเดนเซอร์สามารถระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น มีอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นต่ำ อัตราการไหลของน้ำเหมาะสม และพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนสะอาด จะทำให้อุณหภูมิการควบแน่นลดลง ส่งผลให้ความดันด้านคอนเดนเซอร์ลดลง อัตราส่วนการอัดลดลง และกำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ลดลง ส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น และค่า kW/RT ลดลง

ในทางตรงกันข้าม หากประสิทธิภาพการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ลดลง เช่น อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์สูง พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดการสะสมของตะกรัน หรืออัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นไม่เพียงพอ จะทำให้อุณหภูมิและความดันการควบแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วนการอัดของคอมเพรสเซอร์สูงขึ้น กำลังไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น ค่า COP ลดลง และค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) เพิ่มขึ้น

ดังนั้น อีวาพอเรเตอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่กำหนดความสามารถในการผลิตความเย็นของระบบ ขณะที่คอนเดนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญต่อการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ ความสมดุลของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยเฉพาะภายใต้สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-Design Conditions) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) สามารถส่งผลต่อความดันการควบแน่น กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของคอมเพรสเซอร์ ค่า COP และค่า kW/RT ได้โดยตรง (Saleh, 2016) ด้วยเหตุนี้ ECWT จึงเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในการวิจัยครั้งนี้

2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ต่อการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

อุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) เป็นตัวแปรด้านสภาวะการทำงานที่มีบทบาทสำคัญต่อสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น เนื่องจากมีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิและความดันการควบแน่นของสารทำความเย็นภายในคอนเดนเซอร์ เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จะลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิการควบแน่น ((T_H)) และความดันด้านคอนเดนเซอร์เพิ่มสูงขึ้น ทำให้อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) ของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นตาม (Çengel & Boles, 2019; ASHRAE, 2020)

การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการอัดทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นในการอัดสารทำความเย็น ส่งผลให้ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) ลดลง ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากวัฏจักรคาร์โนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิด้านคอนเดนเซอร์ ((T_H)) เพิ่มขึ้น ค่า COP จะลดลงตามหลักกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ (Çengel & Boles, 2019))

การถ่ายเทความร้อนในคอนเดนเซอร์อัตราการถ่ายเทความร้อนในคอนเดนเซอร์สามารถประมาณได้จาก

$$Q = UA\Delta T_{lm} \tag{2-5}$$

เมื่ออุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น ค่าลดลง ΔT_{lm} จะลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ลดลง ซึ่งสามารถคำนวณค่าได้จากสมการ

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_{ref,hot} - T_{w,in}) - (T_{ref,cold} - T_{w,out})}{\ln\left(\frac{T_{ref,hot} - T_{w,in}}{T_{ref,cold} - T_{w,out}}\right)} \tag{2-6}$$

โดยที่ $T_{w,in}$ และ $T_{w,out}$ คือ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นทางเข้าและทางออกคอนเดนเซอร์

$T_{ref,hot}$ และ $T_{ref,cold}$ คือ อุณหภูมิของสารทำความเย็นในช่วงการควบแน่น

จากหลักการดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า ECWT เป็นตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่อกระบวนการถ่ายเทความร้อนภายในคอนเดนเซอร์ และส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ ค่า COP และค่า kW/RT ดังนั้น การควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น และเป็นตัวแปรหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้

2.6 ภาระความเย็น

ภาระความเย็น (Cooling Load) หมายถึง ปริมาณความร้อนที่อีวาพอเรเตอร์ดูดซับออกจากน้ำเย็นต่อหน่วยเวลา ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องสามารถคำนวณได้จากสมดุลพลังงานของน้ำเย็นดังสมการการ

$$Q = \dot{m}c_p(T_{in} - T_{out}) \tag{2-7}$$

สมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นนิยมประเมินจากค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องใช้กับความสามารถในการทำความเย็นที่ผลิตได้ ดังสมการ

$$kW/RT = \frac{Power(kW}{Cooling\ Capacity(RT)} \tag{2-8}$$

ค่า kW/RT เป็นดัชนีที่ใช้ประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยค่าที่ต่ำกว่าสะท้อนถึงการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ในทางปฏิบัติ ค่า kW/RT จะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานของระบบ โดยเฉพาะภาระการทำความเย็นและอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ค่า kW/RT เป็นตัวชี้วัดหลักในการวิเคราะห์ผลกระทบของ ECWT ต่อสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller

เครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิดดั้งเดิมที่ใช้คอมเพรสเซอร์ความเร็วคงที่ (Conventional Fixed-Speed Centrifugal Chiller) มีแนวโน้มที่ค่า kW/RT จะเพิ่มขึ้นเมื่อภาระการทำความเย็นลดลง เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ไม่ลดลงในสัดส่วนเดียวกับความสามารถในการทำความเย็น ขณะที่เครื่องทำน้ำเย็นชนิด Magnetic Bearing ซึ่งใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (Variable-Speed Drive: VSD) สามารถปรับความเร็วรอบและกำลังไฟฟ้าให้สอดคล้องกับภาระที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ค่า kW/RT มีแนวโน้มลดลงหรือรักษาประสิทธิภาพได้ดีในช่วงภาระบางส่วน (Part Load) อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ดังกล่าวยังขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน โดยเฉพาะอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และภาระความดันของคอมเพรสเซอร์ (Compressor Lift)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดในระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลางของอาคารขนาดใหญ่ งานวิจัยในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้มุ่งศึกษาทั้งการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการทำนายสมรรถนะ การประเมินสมรรถนะจากข้อมูลภาคสนาม การศึกษาผลกระทบของตัวแปรด้านสภาวะการทำงาน และการพัฒนากลยุทธ์ควบคุมเพื่อเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของระบบ โดยเฉพาะอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่ออุณหภูมิการควบแน่น ความดันด้านคอนเดนเซอร์ กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้ และสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

Hydeman, Gillespie และ Kavanagh (2002) ได้พัฒนา Reformulated Regression-Based Chiller Model เพื่อใช้ประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นจากข้อมูลการทำงานจริง โดยใช้วิธี Regression Analysis ร่วมกับข้อมูลการเดินเครื่องของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถทำนายกำลังไฟฟ้าและสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นได้แม่นยำกว่าวิธีการคำนวณแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะเมื่อเครื่องทำงานภายใต้สภาวะโหลดบางส่วน (Part-Load Condition) และสภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-Design Conditions) ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะไม่ได้มีเพียงภาระการทำความเย็นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงอุณหภูมิน้ำเย็นอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ และอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นร่วมด้วย งานวิจัยนี้ถือเป็นพื้นฐานสำคัญของการประเมินสมรรถนะเครื่องทำน้ำเย็นจากข้อมูลภาคสนาม และได้รับการอ้างอิงอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านการตรวจสอบสมรรถนะและการบริหารจัดการพลังงานของระบบ Chiller Plant

Kim และ Kim (2007) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานจริง โดยใช้ข้อมูลการเดินเครื่องของระบบปรับอากาศในอาคารร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์เชิงสถิติ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถอธิบายแนวโน้มการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้ดีเมื่อพิจารณาตัวแปรหลายปัจจัยร่วมกัน ได้แก่ ภาระการทำความเย็น อุณหภูมิน้ำเย็น และอุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ แสดงให้เห็นว่าสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นเป็นผลจากความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายด้าน ไม่สามารถอธิบายได้จากตัวแปรเพียงตัวเดียว

Yik, Lee, Lai และ Chan (2010) ศึกษาการประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นจากข้อมูลภาคสนาม โดยเปรียบเทียบผลการตรวจวัดจริงกับข้อมูลสมรรถนะจากผู้ผลิต ผลการศึกษาพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นส่วนใหญ่ทำงานภายใต้สภาวะโหลดบางส่วนและสภาวะนอกจุดออกแบบเป็นระยะเวลาส่วนใหญ่ของการใช้งาน ส่งผลให้สมรรถนะที่ตรวจวัดได้แตกต่างจากค่ามาตรฐานของผู้ผลิต ดังนั้น

การประเมินสมรรถนะจากข้อมูลภาคสนามจึงให้ข้อมูลที่สะท้อนพฤติกรรมการใช้พลังงานของระบบได้ดีกว่าการอ้างอิงข้อมูลจากการทดสอบมาตรฐานเพียงอย่างเดียว แนวคิดดังกล่าวสอดคล้องกับ International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) ซึ่งกำหนดให้การประเมินผลการใช้พลังงานควรอาศัยข้อมูลการตรวจวัดจริงร่วมกับการสร้าง Baseline Model เพื่อสะท้อนสภาพการใช้งานของระบบอย่างเหมาะสม (Efficiency Valuation Organization, 2022)

ในด้านผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ งานวิจัยของ Chan และ Yu (2007) พบว่าเครื่องทำน้ำเย็นในอาคารส่วนใหญ่ไม่ได้ทำงานที่ภาระเต็มตลอดเวลา แต่ทำงานภายใต้สภาวะโหลดบางส่วนเป็นสัดส่วนสูงของชั่วโมงการเดินเครื่อง ส่งผลให้ตัวแปรด้านอุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์มีบทบาทต่อสมรรถนะของระบบมากกว่าที่กำหนดไว้ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน

ต่อมา Yu และ Chan (2005, 2007) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างภาระการทำความเย็น อุณหภูมิการควบแน่น และสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยง ผลการศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิการควบแน่นเพิ่มขึ้น ความดันด้านคอนเดนเซอร์จะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ค่า COP ลดลง และค่า kW/RT เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าผลกระทบดังกล่าวมีความชัดเจนมากขึ้นเมื่อเครื่องทำงานภายใต้สภาวะโหลดบางส่วน ซึ่งเป็นสภาวะที่พบได้จริงในการใช้งานอาคาร

Safii (2021) ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นโดยการควบคุมอุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ร่วมกับระบบหอผึ่งน้ำ ผลการศึกษาพบว่าการปรับค่า ECWT ให้เหมาะสมช่วยลดการใช้กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ และส่งผลให้สมรรถนะของระบบโดยรวมดีขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกไม่สูงมาก

Kang และคณะ (2021) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการเดินเครื่องของระบบ Chiller Plant ภายใต้ภาระโหลดที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการพยากรณ์ร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติ ผลการศึกษาพบว่าการควบคุมอุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ให้เหมาะสมสามารถลดการใช้พลังงานรวมของระบบได้ พร้อมทั้งลดการทำงานเกินความจำเป็นของคอมเพรสเซอร์

Li และคณะ (2021) วิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำภายใต้สภาวะโหลดที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ECWT เป็นหนึ่งในตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ใช้มากที่สุด โดยเมื่อ ECWT เพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้จะเพิ่มขึ้นในทุกช่วงภาระการทำงาน แม้ความสัมพันธ์จะไม่เป็นเชิงเส้นก็ตาม

Kim และคณะ (2021) ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิค Machine Learning ในการทำนายสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นจากข้อมูลการตรวจวัดจริง ผลการศึกษาพบว่าการใช้ตัวแปรหลายตัวร่วมกัน เช่น ECWT, ECHWT, Cooling Load และอัตราการไหลของน้ำ สามารถเพิ่มความแม่นยำของ

แบบจำลองได้มากกว่าการใช้ตัวแปรเดี่ยว สะท้อนว่าสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นเกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรหลายด้าน

Kyere และคณะ (2023) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นในอาคารขนาดใหญ่ ผลการศึกษาระบุว่า ECWT เป็นหนึ่งในตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงต่อกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ และเสนอให้ใช้การควบคุม ECWT ร่วมกับการควบคุมภาระโหลดเพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบโดยรวม

Wang, Yan และ Xiao (2023) ศึกษาผลกระทบของ ECWT ต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงโดยใช้ข้อมูลภาคสนามร่วมกับการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ผลการศึกษาพบว่า ECWT เป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่า kW/RT มากที่สุดตัวแปรหนึ่ง โดยการเพิ่มขึ้นของ ECWT ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และค่า COP ลดลงตามลำดับ ผลการศึกษาดังกล่าวสนับสนุนแนวคิดที่ว่า การควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์เป็นมาตรการสำคัญในการเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของระบบ Chiller Plant

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การจำลองการทำงานของระบบ การวิเคราะห์ความไวของตัวแปร และการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมระบบเครื่องทำน้ำเย็น ขณะที่การศึกษาที่ใช้ข้อมูลภาคสนามจากหลายโครงการภายใต้สภาพภูมิอากาศร้อนชื้นยังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะการเปรียบเทียบสมรรถนะที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตภายใต้สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของ ECWT ต่อค่า kW/RT ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ค่อนข้างจำกัด

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จำนวน 7 โครงการ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) พร้อมทั้งเปรียบเทียบสมรรถนะที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานจริง และสนับสนุนการเพิ่มสมรรถนะด้านพลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 รูปแบบและแนวทางการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงวิศวกรรม (Engineering Research) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) กับสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของระบบปรับอากาศในอาคารขนาดใหญ่ โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากการเดินเครื่องจริง (Field Measurement Data) เป็นแหล่งข้อมูลหลักในการวิเคราะห์

การศึกษาครั้งนี้จัดอยู่ในรูปแบบการประเมินสมรรถนะจากการใช้งานจริง (Field-based Performance Evaluation) ซึ่งมุ่งประเมินพฤติกรรมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-design Conditions) แตกต่างจากการทดสอบสมรรถนะตามเงื่อนไขมาตรฐานของผู้ผลิต (Standard Rating Conditions) ที่ดำเนินการภายใต้สภาวะควบคุม การใช้ข้อมูลภาคสนามจึงสามารถสะท้อนสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาพแวดล้อมและรูปแบบการใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสม (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers [ASHRAE], 2023; Efficiency Valuation Organization [EVO], 2022)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้จากเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Chiller) ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จำนวน 7 โครงการ ประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 300 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 370 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 400 ตันความเย็น จำนวน 2 เครื่อง ขนาด 450 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ขนาด 500 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง และขนาด 800 ตันความเย็น จำนวน 1 เครื่อง ซึ่งติดตั้งใช้งานจริงในอาคารขนาดใหญ่ที่มีลักษณะการใช้งานแตกต่างกัน รายละเอียดของเครื่องทำน้ำเย็นและโครงการที่ศึกษาแสดงไว้ในหัวข้อ 3.2

ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยพารามิเตอร์การทำงานที่สำคัญของเครื่องทำน้ำเย็น ได้แก่ อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์ (Entering Chilled Water Temperature: ECHWT และ Leaving Chilled Water Temperature: LCHWT) อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT และ Leaving Condenser Water Temperature: LCWT) อัตราการไหลของน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator Water Flow Rate)

ภาระการทำความเย็น (Cooling Capacity) และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น (Power Input) โดยพารามิเตอร์ดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (Kilowatt per Refrigeration Ton: kW/RT) ซึ่งใช้เป็นตัวชี้วัดหลักในการประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น และใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ECWT กับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ

การวิเคราะห์ข้อมูลเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลการเดินเครื่องจากระบบควบคุมของเครื่องทำน้ำเย็น จากนั้นตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลและคัดกรองข้อมูลที่มีความผิดปกติก่อนนำมาคำนวณสมรรถนะด้านพลังงาน ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบแล้วถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) กับค่า kW/RT ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง และเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต ซึ่งกำหนดเงื่อนไขมาตรฐานที่อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F เพื่อประเมินความแตกต่างของสมรรถนะระหว่างสภาวะมาตรฐาน (Standard Rating Condition) และสภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-design Condition)

ผลการวิเคราะห์ที่ได้ใช้สำหรับอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์กับสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลประกอบการเปรียบเทียบสมรรถนะที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานจริงกับข้อมูลอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน

3.2 เครื่องทำน้ำเย็นและโครงการที่ศึกษา

การวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Chiller) ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ที่ติดตั้งและใช้งานจริงในอาคารขนาดใหญ่ จำนวน 7 โครงการ โดยเป็นเครื่องทำน้ำเย็นของผู้ผลิตรายเดียวกัน เพื่อให้คุณลักษณะของเครื่องจักรและหลักการทำงานมีความสอดคล้องกัน และลดผลกระทบจากความแตกต่างของเทคโนโลยีระหว่างผู้ผลิต

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลการเดินเครื่องที่ได้จากระบบควบคุมของเครื่องทำน้ำเย็น (Building Management System; BMS หรือ Chiller Controller) ซึ่งบันทึกค่าพารามิเตอร์การทำงานของเครื่องในช่วงเวลาที่กำหนด ประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์ (Entering Chilled Water Temperature: ECHWT และ Leaving Chilled Water Temperature: LCHWT) อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT และ Leaving Condenser Water Temperature: LCWT) อัตราการไหลของน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator Water Flow Rate) ภาระการทำความเย็น (Cooling Capacity) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น (Power Input) และสัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio; PLR)

โครงการที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยอาคารประเภทโรงแรม จำนวน 1 โครงการ และศูนย์การค้า จำนวน 6 โครงการ ซึ่งมีรูปแบบการใช้งานระบบปรับอากาศแตกต่างกัน โดยโรงแรมมีการเดินเครื่องอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ขณะที่ศูนย์การค้าส่วนใหญ่มีการเดินเครื่องเฉลี่ยประมาณ 10–12 ชั่วโมงต่อวันตามช่วงเวลาเปิดให้บริการ ความแตกต่างของลักษณะการใช้งานดังกล่าวส่งผลให้ช่วงเวลาการทำงาน ภาระการทำความเย็น และสภาวะการเดินเครื่องของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละโครงการแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) เป็นตัวชี้วัดหลัก ซึ่งเป็นดัชนีเชิงสมรรถนะที่สามารถใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดและรูปแบบการใช้งานแตกต่างกันได้

รายละเอียดของโครงการที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 3-1 และรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องทำน้ำเย็นแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-1 รายละเอียดโครงการที่ศึกษา

โครงการ	ประเภทอาคาร	ลักษณะการเดินเครื่อง	ช่วงเวลาเก็บข้อมูล
โครงการที่ 1	โรงแรม	เดินเครื่องต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง	14–16 ตุลาคม 2568
โครงการที่ 2	ศูนย์การค้า	ประมาณ 10–12 ชั่วโมง/วัน	17–18 กรกฎาคม 2568
โครงการที่ 3	ศูนย์การค้า	ประมาณ 10–12 ชั่วโมง/วัน	2–3 สิงหาคม 2568
โครงการที่ 4	ศูนย์การค้า	ประมาณ 10–12 ชั่วโมง/วัน	4–5 กันยายน 2568
โครงการที่ 5	ศูนย์การค้า	ประมาณ 10–12 ชั่วโมง/วัน	8–9 สิงหาคม 2568
โครงการที่ 6	ศูนย์การค้า	ประมาณ 10–12 ชั่วโมง/วัน	6–7 กันยายน 2568
โครงการที่ 7	ศูนย์การค้า	ประมาณ 10–12 ชั่วโมง/วัน	31 กรกฎาคม–1 สิงหาคม 2568

เครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในการศึกษาทั้ง 7 โครงการเป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Chiller) ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ของผู้ผลิตรายเดียวกัน โดยมีขนาดความเย็นตั้งแต่ 300–800 ตันความเย็น (RT) เครื่องทุกเครื่องใช้สารทำความเย็นชนิด R-134a และได้รับการออกแบบให้ใช้คอมเพรสเซอร์แบบแรงเหวี่ยงร่วมกับเทคโนโลยีตลับลูกปืนแม่เหล็ก (Magnetic Bearing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดการสูญเสียทางกล รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในการศึกษาสรุปดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในการศึกษา

โครงการ	ผู้ผลิต	รุ่น	ขนาด (RT)	ประเภทเครื่อง	ประเภทคอมเพรสเซอร์	สารทำความเย็น	แรงดันไฟฟ้า
1	Midea	CCWE400EV	400	Water-cooled Chiller	Magnetic Bearing Dual-Stage Centrifugal	R-134a	380 V / 3 Phase / 50 Hz
2	Midea	CCWE400EV	400	Water-cooled Chiller	Magnetic Bearing Dual-Stage Centrifugal	R-134a	380 V / 3 Phase / 50 Hz
3	Midea	CCWG370EV	370	Water-cooled Chiller	Magnetic Bearing Dual-Stage Centrifugal	R-134a	380 V / 3 Phase / 50 Hz
4	Midea	CCWG300EV	300	Water-cooled Chiller	Magnetic Bearing Dual-Stage Centrifugal	R-134a	380 V / 3 Phase / 50 Hz
5	Midea	CCWG450EV	450	Water-cooled Chiller	Magnetic Bearing Dual-Stage Centrifugal	R-134a	380 V / 3 Phase / 50 Hz
6	Midea	CCWG500EV	500	Water-cooled Chiller	Magnetic Bearing Dual-Stage Centrifugal	R-134a	380 V / 3 Phase / 50 Hz
7	Midea	CCWG800EVD	800	Water-cooled Chiller	Magnetic Bearing Dual-Stage Centrifugal	R-134a	380 V / 3 Phase / 50 Hz

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากการเดินเครื่องจริง (Field Measurement Data) ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Chiller) ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จำนวน 7 โครงการ ซึ่งติดตั้งและใช้งานจริงในอาคารขนาดใหญ่ ข้อมูลดังกล่าวได้จากระบบควบคุมของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Controller) ซึ่งทำหน้าที่ตรวจวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์การทำงานของเครื่องอย่างต่อเนื่องระหว่างการเดินเครื่อง

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น ได้แก่ อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์ (Entering Chilled Water Temperature: ECHWT และ Leaving Chilled Water Temperature: LCHWT) อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT และ Leaving Condenser Water Temperature: LCWT) อัตราการไหลของน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator Water Flow Rate) ภาระการทำความเย็น (Cooling Capacity) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น (Power Input) และสัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio: PLR) โดยรายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	วิธีการได้มาของข้อมูล	วัตถุประสงค์
อุณหภูมิน้ำทางเข้าอีวาพอเรเตอร์	ECHWT	°F	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ	ใช้คำนวณภาระการทำความเย็น
อุณหภูมิน้ำทางออกอีวาพอเรเตอร์	LCHWT	°F	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ	ใช้คำนวณภาระการทำความเย็น
อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์	ECWT	°F	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ	ตัวแปรอิสระของการวิจัย
อุณหภูมิน้ำทางออกคอนเดนเซอร์	LCWT	°F	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ	ใช้วิเคราะห์การระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์
อัตราการไหลของน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์	Flow Rate	GPM	ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก	ใช้คำนวณภาระการทำความเย็น
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	Power Input	kW	ตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า	ใช้คำนวณประสิทธิภาพพลังงาน
ความสามารถในการทำความเย็น	Cooling Capacity	RT	คำนวณจากอัตราการไหลและผลต่างอุณหภูมิน้ำเย็น	ใช้คำนวณค่า kW/RT
อัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น	kW/RT	kW/RT	คำนวณจากกำลังไฟฟ้าและความสามารถในการทำความเย็น	ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน
สัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง	PLR	%	คำนวณจากความสามารถในการทำความเย็นที่ตรวจวัดได้เทียบกับความสามารถในการทำความเย็นพิกัด	ใช้วิเคราะห์สภาวะการเดินเครื่อง

ข้อมูลจากแต่ละโครงการถูกบันทึกอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาที่กำหนด จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบความครบถ้วนและความถูกต้องก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยคัดกรองข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มเดินเครื่อง ช่วงหยุดเดินเครื่อง หรือข้อมูลที่มีความผิดปกติออกจากชุดข้อมูล เพื่อให้ผลการวิเคราะห์สะท้อนสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานปกติได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างข้อมูลตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในการวิเคราะห์

Date	Time	Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Actual Measured Data Evaporator Temp (°F)		Actual Measured Data Condensing Temp (°F)						
		Actual Measured Data Evaporator Temp (°F) Leaving	Actual Measured Data Evaporator Temp (°F) Entering	Actual Measured Data Condensing Temp (°F) Entering	Actual Measured Data Condensing Temp (°F) Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
17-07-25	11:54:00 AM	46.4	54.5	87.5	97.1	843.02	284.52	157.1	0.552	71%
17-07-25	11:55:00 AM	46.5	54.5	87.4	96.9	850.57	283.52	157.6	0.556	71%
17-07-25	11:56:00 AM	46.5	54.5	87.4	96.8	844.74	281.58	157.1	0.558	70%
17-07-25	11:57:00 AM	46.4	54.5	87.2	96.8	821.66	277.31	157.3	0.567	69%
17-07-25	11:58:00 AM	46.4	54.4	87.3	96.9	837.25	279.08	156.7	0.561	70%
17-07-25	11:59:00 AM	46.5	54.5	87.4	97.1	841.34	280.45	157.9	0.563	70%
17-07-25	12:00:00 PM	46.5	54.5	87.5	97.1	828.11	276.04	158.9	0.576	69%
17-07-25	12:01:00 PM	46.4	54.5	87.5	97.1	821.72	277.33	160.1	0.577	69%
17-07-25	12:02:00 PM	46.5	54.5	87.4	96.9	814.75	271.58	160.7	0.592	68%

นอกจากข้อมูลที่บันทึกจากระบบควบคุมของเครื่องทำน้ำเย็นแล้ว การวิจัยยังใช้เครื่องมือวัดภาคสนามสำหรับตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่ตรวจวัด ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า (Power Quality Analyzer) เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Flow Meter) และเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล โดยรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแสดงดังตารางที่ 3-5

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือวัดภาคสนามสำหรับตรวจวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ อัตราการไหลของน้ำ และอุณหภูมิน้ำทางเข้า–ออกของระบบ ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดได้รับการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของพารามิเตอร์ที่ต้องการวัด และมีค่าความถูกต้อง (Accuracy) ตามข้อกำหนดของผู้ผลิต เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้ในการคำนวณสมรรถนะด้านพลังงานได้อย่างเหมาะสม

การตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นดำเนินการโดยใช้เครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า Hioki PQ3198 Power Quality Analyzer ซึ่งสามารถตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) ได้พร้อมกัน โดยมีค่าความถูกต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับงานตรวจวัดด้านพลังงานและการประเมินสมรรถนะของระบบไฟฟ้าในภาคสนาม

การตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์ใช้เครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก Floko FM-200H Ultrasonic Flow Meter ซึ่งเป็นเครื่องมือชนิดไม่รุกล้ำท่อ (Clamp-on Ultrasonic Flow Meter) สามารถตรวจวัดอัตราการไหลของของไหลได้โดยไม่ต้องตัดต่อหรือดัดแปลงระบบท่อเดิม จึงช่วยลดผลกระทบต่อการเดินเครื่องของระบบและเพิ่มความสะดวกในการตรวจวัดภาคสนาม นอกจากนี้ เครื่องมือดังกล่าวยังสามารถทำการสอบเทียบแบบออนไลน์ (Online Calibration) เพื่อเพิ่มความถูกต้องของผลการตรวจวัดก่อนนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์

การตรวจวัดอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ Lutron TM-1947SD Thermometer ร่วมกับหัววัดชนิด Pt100 Resistance Temperature Detector (RTD) ซึ่งเป็นเซนเซอร์ที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในงานด้านระบบปรับอากาศและเครื่องทำน้ำเย็น เนื่องจากให้ความแม่นยำและความเสถียรของการวัดอุณหภูมิในช่วงการทำงานของระบบน้ำเย็นได้เป็นอย่างดี

ก่อนดำเนินการตรวจวัด เครื่องมือทุกชนิดได้รับการตรวจสอบสภาพการใช้งานและตั้งค่าการวัดให้เหมาะสมตามคู่มือของผู้ผลิต เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้อง สม่ำเสมอ และสามารถนำไปใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling Capacity) อัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) และตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้อย่างน่าเชื่อถือ โดยรายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและค่าความถูกต้องของเครื่องมือแสดงดังตารางที่ 3-4 (Hioki E.E. Corporation, n.d.; Floko Instrument, n.d.; Lutron Electronic Enterprise Co., Ltd., n.d.).

ตารางที่ 3-5 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดและค่าความถูกต้องของเครื่องมือ

เครื่องมือ	พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	ความถูกต้อง (Accuracy)
Hioki PQ3198 Power Quality Analyzer	แรงดันไฟฟ้า (Voltage)	±0.1% ของ Nominal Voltage
	กระแสไฟฟ้า (Current)	±0.1% rdg. ±0.1% f.s. + Current Sensor Accuracy
	กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power)	±0.2% rdg. ±0.1% f.s. + Current Sensor Accuracy
Floko FM-200H Ultrasonic Flow Meter	อัตราการไหลของน้ำ (Flow Rate)	±1.0% ของค่าที่อ่านได้
	หลัง Online Calibration	±0.5% ของค่าที่อ่านได้
	Repeatability	±0.2% ของค่าที่อ่านได้
	Linearity	±0.5%
Lutron TM-1947SD Thermometer (ร่วมกับ Pt100 RTD)	อุณหภูมิ (Pt100)	±(0.4% ของค่าที่อ่านได้ + 1°C)
	Thermocouple Type K	±(0.4% ของค่าที่อ่านได้ + 1°C)
	Thermocouple Type R/S	±(0.4% ของค่าที่อ่านได้ + 0.5°C)



ภาพที่ 3-1 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิกที่ท่อน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์



ภาพที่ 3-2 ตำแหน่งการตรวจวัดอุณหภูมิน้ำเข้า–ออกของอีวาพอเรเตอร์และคอนเดนเซอร์



ภาพที่ 3-3 การติดตั้งเครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าสำหรับตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น

3.5 ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต

นอกจากข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามแล้ว งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต (Manufacturer Performance Data) เพื่อเป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับสมรรถนะที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานจริงของเครื่องทำน้ำเย็น ข้อมูลดังกล่าวอยู่ในรูปของค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (Power Input per Capacity: kW/RT หรือ kW/Ton) ที่ระดับภาระการทำงานต่าง ๆ ตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 ของพิกัดเครื่อง ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F

การใช้ข้อมูลสมรรถนะจากผู้ผลิตที่ ECWT เท่ากับ 85°F เป็นค่ามาตรฐานอ้างอิงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะมาตรฐานกับสภาวะการใช้งานจริง ซึ่งในภาคสนามอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์และภาระการทำงานของเครื่องมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพอากาศ ภาระความเย็นของอาคาร และลักษณะการควบคุมระบบ ดังนั้น ข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตจึงเป็นฐานสำหรับประเมินความแตกต่างของค่า kW/RT ระหว่างสภาวะมาตรฐานและสภาวะนอกจุดออกแบบ (Off-design Conditions)

รายละเอียดค่า kW/RT จากข้อมูลผู้ผลิตของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละโครงการ แสดงดังตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ค่ากำลังไฟฟ้าต่อหน่วยความเย็นจากข้อมูลผู้ผลิตที่ ECWT 85°F

Cooling Load (%)	Project 1 400 RT	Project 2 400 RT	Project 3 370 RT	Project 4 300 RT	Project 5 450 RT	Project 6 500 RT	Project 7 800 RT
10	1.6100	1.6100	1.5080	1.8480	1.5930	1.4180	0.7787
20	0.8050	0.8050	0.7541	0.9241	0.8632	0.8324	0.4763
30	0.5905	0.5905	0.6080	0.6461	0.7028	0.6381	0.4493
40	0.5068	0.5068	0.5545	0.6141	0.5686	0.5351	0.4437
50	0.4951	0.4951	0.5027	0.5679	0.5355	0.4994	0.4786
60	0.4883	0.4883	0.4960	0.5221	0.5105	0.4904	0.4943
70	0.4810	0.4810	0.4985	0.5191	0.4993	0.4906	0.4864
80	0.4888	0.4888	0.5109	0.5197	0.5014	0.4880	0.4925
90	0.5010	0.5010	0.5261	0.5186	0.5003	0.4997	0.5102
100	0.5264	0.5264	0.5570	0.5367	0.5150	0.5207	0.5267

3.6 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาและการเชื่อมโยงข้อมูล

เพื่อให้การวิเคราะห์สมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นเป็นไปอย่างมีระบบ มีความชัดเจน และสามารถตีความผลในเชิงวิศวกรรมพลังงานได้อย่างเหมาะสม การศึกษานี้ได้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาออกเป็น ตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม และตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ รวมถึงกำหนดแนวทางการเชื่อมโยงข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการประเมินผล โดยมุ่งเน้นการใช้ข้อมูลที่ได้จาก

การตรวจวัดภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของระบบเครื่องทำความเย็นเป็นหลัก ทั้งนี้ เพื่อให้ผลการศึกษาสะท้อนพฤติกรรมและสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นในทางปฏิบัติได้อย่างแท้จริง

ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระในการศึกษานี้ คือ ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานของระบบและเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น โดยกำหนดให้อุณหภูมิน้ำทางเข้า Condenser (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) เป็นตัวแปรอิสระหลักของการศึกษา ซึ่งสะท้อนสภาวะการระบายความร้อนของระบบคอนเดนเซอร์ภายใต้การใช้งานจริง โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ78.4°F–95.5°F ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่สอดคล้องกับสภาวะการทำงานปกติของระบบเครื่องทำความเย็นในอาคารขนาดใหญ่

การเลือกใช้อุณหภูมิน้ำเข้าทางด้านคอนเดนเซอร์เป็นตัวแปรอิสระ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสภาวะการระบายความร้อนต่อพฤติกรรมและสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นในเชิงวิศวกรรมพลังงาน ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของระบบ

ตัวแปรตาม

ตัวแปรตาม คือ ตัวแปรที่แสดงผลลัพธ์ด้านสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามตัวแปรอิสระ โดยในการศึกษานี้กำหนดตัวแปรตาม ได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยเครื่องทำความเย็น (Electrical Power Consumption) ดัชนีสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น เช่น ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อภาระความเย็น (kW/RT)

ตัวแปรตามดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดหลักในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น และเพื่อแสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะการใช้พลังงานภายใต้อุณหภูมิน้ำเข้าทางด้านคอนเดนเซอร์ที่แตกต่างกัน

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ตัวแปรประกอบที่ใช้สนับสนุนการประเมินสมรรถนะการใช้พลังงาน และช่วยอธิบายพฤติกรรมการทำงานของเครื่องทำความเย็นในเชิงวิศวกรรมพลังงาน โดยประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกของ Evaporator อุณหภูมิน้ำออกทางด้าน Condenser ภาระการทำงานของเครื่องทำความเย็น เช่น ภาระความเย็นของภาระการทำงาน (มากกว่า 30%)

ตัวแปรเหล่านี้ถูกนำมาใช้เพื่อจัดกลุ่มข้อมูลให้อยู่ภายใต้สภาวะการทำงาน และเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการตีความความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

3.7 การคำนวณสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามประกอบด้วยอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์ อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของคอนเดนเซอร์ อัตราการไหลของน้ำเย็น และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาคำนวณค่าพารามิเตอร์ด้านสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) กับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Capacity) อัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (Power Input per Refrigeration Ton; kW/RT) และสัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio; PLR)

3.7.1 การคำนวณความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Capacity)

ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นคำนวณจากอัตราการไหลของน้ำเย็นด้านอีวาพอเรเตอร์และผลต่างอุณหภูมิของน้ำเย็นระหว่างทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์ตามหลักสมดุลพลังงานของของไหล

ในการวิจัยนี้ อัตราการไหลของน้ำวัดเป็นหน่วยแกลลอนต่อนาที (Gallons per Minute; GPM) และอุณหภูมิเป็นองศาฟาเรนไฮต์ (°F) จึงใช้สมการมาตรฐานที่นิยมใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบใช้น้ำ ดังสมการ

$$Cooling\ Capacity(RT) = \frac{Flow(GPM) \times \Delta T(\circ F) \times 500}{12000} \qquad (3\text{-}1)$$

หรือสามารถเขียนในรูปย่อได้เป็น

$$Cooling\ Capacity(RT) = \frac{Flow \times \Delta T}{24} \qquad (3\text{-}2)$$

โดยที่

Flow = อัตราการไหลของน้ำเย็น (GPM)

$$\Delta T = ECHWT - LCHWT \quad (3\text{-}3)$$

ECHWT =อุณหภูมิน้ำเย็นทางเข้าอีวาพอเรเตอร์ (°F)

LCHWT = อุณหภูมิน้ำเย็นทางออกอีวาพอเรเตอร์ (°F)

500 = ค่าคงที่ซึ่งได้จากผลคูณของความหนาแน่นของน้ำ ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ และตัวประกอบการแปลงหน่วย

12000 = ความร้อนของเครื่องทำความเย็น 1 ตันความเย็น (BTU/h)

ผลลัพธ์จากสมการดังกล่าวให้ค่าความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องในหน่วยตันความเย็น (Refrigeration Ton; RT) ซึ่งใช้เป็นตัวแปรพื้นฐานสำหรับคำนวณประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

3.7.2 การคำนวณอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT)

ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (Power Input per Refrigeration Ton; kW/RT) เป็นตัวชี้วัดหลักที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในการวิจัยนี้ โดยคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องทำน้ำเย็นใช้กับความสามารถในการทำความเย็นที่ผลิตได้ ดังสมการที่ (2-8)

$$kW/RT = \frac{Power(kW}{Cooling\ Capacity(RT)}$$

โดยที่

Power = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น (kW)

Cooling Capacity = ความสามารถในการทำความเย็นที่คำนวณได้ (RT)

ค่า kW/RT ที่ต่ำแสดงว่าเครื่องทำน้ำเย็นสามารถผลิตความเย็นได้โดยใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า จึงสะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงกว่า ในทางกลับกัน หากค่า kW/RT สูงขึ้น แสดงว่าการใช้พลังงานของเครื่องเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับความสามารถในการผลิตความเย็น

3.7.3 การคำนวณสัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio)

สัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio; PLR) ใช้แสดงระดับการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อเปรียบเทียบกับความสามารถในการทำความเย็นตามพิกัดของเครื่อง โดยคำนวณจากสมการ

$$PLR = \frac{Cooling\ Capacity}{Rated\ Cooling\ Capacity} \quad (3\text{-}4)$$

โดยที่

PLR = สัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (%)

Cooling Capacity = ความสามารถในการทำความเย็นที่คำนวณได้ (RT)

Rated Cooling Capacity = ความสามารถในการทำความเย็นตามพิกัดของเครื่อง (RT)

ค่า PLR ถูกนำมาใช้ในการจัดกลุ่มข้อมูลภาคสนาม และเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะจากผู้ผลิต ซึ่งกำหนดค่าประสิทธิภาพไว้ที่ระดับภาระการทำงานร้อยละ 10–100 ของพิกัดเครื่อง

3.8 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) กับสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามร่วมกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต เพื่อให้สามารถประเมินและเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-design Conditions) ได้อย่างเป็นระบบ

ก่อนการวิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามได้รับการตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของข้อมูล (Data Validation) รวมทั้งคัดกรองข้อมูลที่ผิดปกติหรือไม่สอดคล้องกับสภาวะการทำงานปกติของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อลดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดและเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์

จากนั้น ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบถูกนำมาคำนวณค่าพารามิเตอร์ด้านสมรรถนะ ได้แก่ ความสามารถในการทำความเย็น (Cooling Capacity) อัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) และสัดส่วนภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio: PLR) ตามวิธีการที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.7 ก่อนนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ดำเนินการโดยใช้แผนภาพการกระจายข้อมูล (Scatter Plot) เพื่อแสดงลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลภาคสนาม และใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) เพื่ออธิบายแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร พร้อมทั้งประเมินระดับความสอดคล้องของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination; R^2) ซึ่งใช้แสดงสัดส่วนของความแปรปรวนของตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้จากตัวแปรอิสระ

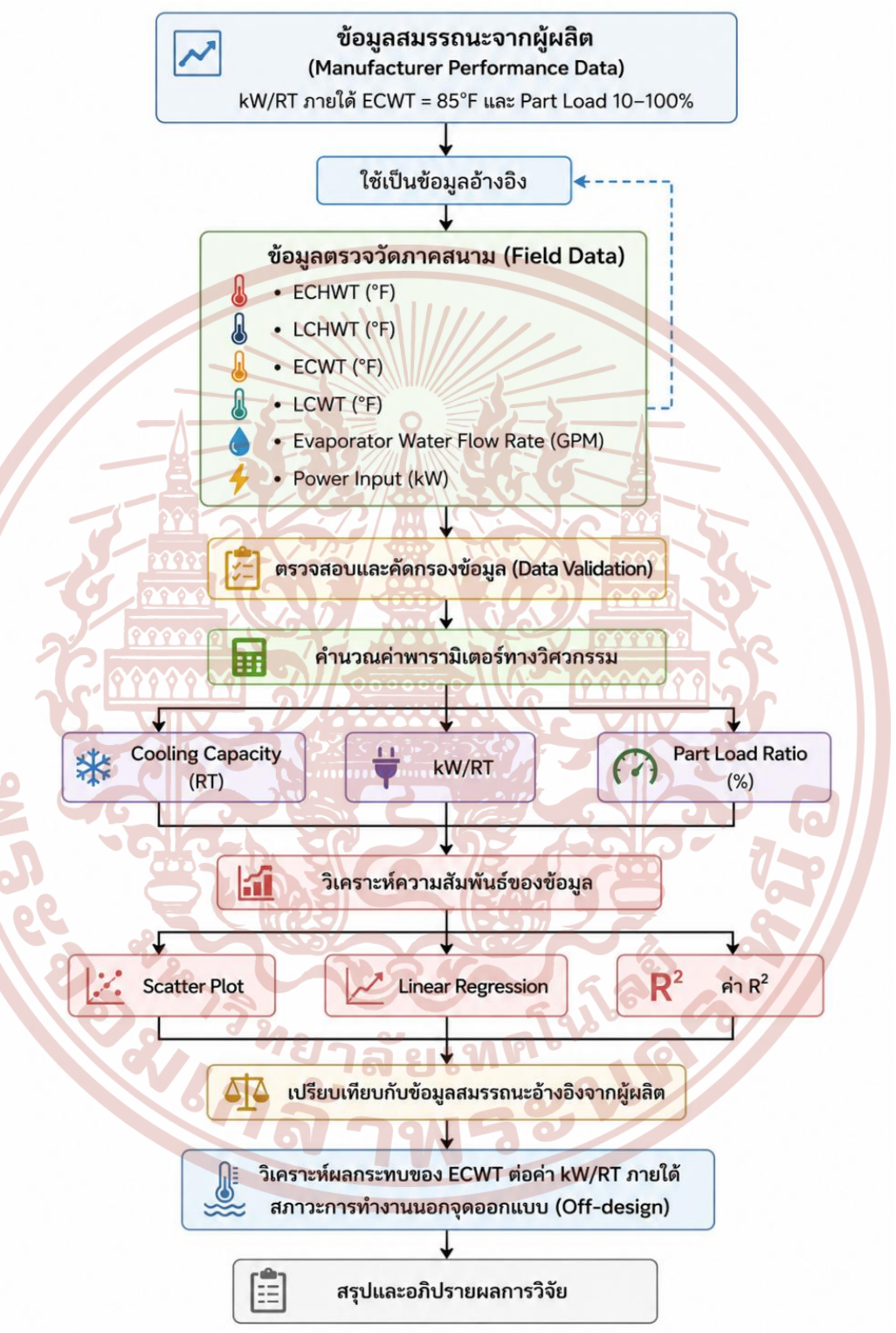
นอกจากนี้ ผลการคำนวณค่า kW/RT ที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามยังถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F เพื่อประเมินความแตกต่างของสมรรถนะระหว่างสภาวะมาตรฐานและสภาวะการใช้งานจริง รวมทั้งวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพการใช้พลังงานเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เปลี่ยนแปลง

3.8.1 ขอบเขตข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์สมรรถนะการใช้พลังงานในงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลจาก 2 แหล่ง ได้แก่ ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต และข้อมูลการตรวจวัดภาคสนาม ซึ่งถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อประเมินพฤติกรรมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะมาตรฐานและสภาวะการใช้งานจริง

ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตเป็นข้อมูลที่จัดทำขึ้นภายใต้เงื่อนไขการทดสอบตามมาตรฐาน AHRI Standard 550/590 โดยกำหนดอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) เท่ากับ 85°F และแสดงสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นในช่วงภาระการทำงานตั้งแต่ร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 100 ของกำลังการทำความเย็นพิกัด ข้อมูลดังกล่าวถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดภาคสนาม

ข้อมูลภาคสนามเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จากโครงการตัวอย่างจำนวน 7 โครงการ โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์ อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของคอนเดนเซอร์ อัตราการไหลของน้ำ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ และภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น



ภาพที่ 3-4 แผนภาพการเชื่อมโยงข้อมูลและขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

บทนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Chiller) ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จำนวน 7 โครงการ โดยใช้ข้อมูลการทำงานจริงของระบบร่วมกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต เพื่อประเมินสมรรถนะด้านพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง (Field Operation) และสภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-design Conditions)

การวิเคราะห์มุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) กับอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดหลักในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยพิจารณาร่วมกับภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio: PLR) และพารามิเตอร์การทำงานที่เกี่ยวข้อง เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในเชิงวิศวกรรมพลังงาน

ผลการวิเคราะห์นำเสนอในรูปแบบของตารางและกราฟ เพื่อแสดงลักษณะการกระจายของข้อมูล แนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) พร้อมทั้งประเมินความสอดคล้องของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination: R^2) นอกจากนี้ ยังเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F เพื่อประเมินความแตกต่างของสมรรถนะระหว่างสภาวะมาตรฐานกับสภาวะการใช้งานจริง

ลำดับการนำเสนอผลการศึกษาเริ่มจากการอธิบายลักษณะของชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ จากนั้นจึงนำเสนอผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละโครงการ ความสัมพันธ์ระหว่าง ECWT กับค่า kW/RT การเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต และอภิปรายผลในเชิงวิศวกรรม โดยเชื่อมโยงผลการศึกษากับหลักการทางอุณหพลศาสตร์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการพลังงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นในอาคารขนาดใหญ่

4.1 แนวทางการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ในหัวข้อนี้มุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Chiller) ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) กับอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (Power Input per Capacity: kW/RT) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดหลักที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

การวิเคราะห์อาศัยข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามจากเครื่องทำน้ำเย็นจำนวน 7 โครงการ ร่วมกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่กำหนดอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F ตามมาตรฐาน AHRI Standard 550/590 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างสภาวะมาตรฐาน (Standard Rating Conditions) และสภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-design Conditions) (AHRI, 2023)

ผลการวิเคราะห์นำเสนอในรูปแบบของตารางและกราฟ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต และการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดภาคสนาม เพื่อแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่า ECWT กับค่า kW/RT รวมทั้งเปรียบเทียบสมรรถนะที่ตรวจวัดได้กับข้อมูลอ้างอิงของผู้ผลิตในแต่ละโครงการ

นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยแผนภาพการกระจาย (Scatter Plot) และการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) พร้อมประเมินความสอดคล้องของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination: R^2) เพื่ออธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะการใช้พลังงานเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

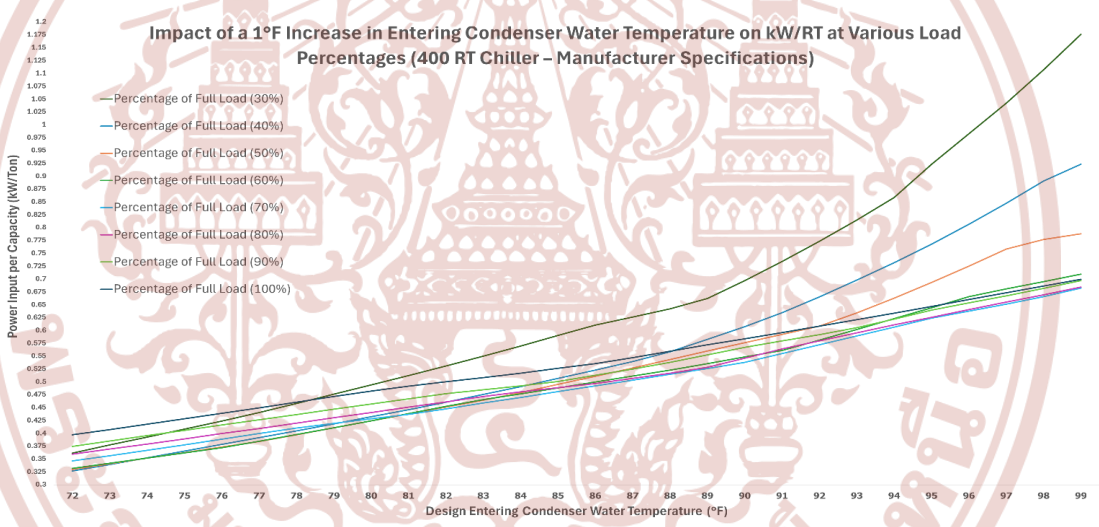
4.2 อิทธิพลของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ต่อค่า kW/RT ของเครื่องทำน้ำเย็น

เพื่อประเมินผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ECWT และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของทั้ง 7 โครงการ และเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่กำหนดอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เท่ากับ 85°F

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มสูงขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกโครงการ แม้ว่าระดับความสัมพันธ์จะแตกต่างกันในแต่ละโครงการ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ภาระการทำความเย็น (Cooling Load) ลำดับการทำงาน

ของเครื่องทำน้ำเย็น ระบบควบคุมเครื่องทำน้ำเย็น และสภาวะการระบายความร้อนของหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) อย่างไรก็ตาม แนวโน้มโดยรวมยังคงสอดคล้องกับหลักการทางอุณหพลศาสตร์และผลการศึกษาที่มีรายงานไว้ในวรรณกรรม โดยพบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้เพิ่มขึ้น และทำให้ค่า kW/RT สูงขึ้น ขณะที่ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง (ASHRAE, 2023; Wang et al., 2023)

เพื่อแสดงลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ECWT และ kW/RT พร้อมเส้นแนวโน้ม (Trend Line) และสมการการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ของแต่ละโครงการ รวมทั้งประเมินความสอดคล้องของแบบจำลองด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination: R^2) เพื่อใช้ประกอบการอภิปรายผลในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 4-1 ผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ 1°F ต่อค่า kW/RT ภายใต้ช่วงโหลดต่าง ๆ (เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 ตันความเย็น)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต

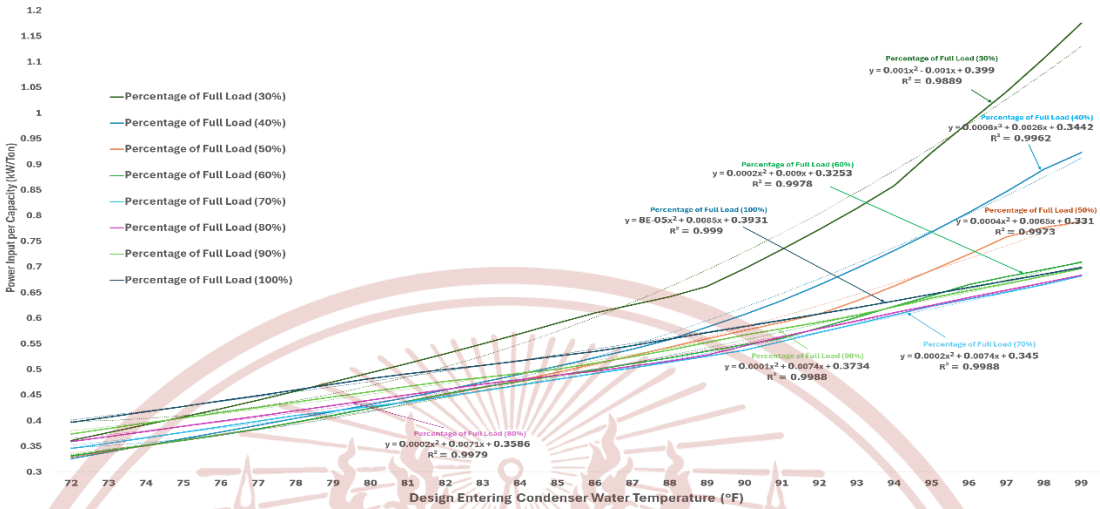
จากการวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled Chiller) ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ขนาด 400 ตันความเย็น ซึ่งได้จากข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขการทดสอบมาตรฐานที่กำหนดอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) และภาระการทำงานของเครื่อง (Cooling Load) พบว่า อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์มีอิทธิพลโดยตรงต่ออัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ในทุกช่วงภาระการทำงานที่ศึกษา

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่า ECWT เพิ่มสูงขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกระดับภาระการทำงาน ตั้งแต่ร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 100 ของกำลังการทำความเย็นพิกัด โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Relationship) กล่าวคือ ในช่วงอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ต่ำ การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT เป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไป แต่เมื่อ ECWT สูงกว่า 90°F ความชันของเส้นแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์สูงกว่าช่วงการทำงานปกติ

ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการทางอุณหพลศาสตร์ของวัฏจักรอัดไอ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิและความดันการควบแน่นของสารทำความเย็นจะเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราส่วนความดัน (Pressure Ratio) ของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้น และคอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังงานในการอัดสารทำความเย็นมากขึ้น ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น ขณะที่ความสามารถในการทำความเย็นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ค่า kW/RT สูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการที่อธิบายไว้ใน ASHRAE Handbook และตำราอุณหพลศาสตร์ของ Çengel และ Boles (ASHRAE, 2023; Çengel & Boles, 2019)

ผลการวิเคราะห์สมการแนวโน้มของข้อมูลผู้ผลิตพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination: R^2) ของทุกช่วงภาระการทำงานอยู่ในช่วงประมาณ 0.988–0.999 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง ECWT และค่า kW/RT มีความสอดคล้องในระดับสูงมาก ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่ควบคุมตัวแปรอื่นให้คงที่ โดยค่า R^2 ที่เข้าใกล้ 1 สะท้อนว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT สามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงของ ECWT เกือบทั้งหมดภายใต้สภาวะมาตรฐานของผู้ผลิต ทั้งนี้ ผลดังกล่าวเป็นลักษณะของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลภาคสนามที่มักได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ภาระการทำความเย็น สภาพอากาศ ประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำ และกลยุทธ์การควบคุมระบบ

จากผลการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยการควบคุมค่า ECWT ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของผู้ผลิตสามารถช่วยลดค่า kW/RT และรักษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้ โดยเฉพาะในช่วงภาระการทำงานต่ำถึงปานกลาง ผลการวิเคราะห์นี้จึงใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดภาคสนามในหัวข้อถัดไป เพื่อประเมินความแตกต่างของสมรรถนะระหว่างสภาวะมาตรฐานและสภาวะการใช้งานจริง



ภาพที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) กับอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตในแต่ละระดับภาระการทำงาน

ภาพที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) กับอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller ขนาด 400 ตันความเย็น ภายใต้ภาระการทำงานตั้งแต่ร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 100

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ในทุกระดับภาระการทำงาน โดยเมื่อ ECWT เพิ่มจากประมาณ 72°F เป็น 99°F ค่า kW/RT ของทุกเส้นแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สะท้อนให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ส่งผลให้การใช้พลังงานต่อหน่วยความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ รูปแบบของเส้นแนวโน้มแสดงลักษณะความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Relationship) โดยเฉพาะในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 90°F ซึ่งค่า kW/RT เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่าช่วงอุณหภูมิต่ำ แสดงให้เห็นว่าผลกระทบของ ECWT ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานมีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อเครื่องทำงานภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์สูง

เมื่อพิจารณาแต่ละระดับภาระการทำงาน พบว่าในช่วงภาระการทำงานต่ำ (30–40%) เส้นแนวโน้มมีความชันมากกว่าช่วงภาระการทำงานสูง (80–100%) แสดงว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ ECWT มากกว่าในช่วงโหลดต่ำ ขณะที่ในช่วงภาระการทำงานสูง ค่า kW/RT ยังคงเพิ่มขึ้นตาม ECWT แต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากคอมเพรสเซอร์ทำงานใกล้จุดออกแบบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องมีเสถียรภาพมากกว่าในช่วงโหลดต่ำ

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยของแต่ละระดับภาระการทำงานพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination: R^2) อยู่ในช่วง 0.9962–0.9990 ซึ่งแสดงถึงความสอดคล้องของสมการแนวโน้มกับข้อมูลผู้ผลิตในระดับสูงมาก กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT สามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เกือบทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขการทดสอบมาตรฐานที่ควบคุมตัวแปรอื่นให้คงที่

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการทางอุณหพลศาสตร์ของวัฏจักรอัดไอ ซึ่งอธิบายว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น อุณหภูมิและความดันการควบแน่นของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังงานในการอัดสารทำความเย็นมากขึ้น จึงทำให้ค่า kW/RT เพิ่มขึ้นตามลำดับ (Çengel & Boles, 2019; ASHRAE, 2023)

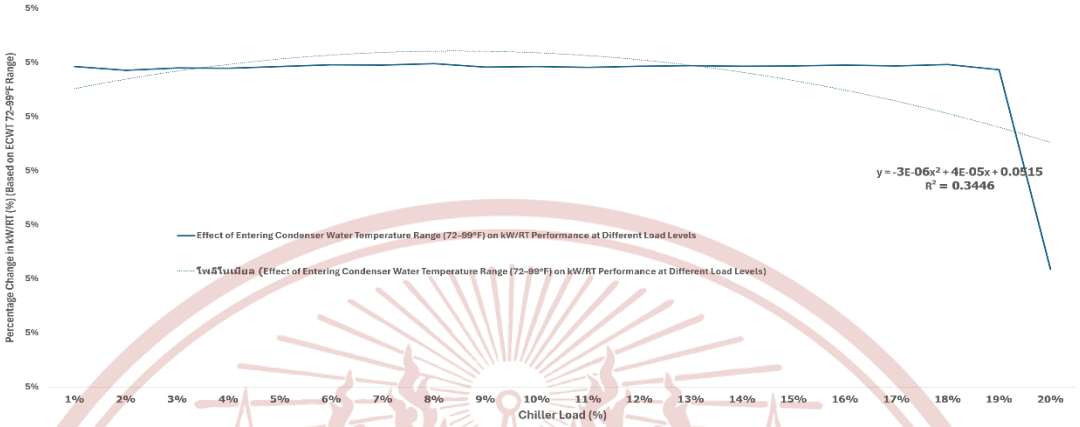
ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตในรูปที่ 4-2 จึงถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง (Baseline) สำหรับการเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดภาคสนามในหัวข้อถัดไป เพื่อประเมินความแตกต่างของสมรรถนะระหว่างสภาวะมาตรฐานและสภาวะการใช้งานจริงของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละโครงการ

4.2.2 การวิเคราะห์ผลของช่วงอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (72–99°F) ต่อการเปลี่ยนแปลงค่า kW/RT ในแต่ละระดับภาระการทำงาน

เพื่อประเมินความไวของสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตในช่วงอุณหภูมิ 72–99°F ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่พบได้ในการใช้งานจริงของระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่ใช้หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

การวิเคราะห์ดำเนินการโดยคำนวณร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ในแต่ละระดับภาระการทำงาน เพื่อประเมินความไวของเครื่องทำน้ำเย็นต่อการเปลี่ยนแปลงของ ECWT ภายใต้สภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน

ผลการศึกษานำเสนอในรูปของร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ในแต่ละระดับภาระการทำงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการประเมินศักยภาพในการควบคุมอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ และสนับสนุนการกำหนดกลยุทธ์การเดินระบบของเครื่องทำน้ำเย็นและหอผึ่งน้ำให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานจริง ทั้งนี้ ผลการศึกษาที่ผ่านมาได้รายงานว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์สามารถส่งผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นประมาณ 2–5% ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 1°F ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับภาระการทำงานและลักษณะของระบบควบคุม (U.S. Department of Energy [DOE], 2011).

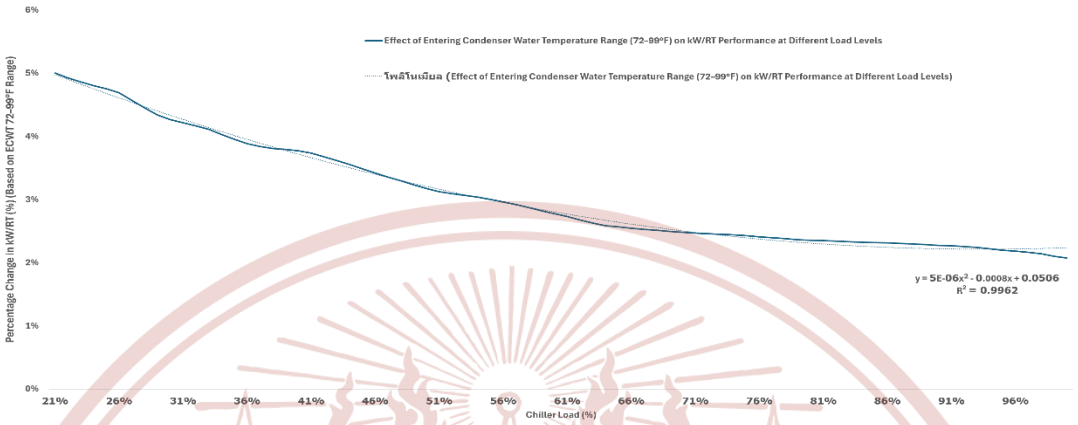


ภาพที่ 4-3 การวิเคราะห์ความความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ในช่วง 72–99°F ที่ภาระโหลดตั้งแต่ 1-20%

จากรูปที่ 4-3 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ในช่วงภาระการทำงานร้อยละ 1–20 พบว่า ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT มีค่าใกล้เคียงร้อยละ 5 ตลอดช่วงภาระการทำงาน โดยไม่ปรากฏแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจนเมื่อภาระการทำงานเปลี่ยนแปลง

ผลการวิเคราะห์สมการแนวโน้มให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.3446 ซึ่งอยู่ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างภาระการทำงานและร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ในช่วงโหลดต่ำยังไม่เป็นเชิงเส้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นในช่วงภาระการทำงานต่ำมากมักอยู่ภายใต้การควบคุมของระบบปรับความเร็วรอบและกลยุทธ์การควบคุมของเครื่อง ส่งผลให้การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของ ECWT มีความผันผวนมากกว่าช่วงภาระการทำงานปกติ

ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ในช่วงภาระการทำงานร้อยละ 1–20 จึงสะท้อนให้เห็นว่า แม้อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ยังคงส่งผลต่อค่า kW/RT แต่ระดับความไวของการเปลี่ยนแปลงยังไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการแนวโน้มเพียงอย่างเดียว และควรพิจารณาร่วมกับลักษณะการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในช่วงโหลดต่ำ



ภาพที่ 4-4 การวิเคราะห์ความความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ในช่วง 72–99°F ที่ภาระโหลดตั้งแต่ 21-100%

จากรูปที่ 4-4 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ในช่วงภาระการทำงานร้อยละ 21–100 พบว่า ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อภาระการทำงานของเครื่องเพิ่มขึ้น โดยในช่วงภาระการทำงานประมาณร้อยละ 20–30 การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT มีค่าประมาณร้อยละ 5 ขณะที่เมื่อภาระการทำงานเพิ่มขึ้นจนใกล้ร้อยละ 100 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ลดลงเหลือประมาณร้อยละ 2

สมการแนวโน้มให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.9962 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความสอดคล้องกับสมการถดถอยในระดับสูงมาก และสามารถอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้อย่างเหมาะสม

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า เครื่องทำน้ำเย็นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์มากที่สุดในช่วงภาระการทำงานต่ำถึงปานกลาง โดยการเปลี่ยนแปลงของ ECWT ส่งผลต่อค่า kW/RT ในระดับประมาณร้อยละ 5 ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ขณะที่เมื่อภาระการทำงานเพิ่มขึ้น ความไวของค่า kW/RT จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนอยู่ที่ประมาณร้อยละ 2 ในช่วงภาระการทำงานเต็มกำลัง สะท้อนให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำเย็นมีเสถียรภาพด้านสมรรถนะมากขึ้นเมื่อทำงานใกล้จุดออกแบบ

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวทางของ U.S. Department of Energy (2011) ซึ่งรายงานว่าการลดอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์สามารถช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้ประมาณ 2–5% ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 1°F ทั้งนี้ ผลกระทบจะเด่นชัดมากในช่วงภาระการทำงานต่ำถึงปานกลาง และลดลงเมื่อเครื่องทำงานใกล้ภาระเต็มกำลัง

เพื่อประเมินผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในแต่ละระดับภาระการทำงาน ได้คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิตในช่วงอุณหภูมิ 72–99°F ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่พบได้ในการใช้งานจริงของระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ตารางที่ 4-1 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ในแต่ละช่วงภาระการทำงาน

ตารางที่ 4-1 การวิเคราะห์ความความเร็วในการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ในช่วง 72–99°F ที่ภาระโหลดต่าง ๆ

ช่วงภาระการทำงาน (%)	อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT (% ต่อ 1°F ECWT)
1–20	5.15
21–40	4.31
41–60	3.21
61–80	2.50
81–100	2.25

ผลการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับหลักการทางอุณหพลศาสตร์และแนวทางการประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศที่รายงานในเอกสารอ้างอิงด้านวิศวกรรมปรับอากาศ โดย ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment อธิบายว่า อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่ออุณหภูมิและความดันการควบแน่นของสารทำความเย็น ซึ่งมีผลต่อภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์และประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น (ASHRAE, 2023) ในขณะที่ U.S. Department of Energy (2011) รายงานว่า การลดอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์อย่างเหมาะสมสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้ประมาณ 2–5% ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 1°F ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับภาระการทำงานและลักษณะการควบคุมของระบบ

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์จากข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิต พบว่าในช่วงภาระการทำงานร้อยละ 21–100 สมการถดถอยให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (Coefficient of Determination: R^2) เท่ากับ 0.9962 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างภาระการทำงานกับร้อยละการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT มีความสอดคล้องกับแบบจำลองในระดับสูง และสามารถอธิบายแนวโน้มของข้อมูล

ได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม ในช่วงภาระการทำงานร้อยละ 1–20 พบว่าค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.3446 ซึ่งสะท้อนว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลในช่วงโหลดต่ำยังไม่เป็นแนวโน้มที่ชัดเจน และอาจได้รับอิทธิพลจากลักษณะการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นในช่วงภาระการทำงานต่ำ

จากผลการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ในช่วง 72–99°F ส่งผลให้ค่า kW/RT เปลี่ยนแปลงประมาณ 2.25–5.15% ต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ 1°F โดยเครื่องทำน้ำเย็นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของ ECWT สูงที่สุดในช่วงภาระการทำงานต่ำ และความไวจะลดลงเมื่อภาระการทำงานเพิ่มสูงขึ้น ผลการศึกษานี้สนับสนุนว่าอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และแสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยลดการใช้พลังงานของระบบและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้อย่างมีประสิทธิผล

4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะจากการตรวจวัดจริงกับข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิต

การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นระหว่างข้อมูลการตรวจวัดภายใต้สภาวะการใช้งานจริง (Field Measurement Data) กับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต (Manufacturer Performance Data) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสอดคล้องและความแตกต่างของสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นเมื่อทำงานภายใต้สภาวะการใช้งานจริง เปรียบเทียบกับสมรรถนะที่รายงานภายใต้เงื่อนไขการทดสอบมาตรฐาน ทั้งนี้ การเปรียบเทียบดังกล่าวช่วยให้สามารถประเมินผลกระทบของสภาวะการทำงานนอกจุดออกแบบ (Off-design Conditions) ที่เกิดขึ้นจริงต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้อย่างชัดเจน

ข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานตาม AHRI Standard 550/590 ซึ่งกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นให้อยู่ในสภาวะควบคุม เช่น อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ อุณหภูมิน้ำทางเข้าอีวาพอเรเตอร์ อัตราการไหลของน้ำ และภาระการทำงานของเครื่อง เพื่อให้สามารถรายงานสมรรถนะของเครื่องในรูปแบบมาตรฐานและใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตแต่ละราย (AHRI, 2023)

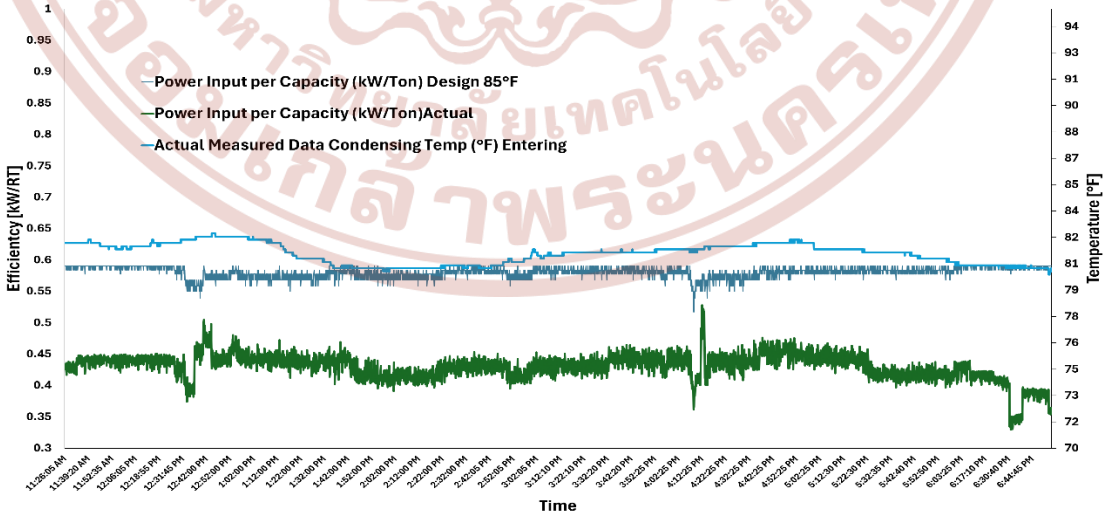
ในทางตรงกันข้าม ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จากโครงการตัวอย่างจำนวน 7 โครงการ ซึ่งมีขนาดเครื่องทำน้ำเย็นตั้งแต่ 300 ถึง 800 ตันความเย็น และมีลักษณะการใช้งานแตกต่างกัน ทั้งด้านประเภทอาคาร ระยะเวลาการเดินเครื่อง ภาระการทำความเย็น และสภาวะของระบบหล่อเย็น ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ประกอบด้วยอุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของอีวาพอเรเตอร์ อุณหภูมิน้ำทางเข้าและทางออกของคอนเดนเซอร์

อัตราการไหลของน้ำ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ภาระการทำงานของเครื่อง และค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ที่คำนวณจากข้อมูลการตรวจวัดจริง

เนื่องจากข้อมูลภาคสนามได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลายประการ เช่น การเปลี่ยนแปลงของภาระการทำความเย็น สภาพอากาศ ประสิทธิภาพของหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) กลยุทธ์การควบคุมระบบ และความผันผวนของการใช้งานอาคาร สมรรถนะที่ตรวจวัดได้จึงอาจแตกต่างจากข้อมูลอ้างอิงของผู้ผลิต ซึ่งได้จากการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุม ความแตกต่างดังกล่าวถือเป็นลักษณะปกติของการประเมินสมรรถนะภาคสนาม และสอดคล้องกับแนวทางของ International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) ที่ระบุว่าการประเมินสมรรถนะพลังงานจากการใช้งานจริงควรพิจารณาผลกระทบของตัวแปรการดำเนินงานและสภาพแวดล้อมร่วมกับผลการตรวจวัด ไม่ควรเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานโดยตรงโดยไม่คำนึงถึงสภาวะการใช้งาน (Efficiency Valuation Organization [EVO], 2022)

ในการศึกษานี้ การเปรียบเทียบสมรรถนะดำเนินการโดยใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) เป็นตัวชี้วัดหลัก เนื่องจากเป็นดัชนีที่สะท้อนประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้โดยตรง และเป็นรูปแบบการรายงานสมรรถนะที่สอดคล้องกับมาตรฐาน AHRI Standard 550/590 รวมทั้งข้อมูลสมรรถนะที่ผู้ผลิตใช้ในการจัดทำ Performance Curve ของเครื่องทำน้ำเย็น ผลการวิเคราะห์จะนำเสนอในรูปของตารางและกราฟ เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของค่า kW/RT ระหว่างข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตและข้อมูลการตรวจวัดภาคสนาม พร้อมทั้งอภิปรายความแตกต่างของสมรรถนะที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในเชิงวิศวกรรมพลังงาน

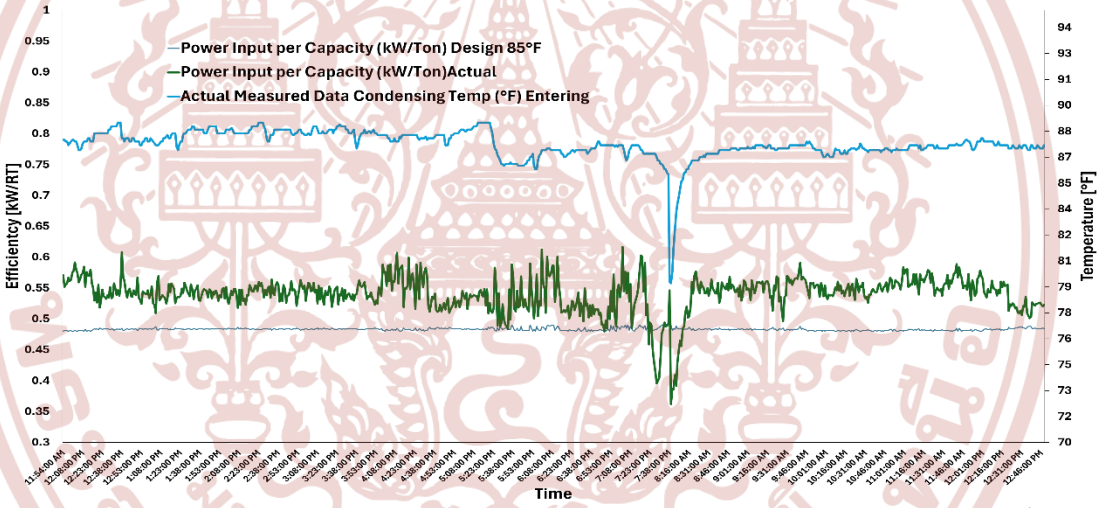
4.3.1 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 1



ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 1

จากภาพที่ 4-5 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากการตรวจวัดจริงมีแนวโน้มต่ำกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิตตลอดช่วงเวลาการเดินเครื่อง แม้ว่าจะมีความผันผวนในบางช่วงเวลาอันเนื่องมาจากสภาวะการทำงานจริงของระบบ ทั้งนี้ อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 80–82°F ซึ่งต่ำกว่าค่าอ้างอิงของผู้ผลิตที่ 85°F ส่งผลให้ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลดลง และทำให้ค่า kW/RT จากการตรวจวัดจริงมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานโดยรวม อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ในบางช่วงเวลาสะท้อนให้เห็นว่าการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ภาระการทำความเย็นและสภาวะการเดินระบบจริง จึงทำให้ข้อมูลภาคสนามมีความผันผวนมากกว่าข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิต

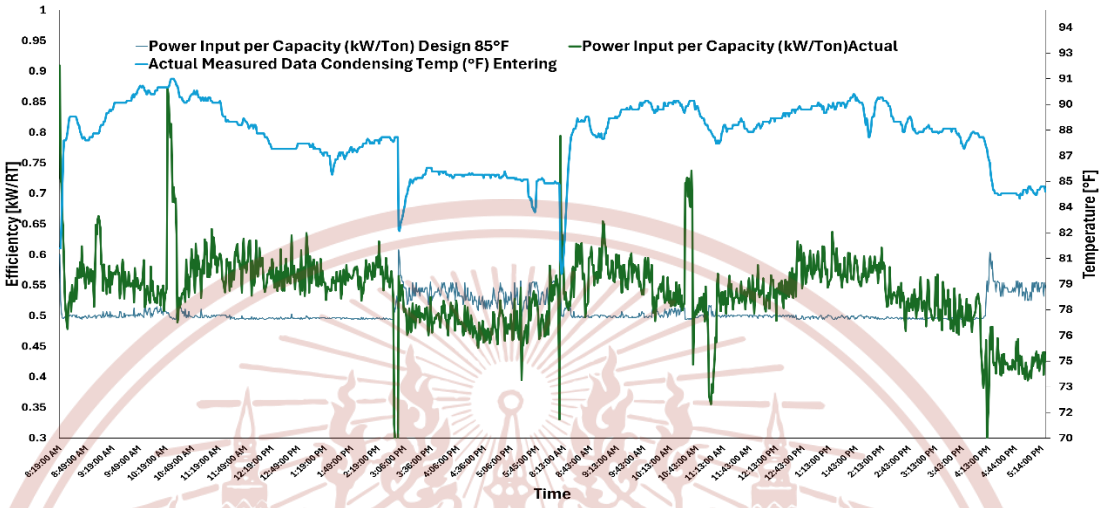
4.3.2 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 2



ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 2

ภาพที่ 4-6 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากการตรวจวัดจริงมีแนวโน้มสูงกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิตตลอดช่วงเวลาการเดินเครื่อง และมีความผันผวนตามสภาวะการทำงานของระบบ โดยอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงประมาณ 86–89°F ซึ่งสูงกว่าค่าอ้างอิงของผู้ผลิตที่ 85°F ส่งผลให้ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นและทำให้ค่า kW/RT สูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ ยังพบการลดลงของค่า ECWT และค่า kW/RT ในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์มีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น อย่างไรก็ตาม ความผันผวนของข้อมูลในบางช่วงเวลาแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ภาระการทำความเย็นและสภาวะการเดินระบบจริง

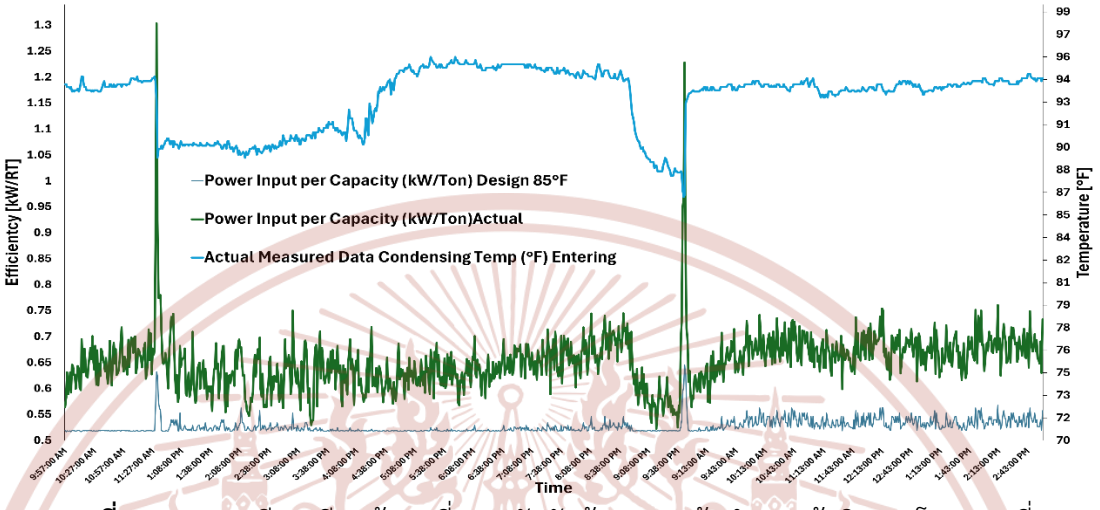
4.3.3 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 3



ภาพที่ 4-7 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 3

ภาพที่ 4-7 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากการตรวจวัดจริงมีความผันผวนตลอดช่วงเวลาการเดินเครื่อง และโดยภาพรวมมีแนวโน้มสูงกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิตในหลายช่วงเวลา ทั้งนี้ อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 85–91°F ส่งผลให้ค่า kW/RT เปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานของระบบ โดยในช่วงที่ ECWT เพิ่มสูงขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ขณะที่ช่วงที่ ECWT ลดลง ค่า kW/RT จะลดลงเช่นกัน อย่างไรก็ตาม กราฟยังแสดงให้เห็นความผันผวนของค่า kW/RT ในบางช่วงเวลา ซึ่งสะท้อนว่าการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นร่วมด้วย ทำให้สมรรถนะที่ตรวจวัดได้แตกต่างจากข้อมูลอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน.

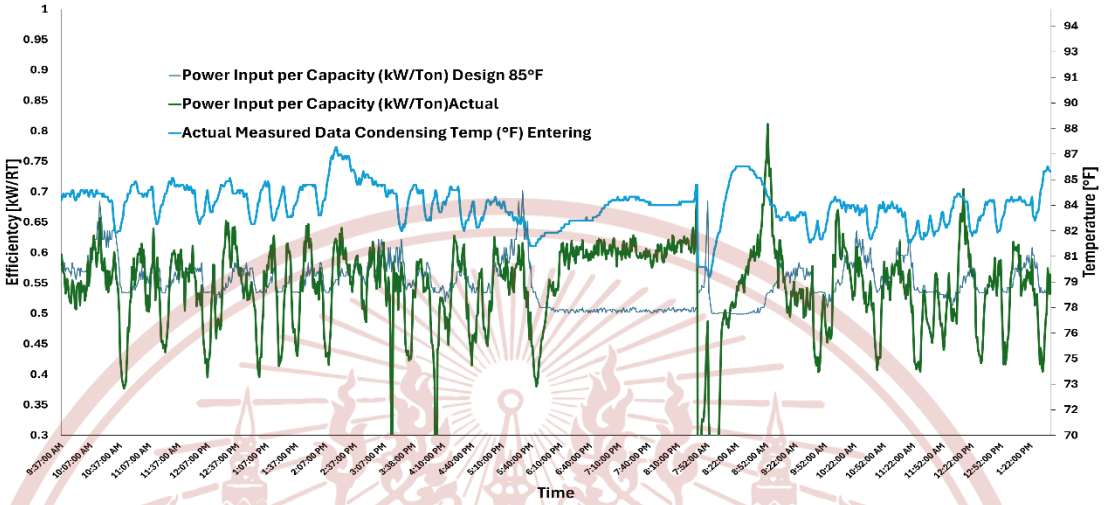
4.3.4 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 4



ภาพที่ 4-8 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 4

จากภาพที่ 4-8 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากการตรวจวัดจริงมีแนวโน้มสูงกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิตเกือบตลอดช่วงเวลาการเดินเครื่อง และมีความผันผวนในบางช่วงเวลา ทั้งนี้ อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 86–95°F ซึ่งสูงกว่าค่าอ้างอิงของผู้ผลิตที่ 85°F เป็นส่วนใหญ่ ส่งผลให้ภาระการทำงานของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นและทำให้ค่า kW/RT สูงขึ้นตาม โดยเฉพาะในช่วงที่ ECWT เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจะพบว่าค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ความผันผวนของข้อมูลในบางช่วงเวลาสะท้อนให้เห็นว่าการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านภาระการทำความเย็นและสภาวะการเดินระบบจริงร่วมด้วย ทำให้สมรรถนะที่ตรวจวัดได้แตกต่างจากข้อมูลอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน.

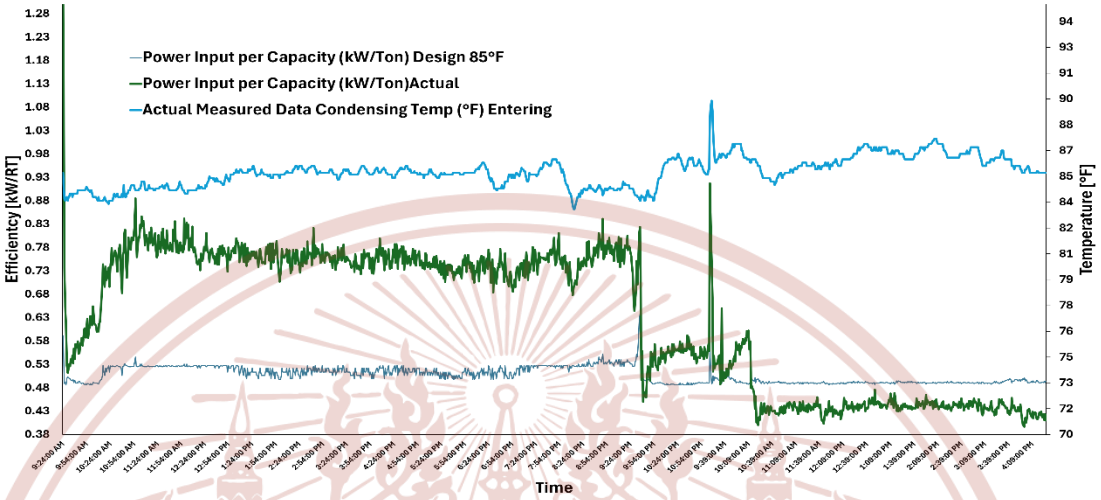
4.3.5 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 5



ภาพที่ 4-9 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 5

จากภาพที่ 4-9 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากการตรวจวัดจริงมีความผันผวนตลอดช่วงเวลาการเดินเครื่อง โดยมีทั้งช่วงที่สูงกว่าและต่ำกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิต อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมพบว่าค่าเฉลี่ยของ kW/RT มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิต สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4-5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมีเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 80–86°F ส่งผลให้ค่า kW/RT เปลี่ยนแปลงตามสภาวะการทำงานของระบบ แม้ว่าจะพบความผันผวนของข้อมูลในบางช่วงเวลา แต่โดยรวมเครื่องทำน้ำเย็นยังคงมีสมรรถนะใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของผู้ผลิตภายใต้สภาวะการใช้งานจริง.

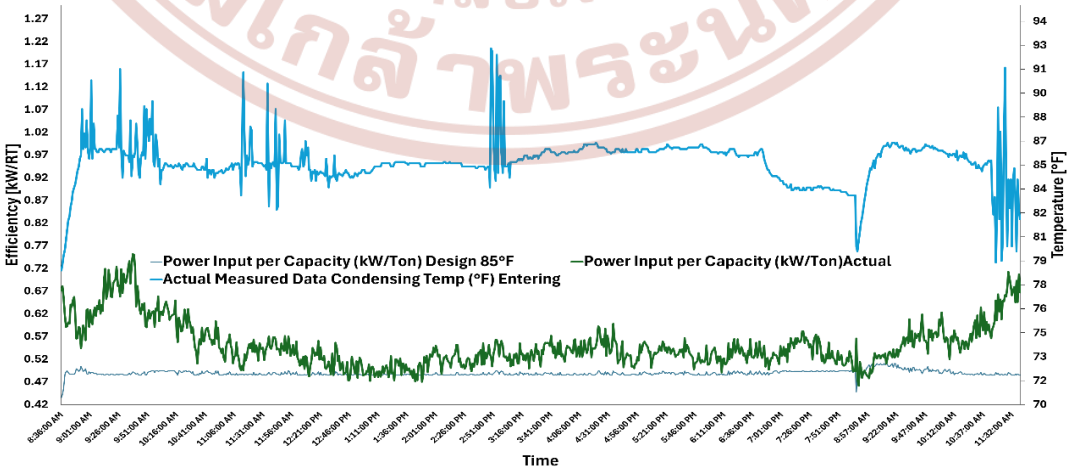
4.3.6 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 6



ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 6

จากภาพที่ 4-10 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากการตรวจวัดจริงมีแนวโน้มสูงกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิตในช่วงแรกของการเดินเครื่อง และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงกลางของการเก็บข้อมูล ทั้งนี้ อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 84–88°F และมีการเพิ่มขึ้นในบางช่วง ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT โดยเฉพาะช่วงที่ ECWT เพิ่มขึ้นจะพบว่าค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในบางช่วงเวลา แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นยังได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของภาระการทำความเย็นและสภาวะการเดินระบบจริงร่วมด้วย

4.3.7 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 7



ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบข้อมูลที่ตรวจวัดกับข้อมูลตามข้อกำหนดผู้ผลิตของโครงการที่ 7

จากภาพที่ 4-11 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) จากการตรวจวัดจริงมีแนวโน้มต่ำกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิตเกือบตลอดช่วงเวลาการเดินเครื่อง แม้ว่าจะมีความผันผวนในบางช่วงเวลา ทั้งนี้ อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงประมาณ 84–87°F และมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่ ส่งผลให้ค่า kW/RT เปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อเทียบกับโครงการอื่น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ที่เกิดขึ้นในบางช่วงเวลาสะท้อนให้เห็นถึงผลของภาระการทำความเย็นและสภาวะการเดินระบบจริง ซึ่งส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นแตกต่างจากข้อมูลอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน.

4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 7 โครงการ

จากการเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดจริงกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 7 โครงการ พบว่า สมรรถนะการใช้พลังงานของแต่ละโครงการมีความแตกต่างกันตามสภาวะการใช้งานจริง โดยเฉพาะอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) และภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT)

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า โครงการที่ 1 มีค่าเฉลี่ย kW/RT ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิตประมาณ 34.90% ซึ่งสอดคล้องกับการที่ ECWT เฉลี่ยอยู่ต่ำกว่าค่าอ้างอิง 85°F ขณะที่โครงการที่ 5 มีสมรรถนะใกล้เคียงกับข้อมูลผู้ผลิตมากที่สุด โดยมีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเพียง 1.95% ในทางกลับกัน โครงการที่ 2, 3, 4, 6 และ 7 มีค่าเฉลี่ย kW/RT สูงกว่าค่ามาตรฐานของผู้ผลิต โดยมีความแตกต่างอยู่ระหว่างประมาณ 5.50–19.84% ซึ่งสัมพันธ์กับการทำงานภายใต้สภาวะที่ ECWT สูงกว่าเงื่อนไขมาตรฐาน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของภาระการทำความเย็นและสภาพการเดินระบบจริง

เมื่อพิจารณาภาพรวมของทั้ง 7 โครงการ พบว่าข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามมีความผันผวนมากกว่าข้อมูลสมรรถนะจากผู้ผลิต เนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นทำงานภายใต้สภาวะการใช้งานจริง (Off-design Conditions) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของภาระการทำความเย็น อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น และสภาวะการควบคุมระบบตลอดเวลา ส่งผลให้ค่า kW/RT เปลี่ยนแปลงตามสภาพการทำงานของแต่ละช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม แนวโน้มของผลการศึกษาทุกโครงการสอดคล้องกันว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มสูงขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งสะท้อนถึงการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ที่สูงขึ้นและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ลดลง

โดยสรุป ผลการศึกษายืนยันว่าอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ การควบคุม ECWT ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อนและการบริหารภาระการ

ทำงานของเครื่อง สามารถช่วยลดค่า kW/RT และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ Chiller Plant ได้ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

ตารางที่ 4-2 สรุปผลการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างข้อมูลผู้ผลิตและข้อมูลภาคสนาม

Project	ECWT Avg (°F)	Load Avg (%)	Design kW/RT	Actual kW/RT	Difference (%)	ผลการประเมิน
1	81.1	31	0.580	0.430	+34.90	ดีกว่ามาตรฐาน
2	87.2	72	0.483	0.541	−10.58	ต่ำกว่ามาตรฐาน
3	87.6	60	0.508	0.538	−5.50	ต่ำกว่ามาตรฐาน
4	92.8	61	0.527	0.652	−19.12	ต่ำกว่ามาตรฐาน
5	83.5	47	0.550	0.540	+1.95	ใกล้เคียงมาตรฐาน
6	85.2	62	0.507	0.633	−19.84	ต่ำกว่ามาตรฐาน
7	85.2	68	0.489	0.551	−11.26	ต่ำกว่ามาตรฐาน

4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และค่า kW/RT จากข้อมูลภาคสนาม

เพื่อประเมินผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ECWT และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage (Back-to-Back) Centrifugal Chiller จากทั้ง 7 โครงการที่ศึกษา

ก่อนการวิเคราะห์ ข้อมูลทั้งหมดได้รับการตรวจสอบความสมบูรณ์และคัดกรองคุณภาพข้อมูล (Data Screening) เพื่อให้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์สามารถสะท้อนสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการทำงานปกติได้อย่างเหมาะสม โดยกำหนดให้พิจารณาเฉพาะข้อมูลที่มีภาระการทำงานของเครื่องมากกว่า 30% ของกำลังการผลิตความเย็น และมีผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า–ออกของอีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และคอนเดนเซอร์ (Condenser) ไม่เกิน 10°F ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นจากการพิจารณาลักษณะการเดินเครื่องและการกระจายตัวของข้อมูลภาคสนาม เพื่อคัดกรองข้อมูลที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นหรือสิ้นสุดการเดินเครื่อง รวมถึงช่วงที่ระบบยังไม่เข้าสู่สภาวะการทำงานคงตัว (Steady-state Operation) อันอาจส่งผลให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อน

ทั้งนี้ แนวทางการคัดกรองข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการประเมินสมรรถนะของ AHRI Standard 550/590 และ International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) ที่แนะนำให้ใช้ข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและเป็นตัวแทนของสภาวะการทำงานจริงในการประเมินสมรรถนะด้านพลังงาน

การวิเคราะห์ดำเนินการโดยใช้กราฟแสดงการกระจายของข้อมูล (Scatter Plot) ร่วมกับการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R^2) เพื่อประเมินแนวโน้มและระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยกำหนดให้อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เป็นตัวแปรอิสระ และค่า kW/RT เป็นตัวแปรตาม ผลการวิเคราะห์สามารถอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะการใช้พลังงานภายใต้สภาวะการเดินเครื่องจริง รวมทั้งใช้ประเมินอิทธิพลของ ECWT ต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น และสนับสนุนการกำหนดแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของระบบ Chiller Plant ในทางปฏิบัติ

4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 1



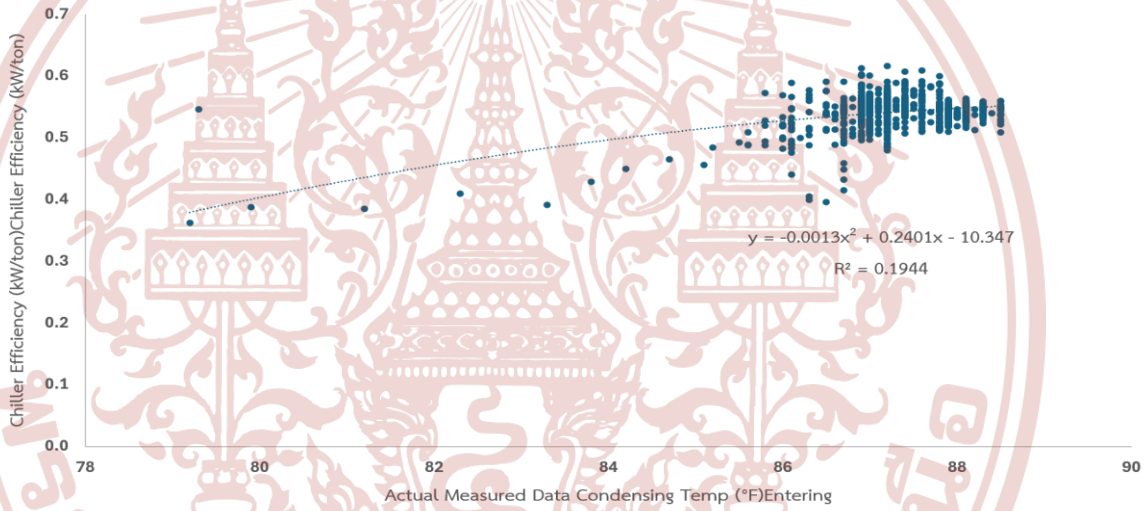
ภาพที่ 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 1 (400 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

จากภาพที่ 4-12 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เพิ่มขึ้น แม้ว่าข้อมูลจะมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากปัจจัยการทำงานอื่นร่วมด้วย เช่น ภาระการทำความเย็น

และสภาวะการควบคุมของระบบ อย่างไรก็ตาม เส้นแนวโน้มยังคงแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง ECWT และค่า kW/RT อย่างชัดเจน

การวิเคราะห์สมการถดถอยให้ค่า R^2 = 0.3085 แสดงให้เห็นว่า ECWT สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้ประมาณร้อยละ 30.85 ขณะที่ความแปรปรวนที่เหลือเกิดจากปัจจัยอื่นที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง ดังนั้น แม้ความสัมพันธ์จะไม่อยู่ในระดับสูง แต่แนวโน้มที่ค่า kW/RT เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ ECWT ยังคงสอดคล้องกับหลักการทำงานของระบบเครื่องทำน้ำเย็นและผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้.

4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 2

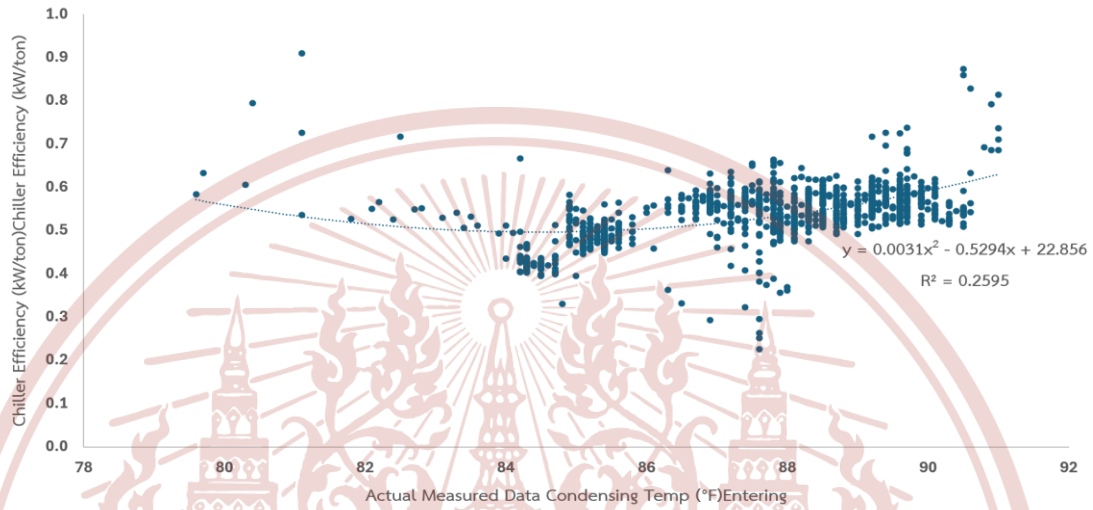


ภาพที่ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 2 (400 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

จากภาพที่ 4-13 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่วง ECWT ประมาณ 86–88°F ซึ่งสะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยการทำงานอื่นร่วมด้วย เช่น ภาระการทำความเย็นและการควบคุมการทำงานของเครื่อง

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยให้ค่า R^2 = 0.1944 แสดงว่า ECWT สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้ประมาณร้อยละ 19.44 จึงบ่งชี้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองอยู่ในระดับต่ำ แต่ยังคงมีแนวโน้มเชิงบวก กล่าวคือ เมื่อ ECWT เพิ่มขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของโครงการนี้

4.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 3

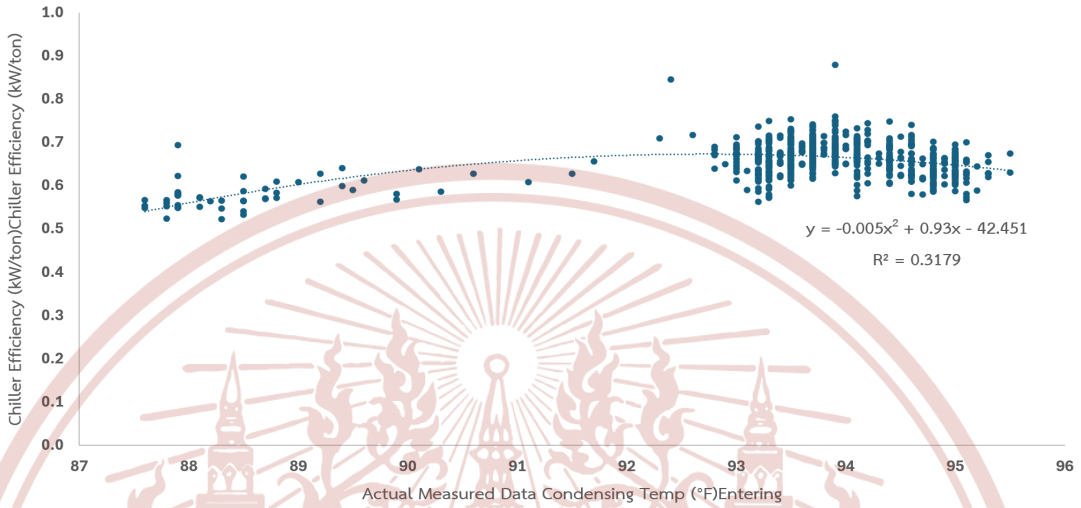


ภาพที่ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 3 (370 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

จากภาพที่ 4-14 พบว่า อัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เพิ่มขึ้น แม้ว่าข้อมูลจะมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่วง ECWT ประมาณ 86–90°F ซึ่งสะท้อนถึงอิทธิพลของปัจจัยการทำงานอื่นที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยให้ค่า $R^2 = 0.2595$ แสดงว่า ECWT สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้ประมาณร้อยละ 25.95 จึงแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง อย่างไรก็ตาม แนวโน้มโดยรวมยังคงเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก กล่าวคือ เมื่อ ECWT เพิ่มขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของโครงการนี้

4.5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 4

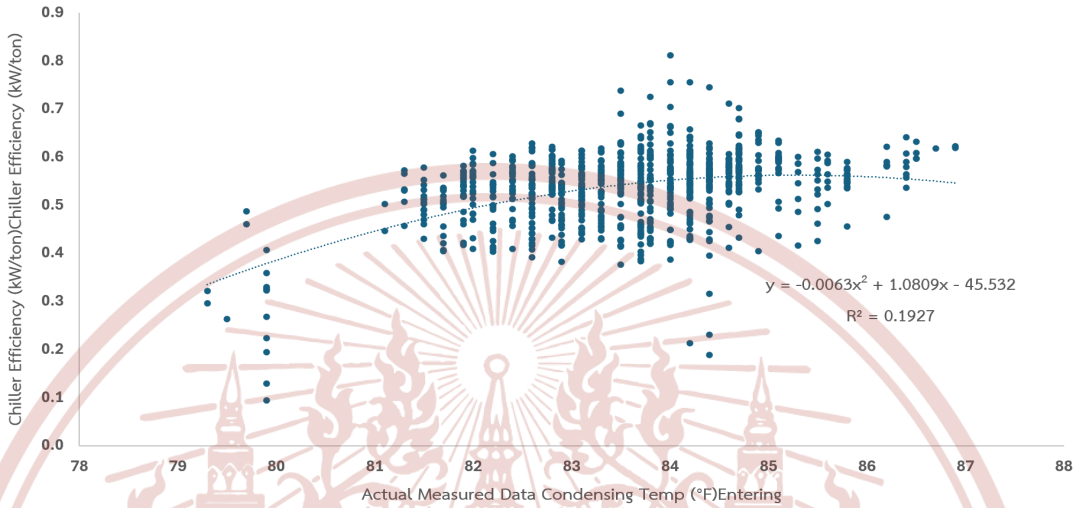


ภาพที่ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 4 (300 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

จากภาพที่ 4-15 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เพิ่มขึ้น โดยข้อมูลส่วนใหญ่กระจุกตัวในช่วง ECWT ประมาณ 93–95°F และมีการกระจายตัวของค่า kW/RT อยู่ในช่วงประมาณ 0.58–0.75 kW/RT พร้อมทั้งพบข้อมูลบางจุดที่มีค่า kW/RT สูงกว่ากลุ่มข้อมูลหลัก ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของภาระการทำงานหรือสภาวะการควบคุมของระบบในขณะตรวจวัด

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยให้ค่า $R^2 = 0.3179$ แสดงว่า ECWT สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้ประมาณร้อยละ 31.79 ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับโครงการที่ 1–4 แม้ว่าความสัมพันธ์จะยังอยู่ในระดับปานกลาง แต่แนวโน้มโดยรวมยังแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง ECWT และค่า kW/RT ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของโครงการนี้

4.5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 5

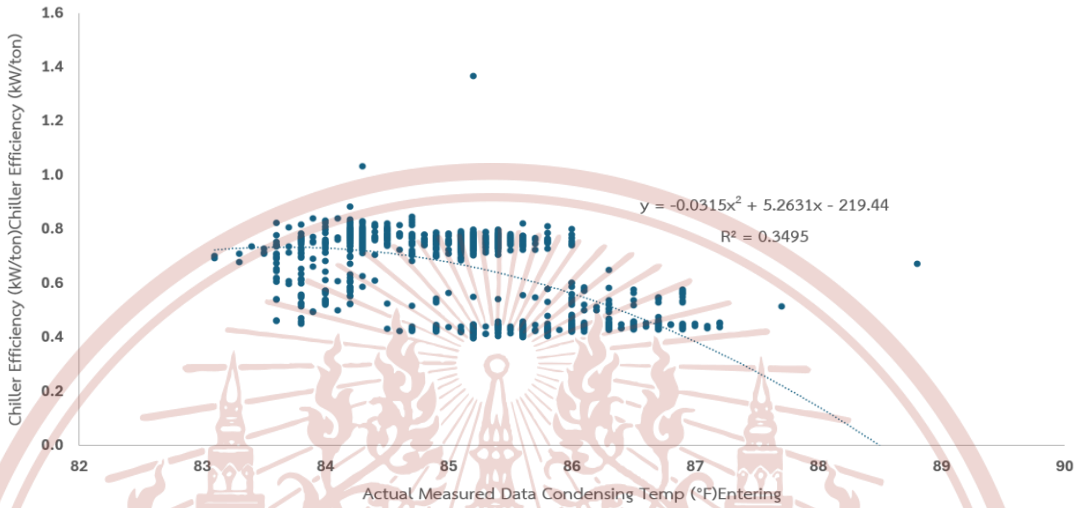


ภาพที่ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 5 (450 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

จากภาพที่ 4-16 พบว่า ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่วง ECWT ประมาณ 82–85°F ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของปัจจัยการทำงานอื่นที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นร่วมกับ ECWT

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยให้ค่า $R^2 = 0.1927$ แสดงว่า ECWT สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้ประมาณร้อยละ 19.27 จึงบ่งชี้ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง ECWT และค่า kW/RT อยู่ในระดับต่ำ อย่างไรก็ตาม เส้นแนวโน้มยังคงแสดงความสัมพันธ์เชิงบวก กล่าวคือ เมื่อ ECWT เพิ่มขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของโครงการนี้

4.5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 6

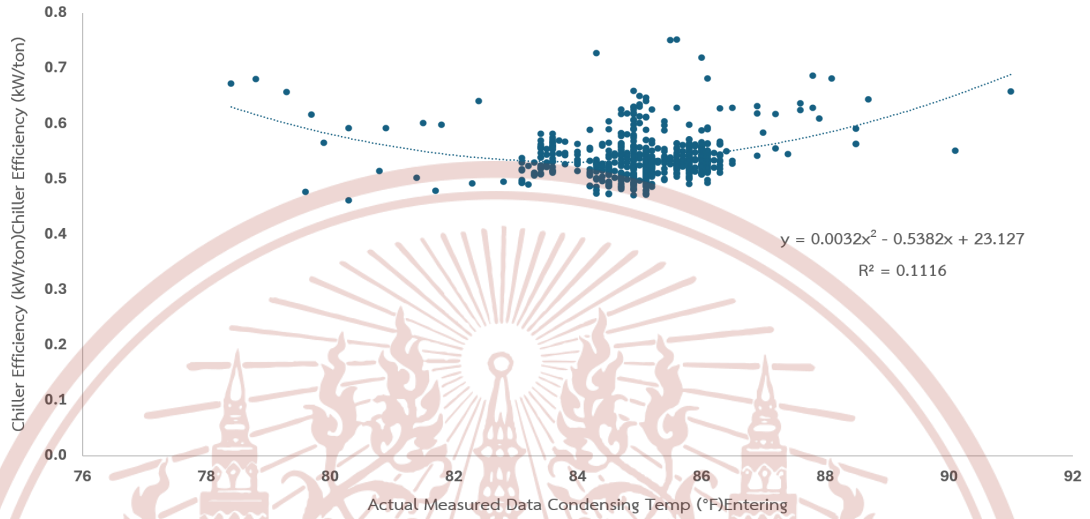


ภาพที่ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 6 (500 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

จากภาพที่ 4-17 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวค่อนข้างมาก โดยเฉพาะในช่วง ECWT ประมาณ 83–86°F และพบค่าผิดปกติ (Outliers) บางจุดที่มีค่า kW/RT สูงกว่ากลุ่มข้อมูลหลัก อย่างไรก็ตาม แนวโน้มโดยรวมแสดงให้เห็นว่าค่า kW/RT มีการเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยให้ค่า $R^2 = 0.3495$ แสดงว่า ECWT สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้ประมาณร้อยละ 34.95 ซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดในบรรดาโครงการที่ศึกษา แม้ว่าความสัมพันธ์จะยังอยู่ในระดับปานกลาง ทั้งนี้ การกระจายตัวของข้อมูลสะท้อนให้เห็นว่าสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นได้รับอิทธิพลจากปัจจัยการทำงานอื่นร่วมกับ ECWT เช่น ภาระการทำความเย็นและการควบคุมการทำงานของระบบ

4.5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 7



ภาพที่ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ของโครงการที่ 7 (800 RT) ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

จากภาพที่ 4-18 พบว่า ข้อมูลส่วนใหญ่กระจุกตัวอยู่ในช่วง ECWT ประมาณ 84–86°F โดยค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) มีการกระจายตัวในช่วงประมาณ 0.48–0.58 kW/RT และพบข้อมูลบางส่วนที่มีค่าแตกต่างจากกลุ่มข้อมูลหลัก อย่างไรก็ตาม เส้นแนวโน้มยังแสดงให้เห็นว่าค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) สูงขึ้น

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยให้ค่า $R^2 = 0.1116$ แสดงว่า ECWT สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้เพียงประมาณร้อยละ 11.16 ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุดในบรรดาโครงการที่ศึกษา สะท้อนให้เห็นว่าสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในโครงการนี้ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยอื่นร่วมด้วยมากกว่าอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เพียงอย่างเดียว แม้กระนั้น แนวโน้มโดยรวมยังคงแสดงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง ECWT และค่า kW/RT ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของระบบ

ตารางที่ 4-3 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ECWT และค่า kW/RT ของเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 7 โครงการ

Project	Cooling Capacity (RT)	แนวโน้ม (Slope)	R^2	ระดับความสัมพันธ์
1	400	บวก	0.3085	ต่ำ–ปานกลาง
2	400	บวก	0.1944	ต่ำ
3	370	บวก	0.2595	ต่ำ
4	300	บวก	0.3179	ต่ำ–ปานกลาง
5	450	บวก	0.1927	ต่ำ
6	500	ลบ	0.3495	ต่ำ–ปานกลาง
7	800	บวก	0.1116	ต่ำ

4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และค่า kW/RT

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) และค่า kW/RT ของทั้ง 7 โครงการ พบว่าค่า R^2 อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง แสดงให้เห็นว่า ECWT เพียงตัวแปรเดียวสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวไม่ได้หมายความว่า ECWT ไม่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น แต่สะท้อนให้เห็นว่าข้อมูลภาคสนามได้รับอิทธิพลจากตัวแปรการทำงานหลายปัจจัยร่วมกัน ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลผู้ผลิตที่ได้จากการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุม

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ค่า R^2 จากข้อมูลภาคสนามมีค่าต่ำ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของภาระการทำความเย็นของอาคาร อัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น สภาพอากาศภายนอกและอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ Cooling Tower ลำดับการควบคุมของระบบ Chiller Plant การเปิด–ปิดหรือปรับโหลดของเครื่อง และความคลาดเคลื่อนจากการตรวจวัดภาคสนาม ปัจจัยเหล่านี้ทำให้ค่า kW/RT เปลี่ยนแปลงได้ แม้ในช่วงที่ค่า ECWT ใกล้เคียงกัน

งานวิจัยของ Hydeman et al. (2002) ระบุว่าการจำลองสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นด้วยแบบจำลองเชิงประจักษ์จำเป็นต้องพิจารณาตัวแปรหลายตัวร่วมกัน เช่น ภาระการทำงาน อุณหภูมิน้ำเย็น และอุณหภูมิน้ำคอนเดนเซอร์ เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นและขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานหลายด้านพร้อมกัน ขณะที่ Pan et al. (2015) ได้พัฒนาแบบจำลองเชิงถดถอยสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นแบบแรงเหวี่ยงจากข้อมูลการใช้งานจริง และระบุว่าข้อมูลจากระบบตรวจวัดหน้างานมักมีความผิดปกติและต้องผ่านกระบวนการคัดกรองก่อนนำไปสร้างแบบจำลอง

นอกจากนี้ แนวทางของ IPMVP และเอกสารด้าน Measurement and Verification ระบุว่า การวิเคราะห์พลังงานจากข้อมูลภาคสนามควรพิจารณาตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศ ตารางการใช้งาน และสภาวะการดำเนินงานของระบบ เนื่องจากการใช้ข้อมูลในช่วงเวลาสั้นหรือข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมทุกโหมดการทำงานของระบบจะเพิ่มความไม่แน่นอนของแบบจำลอง อีกทั้งแนวทาง M&V ยังแนะนำว่าแบบจำลองควรพัฒนาจากข้อมูลที่ครอบคลุมช่วงการทำงานจริงของตัวแปรอิสระ เพื่อให้ผลการประเมินมีความน่าเชื่อถือ

ดังนั้น ค่า R^2 ที่ต่ำในการศึกษานี้จึงสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลจากการใช้ข้อมูลภาคสนามจริง ซึ่งมีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตามสภาวะการเดินระบบ มากกว่าการทดสอบภายใต้ห้องปฏิบัติการที่ควบคุมตัวแปรอื่นให้คงที่ ผลการศึกษานี้จึงควรตีความในเชิงแนวโน้มทางวิศวกรรมว่า ECWT เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่า kW/RT แต่ไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่ควบคุมสมรรถนะพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

4.7 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีของเครื่องทำน้ำเย็น

นอกจากการประเมินสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในรูปของอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) แล้ว งานวิจัยนี้ยังได้วิเคราะห์ผลกระทบเชิงเศรษฐศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น โดยเปรียบเทียบข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงจากผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่ ECWT เท่ากับ 85°F กับข้อมูลการตรวจวัดจริงจากทั้ง 7 โครงการ

การประมาณต้นทุนพลังงานไฟฟ้าดำเนินการโดยใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ร่วมกับขนาดเครื่องทำน้ำเย็น (Cooling Capacity) ภาระการทำงานเฉลี่ยของแต่ละโครงการ และอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.20 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ภายใต้สมมติฐานให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานวันละ 12 ชั่วโมง ตลอด 365 วัน ทั้งนี้ ผลการคำนวณมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นแนวโน้มของผลกระทบด้านต้นทุนพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงของ ECWT มิใช่เพื่อแสดงต้นทุนการดำเนินงานจริงของแต่ละโครงการ

ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบสมรรถนะและต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้ข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตและข้อมูลตรวจวัดจริง

โครงการ	ขนาดเครื่อง (RT)	ต้นทุนอ้างอิง (บาท/ปี)	ต้นทุนจริง (บาท/ปี)	ผลต่าง (บาท/ปี)	ผลต่าง (%)
1	400	1,341,954	994,774	−347,180	−25.87
2	400	2,547,831	2,849,229	+301,398	+11.83
3	370	2,062,699	2,182,789	+120,090	+5.82
4	300	1,765,332	2,182,696	+417,364	+23.64
5	450	2,145,366	2,104,287	−41,079	−1.91
6	500	2,892,032	3,607,894	+715,862	+24.75
7	800	4,919,015	5,543,191	+624,176	+12.69

หมายเหตุ

- ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการคำนวณจากอัตราค่าไฟฟ้า **4.20 บาท/kWh**
- สมมติให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงาน **12 ชั่วโมงต่อวัน ตลอด 365 วัน**
- เครื่องหมาย **(+)** หมายถึง ต้นทุนพลังงานจากข้อมูลตรวจวัดจริงสูงกว่าข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิต
- เครื่องหมาย **(−)** หมายถึง ต้นทุนพลังงานจากข้อมูลตรวจวัดจริงต่ำกว่าข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิต

จากตารางที่ 4-4 พบว่า โครงการที่มีอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่ำกว่าค่าอ้างอิงของผู้ผลิตที่ 85°F มีแนวโน้มใช้อัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ส่งผลให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการลดลง ตัวอย่างเช่น โครงการที่ 1 มีค่า ECWT เฉลี่ย 81.1°F ซึ่งต่ำกว่าค่าอ้างอิง 3.9°F ทำให้ค่า kW/RT ลดลงจาก 0.580 เป็น 0.430 และทำให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการลดลงจาก 1,341,954.51 บาท เหลือ 994,774.19 บาท หรือลดลงประมาณร้อยละ 25.9 ภายใต้สมมติฐานการคำนวณที่กำหนด

ในทางตรงกันข้าม โครงการที่มีค่า ECWT สูงกว่าค่าอ้างอิงมีแนวโน้มใช้อัตราการใช้พลังงานสูงขึ้น โดยเฉพาะโครงการที่ 4 ซึ่งมีค่า ECWT เฉลี่ย 92.8°F ส่งผลให้ค่า kW/RT เพิ่มขึ้นจาก 0.527 เป็น 0.652 และทำให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการเพิ่มขึ้นจาก 1,765,331.72 บาท เป็น 2,182,696.09 บาท หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 23.6 ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์สูงขึ้น ความดันการควบแน่นของสารทำความเย็นจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังงานมากขึ้น และทำให้อัตราการใช้พลังงานต่อหน่วยความเย็นเพิ่มขึ้น

ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของวัฏจักรอัดไอและผลการศึกษาที่รายงานไว้ใน ASHRAE Handbook และ U.S. Department of Energy (ASHRAE, 2023; U.S. DOE, 2011)

เมื่อพิจารณาภาพรวมของทั้ง 7 โครงการ พบว่า 5 โครงการมีต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการสูงกว่าค่าที่คำนวณจากข้อมูลอ้างอิงของผู้ผลิต ขณะที่โครงการที่ 1 และโครงการที่ 5 มีต้นทุนพลังงานต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน เนื่องจากสามารถรักษาอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ให้อยู่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับสภาวะอ้างอิงได้ ส่งผลให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานด้วยประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

นอกจากนี้ ยังพบว่าผลกระทบด้านต้นทุนพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของเครื่องทำน้ำเย็น ตัวอย่างเช่น โครงการที่ 7 ซึ่งเป็นเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 800 ตันความเย็น แม้ว่าค่า kW/RT จะเพิ่มขึ้นเพียง 0.062 kW/RT แต่ทำให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 624,176 บาทต่อปี ภายใต้สมมติฐานที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะด้านพลังงานในเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่าเครื่องที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากแม้การเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT จะมีเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อคูณกับกำลังการผลิตความเย็นและระยะเวลาการเดินเครื่อง จะส่งผลให้ต้นทุนพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

โดยสรุป ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การควบคุมอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ให้อยู่ในระดับต่ำหรือใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงของผู้ผลิต มีส่วนช่วยลดอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น และลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเฉพาะในเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ที่มีภาระการทำงานสูง ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบคูลลิงทาวเวอร์ การควบคุมการไหลของน้ำหล่อเย็น และการบริหารจัดการระบบคอนเดนเซอร์อย่างเหมาะสม จึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบ Chiller Plant ในระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการพลังงานของ ASHRAE และ U.S. Department of Energy (ASHRAE, 2023; U.S. DOE, 2011)

4.8 อภิปรายผลการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยเมื่อค่า ECWT เพิ่มขึ้น ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อความสามารถในการทำความเย็น (kW/RT) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกโครงการที่ศึกษา แม้ว่าระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรจะแตกต่างกันในแต่ละโครงการก็ตาม ผลดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการของวัฏจักรอัดไอ (Vapor Compression Cycle) ซึ่งอธิบายว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์สูงขึ้น จะส่งผลให้ความดันการควบแน่นของสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น คอมเพรสเซอร์จึงต้องใช้กำลังงานในการอัดสาร

ทำความเย็นมากขึ้น ส่งผลให้ค่า kW/RT สูงขึ้นและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องลดลง (Çengel & Boles, 2019; AHRI, 2023)

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามกับข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานที่ ECWT เท่ากับ 85°F พบว่า โครงการที่สามารถควบคุมค่า ECWT ให้อยู่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง เช่น โครงการที่ 1 และโครงการที่ 5 มีแนวโน้มให้ค่า kW/RT ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงค่ามาตรฐานของผู้ผลิต ขณะที่โครงการที่มีค่า ECWT สูงกว่าค่าอ้างอิง ได้แก่ โครงการที่ 2 โครงการที่ 3 โครงการที่ 4 โครงการที่ 6 และโครงการที่ 7 มีค่า kW/RT สูงกว่าค่ามาตรฐานในระดับที่แตกต่างกัน สะท้อนให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์มีผลโดยตรงต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

ผลการศึกษาพบว่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลภาคสนามกับข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตไม่สามารถอธิบายได้ด้วยค่า ECWT เพียงปัจจัยเดียว เนื่องจากข้อมูลสมรรถนะของผู้ผลิตได้มาจากการทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐานที่มีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ให้คงที่ตามมาตรฐาน AHRI Standard 550/590 ขณะที่ข้อมูลภาคสนามเป็นข้อมูลที่ได้จากการเดินเครื่องจริง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น ภาระการทำงานของเครื่อง (Part Load Ratio) การควบคุมระบบหล่อเย็น ประสิทธิภาพของ Cooling Tower การสะสมคราบในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Fouling) อัตราการไหลของน้ำ รวมถึงสภาพแวดล้อมในการเดินเครื่อง ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลให้สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นแตกต่างจากค่าที่ผู้ผลิตรายงานไว้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Hydeman, Gillespie และ Kavanagh (2002) ที่ระบุว่าการประเมินสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นจากข้อมูลภาคสนามควรพิจารณาปัจจัยด้านการปฏิบัติการของระบบร่วมกับข้อมูลสมรรถนะจากโรงงาน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ECWT และค่า kW/RT จากข้อมูลภาคสนามยังพบว่าค่า R^2 ของแต่ละโครงการมีความแตกต่างกัน และบางโครงการมีค่า R^2 อยู่ในระดับต่ำ แม้ว่าทิศทางของความสัมพันธ์จะเป็นไปในลักษณะเดียวกันก็ตาม ค่า R^2 ที่ไม่สูงไม่ได้หมายความว่า ECWT ไม่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น แต่สะท้อนว่าการใช้พลังงานของระบบในสภาวะการใช้งานจริงได้รับผลกระทบจากหลายปัจจัยพร้อมกัน ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปของข้อมูลภาคสนามที่มีความแปรปรวนสูงกว่าการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ หลายงานวิจัยด้านการประเมินสมรรถนะเครื่องทำน้ำเย็นจากข้อมูลใช้งานจริงได้รายงานลักษณะดังกล่าวเช่นเดียวกัน โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของภาระความเย็น สภาพอากาศ การควบคุมระบบ และประสิทธิภาพของอุปกรณ์ประกอบ เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความสัมพันธ์เชิงสถิติของข้อมูลภาคสนามลดลง (Hydeman et al., 2002; ASHRAE, 2023)

นอกจากนี้ ผลการประเมินผลกระทบด้านต้นทุนพลังงานไฟฟ้ายังแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT แม้เพียงเล็กน้อย สามารถส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในเครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดความสามารถในการทำความเย็นสูง ตัวอย่างเช่น โครงการที่ 7 ซึ่งเป็นเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 800 RT แม้ว่าค่า kW/RT จะเพิ่มขึ้นเพียง 0.062 kW/RT แต่ทำให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าประมาณการเพิ่มขึ้นมากกว่า 620,000 บาทต่อปี ภายใต้สมมติฐานที่กำหนด ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การควบคุมอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อนสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานของระบบ Chiller Plant ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการจัดการพลังงานของ U.S. Department of Energy (2011) และ ASHRAE (2023)

ผลการศึกษานี้ยืนยันว่า อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ อย่างไรก็ตาม การประเมินสมรรถนะจากข้อมูลภาคสนามควรพิจารณาปัจจัยด้านการปฏิบัติการของระบบร่วมด้วย เนื่องจากสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นในการใช้งานจริงเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของหลายปัจจัย ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่า ECWT เพียงตัวแปรเดียว ดังนั้น การบริหารจัดการระบบคูลลิงทาวเวอร์ การควบคุมการไหลของน้ำหล่อเย็น การบำรุงรักษาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และการควบคุมภาระการทำงานของเครื่อง จึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบ Chiller Plant ในระยะยาว

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการศึกษา ข้อจำกัดของการวิจัย และข้อเสนอแนะจากการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-Cooled Chiller) โดยใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยความเย็น (kW/RT) เป็นตัวชี้วัดหลัก ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงของโครงการตัวอย่างจำนวน 7 โครงการ และเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานตาม AHRI Standard 550/590 (AHRI, 2023)

การศึกษาครอบคลุมการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ECWT และค่า kW/RT การเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างข้อมูลภาคสนามกับข้อมูลผู้ผลิต การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสถิติ ตลอดจนการประเมินผลกระทบด้านต้นทุนพลังงานไฟฟ้า เพื่อสะท้อนพฤติกรรมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง ซึ่งส่วนใหญ่ทำงานในช่วงภาระโหลดบางส่วน (Part-load Operation)

5.1 การสรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยใช้ค่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยความเย็น (kW/RT) เป็นตัวชี้วัดหลัก และเปรียบเทียบกับข้อมูลสมรรถนะอ้างอิงของผู้ผลิตภายใต้สภาวะมาตรฐานที่ ECWT เท่ากับ 85°F ตาม AHRI Standard 550/590

ผลการศึกษาพบว่า ECWT เป็นตัวแปรสำคัญที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยเมื่ออุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น ค่า kW/RT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องลดลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของวัฏจักรอัดไอ (Vapor Compression Cycle) ที่อธิบายว่าอุณหภูมิการควบแน่นที่สูงขึ้นทำให้คอมเพรสเซอร์ต้องใช้กำลังงานเพิ่มขึ้น (Çengel & Boles, 2019)

การเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามกับข้อมูลผู้ผลิตพบว่า โครงการที่สามารถควบคุมค่า ECWT ให้อยู่ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงกับค่าอ้างอิง 85°F มีแนวโน้มให้ค่า kW/RT ต่ำกว่าหรือใกล้เคียงค่า

มาตรฐานของผู้ผลิต ขณะที่โครงการที่มีค่า ECWT สูงกว่าค่าอ้างอิงมีค่า kW/RT สูงกว่าค่ามาตรฐานอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์มีผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลภาคสนามยังแสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง ECWT และค่า kW/RT มีแนวโน้มเป็นบวกในทุกโครงการ แม้ว่าค่า R^2 จะมีความแตกต่างกันในแต่ละโครงการ ซึ่งสะท้อนว่าการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริงได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัยร่วมกัน นอกเหนือจากค่า ECWT

ในด้านเศรษฐศาสตร์พลังงาน การวิเคราะห์ภายใต้สมมติฐานการเดินเครื่องวันละ 12 ชั่วโมง และอัตราค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.2 บาทต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า kW/RT แม้เพียงเล็กน้อย สามารถส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะเครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดความสามารถในการทำความเย็นสูง

โดยสรุป ผลการศึกษายืนยันว่า การควบคุมอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ให้อยู่ใกล้สภาวะออกแบบเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นและลดต้นทุนด้านพลังงานของระบบ Chiller Plant

5.2 ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดที่ควรพิจารณาในการตีความผลการวิจัย ดังนี้

5.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลภาคสนามจากการใช้งานจริง ซึ่งมีความผันผวนของภาระโหลด อุณหภูมิน้ำ อัตราการไหลของน้ำ และสภาพแวดล้อมในการเดินเครื่อง ทำให้ข้อมูลมีความแปรปรวนมากกว่าการทดสอบภายใต้สภาวะมาตรฐาน

5.2.2 การศึกษานี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) เป็นหลัก โดยไม่ได้พิจารณาตัวแปรอื่น เช่น ประสิทธิภาพของ Cooling Tower อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น ประสิทธิภาพของปั๊มน้ำ หรือกลยุทธ์การควบคุมระบบ ซึ่งอาจส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

5.2.3 ข้อมูลอ้างอิงจากผู้ผลิตเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานตาม AHRI Standard 550/590 ขณะที่ข้อมูลภาคสนามเป็นข้อมูลจากสภาวะการใช้งานจริง จึงอาจมีความแตกต่างจากปัจจัยด้านการปฏิบัติการของระบบ

5.2.4 งานวิจัยครอบคลุมเครื่องทำน้ำเย็นจำนวน 7 โครงการ ซึ่งเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เชิงแนวโน้ม แต่ยังไม่ครอบคลุมเครื่องทำน้ำเย็นทุกประเภทและทุกสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ควรพิจารณาความเหมาะสมของแต่ละระบบร่วมด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะเชิงวิศวกรรม

จากผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (Entering Condenser Water Temperature: ECWT) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ดังนั้น การควบคุม ECWT ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับสภาวะออกแบบของผู้ผลิต จึงเป็นแนวทางสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดต้นทุนการดำเนินงานของระบบ Chiller Plant

เพื่อให้เครื่องทำน้ำเย็นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรให้ความสำคัญกับการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหอหล่อเย็น (Cooling Tower) การควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้เหมาะสมกับภาระการทำงาน และการบำรุงรักษาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดการสะสมของคราบสกปรก (Fouling) และรักษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของระบบ

นอกจากนี้ ควรมีการติดตามและบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบอย่างต่อเนื่องผ่านระบบบริหารจัดการอาคาร (Building Management System: BMS) หรือระบบบริหารจัดการโรงผลิตน้ำเย็น (Chiller Plant Management System: CPMS) เพื่อใช้ประเมินแนวโน้มของค่า ECWT ค่า kW/RT และภาระการทำงานของเครื่อง รวมถึงใช้ประกอบการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) และการปรับแต่งการทำงานของระบบให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานจริง

สำหรับอาคารที่มีเครื่องทำน้ำเย็นหลายเครื่อง ควรพิจารณาการจัดลำดับการเดินเครื่อง (Chiller Sequencing) และการควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น ปั๊มน้ำ และระบบหอหล่อเย็นร่วมกันในลักษณะของการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งระบบ (System Optimization) เพื่อให้ระบบสามารถทำงานใกล้จุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดตลอดช่วงภาระการใช้งาน

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคต

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำทางเข้าคอนเดนเซอร์ (ECWT) ต่อสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยกำหนดให้ ECWT เป็นตัวแปรอิสระหลัก ดังนั้น การศึกษาวิจัยในอนาคตควรขยายขอบเขตการวิเคราะห์ให้ครอบคลุมตัวแปรสำคัญอื่นที่เกี่ยวข้องกับระบบหล่อเย็น ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำด้านคอนเดนเซอร์ (Condenser Water Flow Rate) ประสิทธิภาพของหอหล่อเย็น (Cooling Tower Performance) ค่า Condenser Approach Temperature และสภาพอากาศภายนอก เพื่อให้สามารถอธิบายสมรรถนะการใช้พลังงานของระบบได้อย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ควรพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์สมรรถนะแบบหลายตัวแปร (Multivariable Performance Model) โดยนำตัวแปรสำคัญ เช่น ภาระความเย็น (Cooling Load) อัตราส่วนภาระการทำงาน (Part Load Ratio: PLR) อุณหภูมิน้ำทางด้านอีวาพอเรเตอร์ และตัวแปรด้านสิ่งแวดล้อมมาวิเคราะห์ร่วมกับค่า ECWT เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการอธิบายและพยากรณ์สมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

นอกจากการประเมินสมรรถนะทางเทคนิค ในการศึกษาวิจัยในอนาคตสามารถกำหนดการวิเคราะห์กับการประเมินด้านเศรษฐศาสตร์พลังงาน เช่น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ความคุ้มค่าของการลงทุน (Economic Feasibility) และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการปรับปรุงประสิทธิภาพและการบริหารจัดการพลังงานของระบบ Chiller Plant ในเชิงปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บรรณานุกรม

1 Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute. (2023). *ANSI/AHRI Standard 550/590 (I-P)-2023: Performance rating of water-chilling and heat pump water-heating packages using the vapor compression cycle*. AHRI.

2 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2023). *ASHRAE handbook—HVAC systems and equipment*. ASHRAE.

3 Braun, J. E. (1992). *Methodologies for the design and control of central cooling plants* (Final Report). Purdue University.

4 Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2005). *Thermodynamics: An engineering approach* (5th ed.). McGraw-Hill Science/Engineering/Math.

5 Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An engineering approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

6 Efficiency Valuation Organization. (2022). *International performance measurement and verification protocol: Core concepts 2022 (IPMVP Core Concepts 2022)*. EVO.

7 Hydeman, M., Gillespie, K. L., & Kavanagh, S. P. (2002). Development and testing of a reformulated regression-based electric chiller model. *ASHRAE Transactions*, 108(2), 1118–1127.

8 Hydeman, M., Webb, N., Sreedharan, P., & Blanc, S. (2002). Development and testing of a reformulated regression-based electric chiller model. *ASHRAE Transactions*.

9 Li, X., Wang, S., & Yan, C. (2022). Field performance analysis and optimal control of water-cooled chiller systems under variable operating conditions.

10 Ma, Z., Wang, S., Yan, C., & Xiao, F. (2023). Sensitivity analysis of condenser entering water temperature on centrifugal chiller energy efficiency: A field study. *Energy and Buildings*, 285.

11 McKenney's, Inc. (2016). *Chiller operating parameters and energy performance guidelines*. McKenney's Engineering Reference Publication.

.

12 Midea Group. (2021). *Water cooled centrifugal chiller (170–3000 RT)*. HVAC & Building Technologies Division.

13 Pan, Y., Tian, B., Mao, J., & Xu, P. (2015). Development and online tuning of an empirically-based model for centrifugal chillers. In *Proceedings of Building Simulation 2015*.

14 *Performance analysis of water-cooled chiller systems under varying condenser water temperatures*. (2012). *Energy and Buildings*.

15 Saleh, B. (2016). *Applied thermodynamics for refrigeration and air-conditioning systems*. Butterworth-Heinemann.

16 Saleh, B. (2016). Effect of condenser temperature on the performance of vapor compression refrigeration system. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 6(2), 15–20.

17 *Second law of thermodynamics: Principle of entropy generation and irreversibility*. (n.d.). Scientific principle.

18 U.S. Department of Energy. (2011). *Energy efficiency & renewable energy: Chilled water plant best practices*. U.S. Department of Energy.

19 U.S. Department of Energy. (2011). *Energy-efficient operation of chillers*. U.S. Department of Energy.

20 U.S. Department of Energy. (2011). *Improving chiller performance: A sourcebook for industry*. DOE Advanced Manufacturing Office.

21 U.S. Department of Energy. (2011). *Improving chiller plant efficiency*. U.S. Department of Energy.

22 U.S. Department of Energy. (2015). *M&V guidelines: Measurement and verification for performance-based contracts*. U.S. Department of Energy.

23 Yik, F. W. H., Lee, W. L., Lai, J. H. K., & Chan, K. T. (2010). Field study on the energy performance of central chiller plants. *Energy and Buildings*, 42(3), 300–307.

24 Yu, F. W., & Chan, K. T. (2005). Experimental determination of the energy efficiency of an air-cooled chiller under part load conditions. *Energy*, 30(10), 1747–1758.

25 Yu, F. W., & Chan, K. T. (2007). Improved energy performance of air-cooled centrifugal chillers with optimized condenser control. *Applied Thermal Engineering*, 27, 1004–1014.

26 Yu, F. W., & Chan, K. T. (2010). Energy performance of air-cooled chillers under part load conditions. *Applied Thermal Engineering*.

27 Zhang, L., Deng, S., & Zhao, Q. (2020). Dynamic optimization of condenser water temperature for energy-efficient chiller plant operation. *Energy and Buildings*.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ภาคผนวก ก

รายนามผู้เชี่ยวชาญการประเมิน

ตาราง ก-1 ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 RT (โครงการที่ 1)

Load (%)	Capacity (RT)	Input Power (kW)	Evaporator Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	Condenser Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	COP	kW/RT
100	400	210.50	55.0	45.0	956.7	85.0	94.30	1186	6.680	0.5264
90	360	180.30	54.0	45.0	956.7	85.0	93.32	1186	7.019	0.5010
85	340	168.00	53.5	45.0	956.7	85.0	92.84	1186	7.115	0.4941
80	320	156.40	53.0	45.0	956.7	85.0	92.37	1186	7.194	0.4888
75	300	145.20	52.5	45.0	956.7	85.0	91.90	1186	7.265	0.4840
70	280	134.70	52.0	45.0	956.7	85.0	91.44	1186	7.310	0.4810
65	260	126.50	51.5	45.0	956.7	85.0	90.98	1186	7.229	0.4864
60	240	117.20	51.0	45.0	956.7	85.0	90.53	1186	7.200	0.4883
55	220	107.70	50.5	45.0	956.7	85.0	90.07	1186	7.182	0.4896
50	200	99.02	50.0	45.0	956.7	85.0	89.61	1186	7.102	0.4951
45	180	88.82	49.5	45.0	956.7	85.0	89.15	1186	7.126	0.4934
40	160	81.09	49.0	45.0	956.7	85.0	88.70	1186	6.938	0.5068
35	140	76.98	48.5	45.0	956.7	85.0	88.27	1186	6.395	0.5498
30	120	70.86	48.0	45.0	956.7	85.0	87.83	1186	5.954	0.5905
25	100	64.07	47.5	45.0	956.7	85.0	87.38	1186	5.487	0.6407
20	80	64.40	47.0	45.0	956.7	85.0	86.96	1186	4.368	0.8050
15	60	64.40	46.5	45.0	956.7	85.0	86.53	1186	3.276	1.0730
10	40	64.40	46.0	45.0	956.7	85.0	86.06	1186	2.184	1.6100
5	20	64.40	45.5	45.0	956.7	85.0	85.52	1186	1.092	3.2200

ตาราง ก-2 ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 RT (โครงการที่ 2)

Load (%)	Capacity (RT)	Input Power (kW)	Evaporator Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	Condenser Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	COP	kW/RT
100	400	210.50	55.0	45.0	956.7	85.0	94.30	1186	6.680	0.5264
90	360	180.30	54.0	45.0	956.7	85.0	93.32	1186	7.019	0.5010
85	340	168.00	53.5	45.0	956.7	85.0	92.84	1186	7.115	0.4941
80	320	156.40	53.0	45.0	956.7	85.0	92.37	1186	7.194	0.4888
75	300	145.20	52.5	45.0	956.7	85.0	91.90	1186	7.265	0.4840
70	280	134.70	52.0	45.0	956.7	85.0	91.44	1186	7.310	0.4810
65	260	126.50	51.5	45.0	956.7	85.0	90.98	1186	7.229	0.4864
60	240	117.20	51.0	45.0	956.7	85.0	90.53	1186	7.200	0.4883
55	220	107.70	50.5	45.0	956.7	85.0	90.07	1186	7.182	0.4896
50	200	99.02	50.0	45.0	956.7	85.0	89.61	1186	7.102	0.4951
45	180	88.82	49.5	45.0	956.7	85.0	89.15	1186	7.126	0.4934
40	160	81.09	49.0	45.0	956.7	85.0	88.70	1186	6.938	0.5068
35	140	76.98	48.5	45.0	956.7	85.0	88.27	1186	6.395	0.5498
30	120	70.86	48.0	45.0	956.7	85.0	87.83	1186	5.954	0.5905
25	100	64.07	47.5	45.0	956.7	85.0	87.38	1186	5.487	0.6407
20	80	64.40	47.0	45.0	956.7	85.0	86.96	1186	4.368	0.8050
15	60	64.40	46.5	45.0	956.7	85.0	86.53	1186	3.276	1.0730
10	40	64.40	46.0	45.0	956.7	85.0	86.06	1186	2.184	1.6100
5	20	64.40	45.5	45.0	956.7	85.0	85.52	1186	1.092	3.2200

ตาราง ก-3 ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 370 RT (โครงการที่ 3)

Load (%)	Capacity (RT)	Input Power (kW)	Evaporator Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	Condenser Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	COP	kW/RT
100	370	206.1	54	44	884.9	85	94.3	1105	6.312	0.557
95	351.5	191	53.5	44	884.9	85	93.81	1105	6.471	0.5434
90	333	175.2	53	44	884.9	85	93.31	1105	6.684	0.5261
85	314.5	162.7	52.5	44	884.9	85	92.83	1105	6.797	0.5173
80	296	151.2	52	44	884.9	85	92.36	1105	6.882	0.5109
75	277.5	138.6	51.5	44	884.9	85	91.88	1105	7.041	0.4993
70	259	129.1	51	44	884.9	85	91.42	1105	7.052	0.4985
65	240.5	120.5	50.5	44	884.9	85	90.96	1105	7.015	0.5012
60	222	110.1	50	44	884.9	85	90.5	1105	7.089	0.496
55	203.5	101	49.5	44	884.9	85	90.04	1105	7.083	0.4964
50	185	93	49	44	884.9	85	89.59	1105	6.994	0.5027
45	166.5	86.32	48.5	44	884.9	85	89.14	1105	6.782	0.5184
40	148	82.06	48	44	884.9	85	88.71	1105	6.341	0.5545
35	129.5	74.78	47.5	44	884.9	85	88.27	1105	6.089	0.5774
30	111	67.49	47	44	884.9	85	87.82	1105	5.782	0.608
25	92.5	57.64	46.5	44	884.9	85	87.36	1105	5.642	0.6232
20	74	55.8	46	44	884.9	85	86.96	1105	4.663	0.7541
15	55.5	55.8	45.5	44	884.9	85	86.61	1105	3.497	1.005
10	37	55.8	45	44	884.9	85	86.09	1105	2.331	1.508

ตาราง ก-4 ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 300 RT (โครงการที่ 4)

Load (%)	Capacity (RT)	Input Power (kW)	Evaporator Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	Condenser Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	COP	kW/RT
100	300	161	54	44	717.5	85	94.3	890.8	6.551	0.5367
95	285	149.4	53.5	44	717.5	85	93.81	890.8	6.707	0.5242
90	270	140	53	44	717.5	85	93.34	890.8	6.78	0.5186
85	255	132	52.5	44	717.5	85	92.87	890.8	6.791	0.5178
80	240	124.7	52	44	717.5	85	92.41	890.8	6.766	0.5197
75	225	116.6	51.5	44	717.5	85	91.95	890.8	6.787	0.5181
70	210	109	51	44	717.5	85	91.48	890.8	6.773	0.5191
65	195	101	50.5	44	717.5	85	91.02	890.8	6.786	0.5181
60	180	93.98	50	44	717.5	85	90.56	890.8	6.734	0.5221
55	165	89.17	49.5	44	717.5	85	90.12	890.8	6.506	0.5404
50	150	85.18	49	44	717.5	85	89.68	890.8	6.192	0.5679
45	135	77.77	48.5	44	717.5	85	89.22	890.8	6.103	0.5761
40	120	73.69	48	44	717.5	85	88.79	890.8	5.725	0.6141
35	105	66.16	47.5	44	717.5	85	88.33	890.8	5.58	0.6301
30	90	58.15	47	44	717.5	85	87.86	890.8	5.441	0.6461
25	75	55.45	46.5	44	717.5	85	87.45	890.8	4.756	0.7393
20	60	55.45	46	44	717.5	85	87.15	890.8	3.805	0.9241
15	45	55.45	45.5	44	717.5	85	86.64	890.8	2.854	1.232
10	30	55.45	45	44	717.5	85	86.11	890.8	1.902	1.848

ตาราง ก-5 ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 450 RT (โครงการที่ 5)

Load (%)	Capacity (RT)	Input Power (kW)	Evaporator Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	Condenser Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	COP	kW/RT
100	450	231.7	54	44	1076	85	94.3	1332	6.827	0.515
95	427.5	216.4	53.5	44	1076	85	93.82	1332	6.945	0.5062
90	405	202.6	53	44	1076	85	93.34	1332	7.027	0.5003
85	382.5	190.2	52.5	44	1076	85	92.87	1332	7.071	0.4972
80	360	180.5	52	44	1076	85	92.41	1332	7.013	0.5014
75	337.5	168.9	51.5	44	1076	85	91.95	1332	7.025	0.5005
70	315	157.3	51	44	1076	85	91.48	1332	7.041	0.4993
65	292.5	146.7	50.5	44	1076	85	91.02	1332	7.011	0.5015
60	270	137.8	50	44	1076	85	90.57	1332	6.887	0.5105
55	247.5	127.2	49.5	44	1076	85	90.11	1332	6.843	0.5138
50	225	120.5	49	44	1076	85	89.67	1332	6.565	0.5355
45	202.5	109.9	48.5	44	1076	85	89.21	1332	6.479	0.5427
40	180	102.3	48	44	1076	85	88.76	1332	6.184	0.5686
35	157.5	98	47.5	44	1076	85	88.34	1332	5.651	0.6222
30	135	94.88	47	44	1076	85	87.91	1332	5.002	0.7028
25	112.5	90.56	46.5	44	1076	85	87.48	1332	4.368	0.8049
20	90	77.69	46	44	1076	85	87.01	1332	4.073	0.8632
15	67.5	71.68	45.5	44	1076	85	86.51	1332	3.311	1.062
10	45	71.68	45	44	1076	85	86.01	1332	2.207	1.593

ตาราง ก-6 ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 500 RT (โครงการที่ 6)

Load (%)	Capacity (RT)	Input Power (kW)	Evaporator Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	Condenser Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	COP	kW/RT
100	500	260.3	54	44	1196	85	94.3	1482	6.753	0.5207
95	475	242.8	53.5	44	1196	85	93.81	1482	6.88	0.5111
90	450	224.9	53	44	1196	85	93.33	1482	7.037	0.4997
85	425	209.1	52.5	44	1196	85	92.85	1482	7.148	0.4919
80	400	195.2	52	44	1196	85	92.38	1482	7.205	0.488
75	375	183.3	51.5	44	1196	85	91.92	1482	7.192	0.4889
70	350	171.7	51	44	1196	85	91.46	1482	7.167	0.4906
65	325	158.9	50.49	44	1196	85	91	1482	7.191	0.489
60	300	147.1	49.99	44	1196	85	90.54	1482	7.169	0.4904
55	275	136.6	49.49	44	1196	85	90.08	1482	7.078	0.4967
50	250	124.9	48.99	44	1196	85	89.62	1482	7.04	0.4994
45	225	118.6	48.49	44	1196	85	89.19	1482	6.672	0.527
40	200	107	47.99	44	1196	85	88.73	1482	6.571	0.5351
35	175	99.15	47.5	44	1196	85	88.29	1482	6.206	0.5666
30	150	95.71	47	44	1196	85	87.87	1482	5.51	0.6381
25	125	92.28	46.5	44	1196	85	87.44	1482	4.763	0.7383
20	100	83.24	46	44	1196	85	87	1482	4.224	0.8324
15	75	70.92	45.5	44	1196	85	86.51	1482	3.718	0.9457
10	50	70.92	45	44	1196	85	86	1482	2.479	1.418

ตาราง ก-7 ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 800 RT (โครงการที่ 7)

Load (%)	Capacity (RT)	Input Power (kW)	Evaporator Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	Condenser Entering Temp (°F)	Leaving Temp (°F)	Flow Rate (GPM)	COP	kW/RT
100	800	421.3	54	44	1913	85	94.3	2375	6.676	0.5267
95	760	396.6	53.5	44	1913	85	93.81	2375	6.737	0.5219
90	720	367.3	53	44	1913	85	93.33	2375	6.891	0.5102
85	680	339.3	52.5	44	1913	85	92.84	2375	7.046	0.499
80	640	315.2	52	44	1913	85	92.37	2375	7.139	0.4925
75	600	292.3	51.5	44	1913	85	91.9	2375	7.216	0.4872
70	560	272.4	51	44	1913	85	91.44	2375	7.229	0.4864
65	520	254.3	50.5	44	1913	85	90.98	2375	7.19	0.489
60	480	237.3	50	44	1913	85	90.53	2375	7.113	0.4943
55	440	216.8	49.5	44	1913	85	90.07	2375	7.135	0.4928
50	400	191.4	49	44	1913	85	89.59	2375	7.347	0.4786
45	360	163.8	48.5	44	1913	85	89.11	2375	7.728	0.455
40	320	142	48	44	1913	85	88.64	2375	7.925	0.4437
35	280	122.3	47.5	44	1913	85	88.18	2375	8.051	0.4367
30	240	107.8	47	44	1913	85	87.73	2375	7.826	0.4493
25	200	91.27	46.5	44	1913	85	87.28	2375	7.705	0.4563
20	160	76.21	46	44	1913	85	86.83	2375	7.382	0.4763
15	120	67.79	45.5	44	1913	85	86.4	2375	6.224	0.5649
10	80	62.3	45	44	1913	85	85.98	2375	4.515	0.7787

ตาราง ก-8 ผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ 1°F ต่อค่า kW/RT ภายใต้ช่วงโหลดต่าง ๆ (เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 ตันความเย็น)

Impact of a 1°F Increase in Entering Condenser Water Temperature on kW/RT at Various Load Percentages (400 RT Chiller – Manufacturer Specifications)

Design Temp (°F) Entering	Power Input per Capacity (kW/Ton) Design 85°F							
	Percentage of Full Load (30%)	Percentage of Full Load (40%)	Percentage of Full Load (50%)	Percentage of Full Load (60%)	Percentage of Full Load (70%)	Percentage of Full Load (80%)	Percentage of Full Load (90%)	Percentage of Full Load (100%)
72	0.3617	0.3266	0.3297	0.3317	0.3463	0.3596	0.3745	0.397
73	0.3775	0.3393	0.3407	0.342	0.3566	0.3694	0.3851	0.4075
74	0.3926	0.3522	0.3517	0.3521	0.3671	0.3793	0.3955	0.4178
75	0.4081	0.3653	0.3625	0.3621	0.3777	0.3894	0.4059	0.4282
76	0.4239	0.3784	0.3734	0.3721	0.3885	0.3995	0.4163	0.4389
77	0.4405	0.3916	0.3842	0.3844	0.3995	0.4094	0.4264	0.4495
78	0.4579	0.4049	0.397	0.3975	0.4103	0.4197	0.4366	0.4604
79	0.476	0.4184	0.4107	0.4108	0.4194	0.4302	0.4468	0.4717
80	0.4941	0.4322	0.4245	0.4245	0.4282	0.4406	0.457	0.4824
81	0.5123	0.4461	0.4381	0.4384	0.437	0.451	0.4671	0.492
82	0.531	0.4604	0.4512	0.4527	0.4477	0.4613	0.477	0.5004
83	0.5502	0.4755	0.4648	0.4655	0.459	0.4718	0.4847	0.5084
84	0.57	0.4909	0.4794	0.4769	0.4699	0.4805	0.4924	0.5171
85	0.5905	0.5068	0.4951	0.4883	0.481	0.4888	0.501	0.5264
86	0.6103	0.5231	0.511	0.4999	0.4922	0.497	0.5128	0.5354
87	0.6262	0.5396	0.5272	0.5115	0.5034	0.5068	0.5249	0.5469
88	0.6423	0.5586	0.5436	0.5232	0.5147	0.5167	0.5383	0.5595
89	0.6625	0.5826	0.5601	0.5358	0.526	0.5287	0.5529	0.5722
90	0.6972	0.6074	0.5763	0.5485	0.5381	0.5463	0.5673	0.584
91	0.7343	0.6347	0.5922	0.5613	0.555	0.564	0.5798	0.596
92	0.7735	0.6652	0.6083	0.5813	0.5724	0.58	0.5921	0.6084
93	0.8146	0.6979	0.6341	0.6021	0.5895	0.5953	0.6055	0.6211
94	0.8587	0.732	0.663	0.6232	0.6064	0.6109	0.6222	0.6338
95	0.9234	0.7682	0.6934	0.6443	0.6239	0.6255	0.6395	0.6469
96	0.9827	0.8069	0.7251	0.6657	0.6378	0.6405	0.654	0.6602
97	1.042	0.8474	0.7586	0.6811	0.6512	0.6551	0.6676	0.6733
98	1.107	0.8908	0.7772	0.6949	0.6657	0.6693	0.682	0.6863
99	1.176	0.9235	0.7882	0.7095	0.6825	0.6843	0.6972	0.6994

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนาม

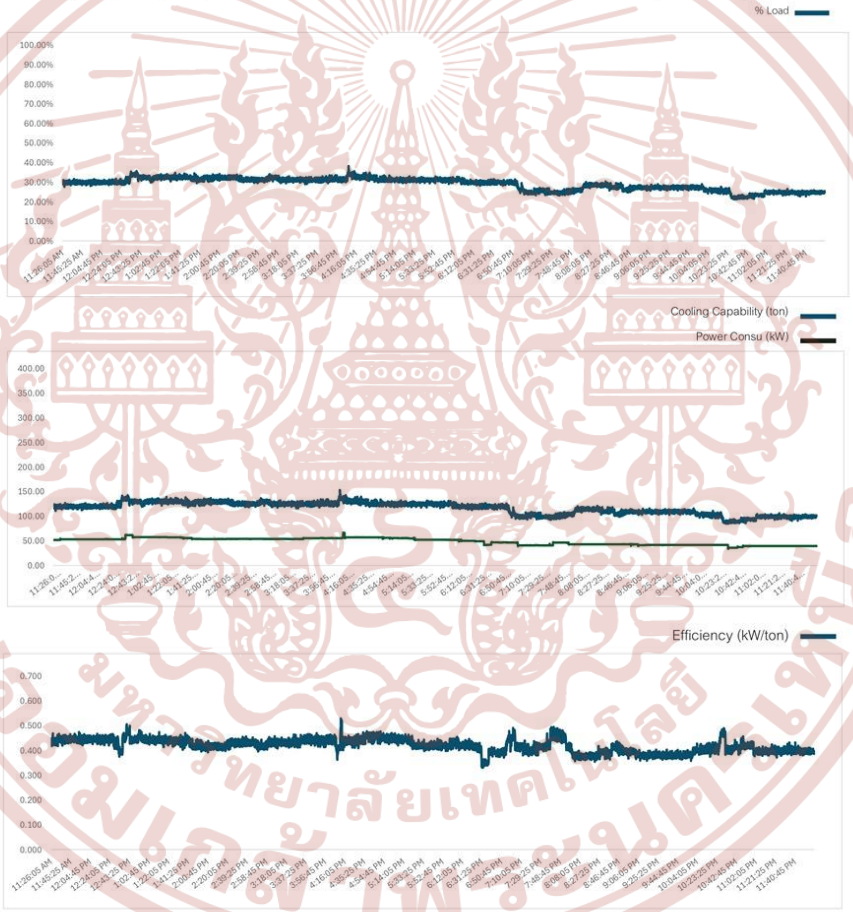
ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 ตันความเย็น (โครงการที่ 1)

Project : 1 Date : 14/10/25 - 16/10/25

Brand : Midea Model : CCWE400EV Ser.No. : - Time : 11:54 - 12:50

Type : Centrifugal Chiller (MB) Power : 380 V 50 Hz Cooling Cap : 400 Ton Measuring Duaration : : 60 Sec

	New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
	Evaporator		Condensing						
	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
Average	44.6	48.3	80.7	84.3	693.81	107.83	47.16	0.439	27%
Min	43.2	47.3	77.0	79.9	646.53	5.16	4.90	0.029	1%
Max	50.5	54.1	85.1	91.0	742.54	282.57	131.90	10.687	71%



Date	Time	Temp				Correcrion Temp (°F)				New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing						
		Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
16-ต.ค.-25	11:26:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	692.64	119.48	51.70	0.433	30%
16-ต.ค.-25	11:26:10 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	701.21	120.96	51.70	0.427	30%
16-ต.ค.-25	11:26:15 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	703.58	121.37	51.70	0.426	30%
16-ต.ค.-25	11:26:20 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	669.46	115.48	51.70	0.448	29%
16-ต.ค.-25	11:26:25 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	689.77	118.99	51.70	0.435	30%
16-ต.ค.-25	11:26:30 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	683.89	117.97	51.70	0.438	29%
16-ต.ค.-25	11:26:35 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	701.68	121.04	51.80	0.428	30%
16-ต.ค.-25	11:26:40 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	691.38	119.26	51.70	0.433	30%
16-ต.ค.-25	11:26:45 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	691.34	119.26	51.80	0.434	30%
16-ต.ค.-25	11:26:50 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	695.08	119.90	51.80	0.432	30%
16-ต.ค.-25	11:26:55 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	711.33	122.70	51.70	0.421	31%
16-ต.ค.-25	11:27:00 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	687.39	118.57	51.70	0.436	30%
16-ต.ค.-25	11:27:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	719.41	124.10	51.70	0.417	31%
16-ต.ค.-25	11:27:10 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	689.66	118.97	51.70	0.435	30%
16-ต.ค.-25	11:27:15 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	694.79	119.85	51.70	0.431	30%
16-ต.ค.-25	11:27:20 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	676.07	116.62	51.70	0.443	29%
16-ต.ค.-25	11:27:25 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	678.10	116.97	51.70	0.442	29%
16-ต.ค.-25	11:27:30 AM	7.2	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.96	48.92	81.68	85.64	709.49	117.07	51.70	0.442	29%
16-ต.ค.-25	11:27:35 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	678.89	117.11	51.70	0.441	29%
16-ต.ค.-25	11:27:40 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	697.14	120.26	51.70	0.430	30%
16-ต.ค.-25	11:27:45 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	691.72	119.32	51.70	0.433	30%
16-ต.ค.-25	11:27:50 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	699.68	120.70	51.70	0.428	30%
16-ต.ค.-25	11:27:55 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	707.62	122.10	51.70	0.423	31%
16-ต.ค.-25	11:28:00 AM	7.2	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.96	48.92	81.68	85.66	684.36	112.92	51.70	0.458	28%
16-ต.ค.-25	11:28:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	682.23	117.68	51.70	0.439	29%
16-ต.ค.-25	11:28:10 AM	7.2	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.96	48.92	81.68	85.66	670.66	110.66	51.70	0.467	28%
16-ต.ค.-25	11:28:15 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	700.09	120.76	51.70	0.428	30%
16-ต.ค.-25	11:28:20 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	695.90	120.04	51.70	0.431	30%
16-ต.ค.-25	11:28:25 AM	7.1	9.4	27.6	29.7	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	706.30	121.49	51.70	0.426	30%
16-ต.ค.-25	11:28:30 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	686.43	118.06	51.70	0.438	30%
16-ต.ค.-25	11:28:35 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	708.07	122.14	51.70	0.423	31%
16-ต.ค.-25	11:28:40 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	691.69	119.32	51.70	0.433	30%
16-ต.ค.-25	11:28:45 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	711.44	122.76	51.70	0.421	31%
16-ต.ค.-25	11:28:50 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	699.76	120.71	51.70	0.428	30%
16-ต.ค.-25	11:28:55 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	701.48	121.01	51.70	0.427	30%
16-ต.ค.-25	11:29:00 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	712.67	122.94	51.70	0.421	31%
16-ต.ค.-25	11:29:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	705.79	121.76	51.70	0.425	30%
16-ต.ค.-25	11:29:10 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	686.16	118.36	51.70	0.437	30%
16-ต.ค.-25	11:29:15 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	693.03	119.55	51.70	0.432	30%
16-ต.ค.-25	11:29:20 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	710.29	122.52	51.70	0.422	31%
16-ต.ค.-25	11:29:25 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	672.46	116.00	51.70	0.446	29%
16-ต.ค.-25	11:29:30 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	682.88	117.80	51.70	0.439	29%
16-ต.ค.-25	11:29:35 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	696.87	120.21	51.70	0.430	30%
16-ต.ค.-25	11:29:40 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	694.00	119.71	51.70	0.432	30%
16-ต.ค.-25	11:29:45 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	682.69	117.76	51.70	0.439	29%
16-ต.ค.-25	11:29:50 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	712.29	122.87	51.70	0.421	31%
16-ต.ค.-25	11:29:55 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	669.68	115.52	51.70	0.448	29%
16-ต.ค.-25	11:30:00 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	699.28	120.63	51.70	0.429	30%
16-ต.ค.-25	11:30:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	692.80	119.51	51.70	0.433	30%
16-ต.ค.-25	11:30:10 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	693.35	119.60	51.70	0.432	30%
16-ต.ค.-25	11:30:15 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	683.53	117.91	51.70	0.438	29%
16-ต.ค.-25	11:30:20 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	695.68	120.00	51.70	0.431	30%
16-ต.ค.-25	11:30:25 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	696.37	120.12	51.70	0.430	30%
16-ต.ค.-25	11:30:30 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	673.70	116.21	51.70	0.445	29%
16-ต.ค.-25	11:30:35 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.66	688.49	118.76	51.70	0.435	30%
16-ต.ค.-25	11:30:40 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	689.10	118.87	51.70	0.435	30%
16-ต.ค.-25	11:30:45 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	694.93	119.88	51.70	0.431	30%
16-ต.ค.-25	11:30:50 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	666.26	114.93	51.70	0.450	29%
16-ต.ค.-25	11:30:55 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	692.42	119.48	51.70	0.433	30%
16-ต.ค.-25	11:31:00 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	684.24	118.03	51.70	0.438	30%
16-ต.ค.-25	11:31:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	679.07	117.14	51.80	0.442	29%
16-ต.ค.-25	11:31:10 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.68	712.29	122.87	51.80	0.422	31%
16-ต.ค.-25	11:31:15 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	705.84	121.76	51.80	0.425	30%
16-ต.ค.-25	11:31:20 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	695.83	120.03	51.80	0.432	30%
16-ต.ค.-25	11:31:25 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	715.86	123.49	51.80	0.419	31%
16-ต.ค.-25	11:31:30 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	680.28	117.35	51.80	0.441	29%
16-ต.ค.-25	11:31:35 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	697.76	120.36	51.80	0.430	30%
16-ต.ค.-25	11:31:40 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	694.12	119.74	51.80	0.433	30%
16-ต.ค.-25	11:31:45 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	692.67	119.49	51.80	0.434	30%
16-ต.ค.-25	11:31:50 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	676.32	116.67	51.80	0.444	29%
16-ต.ค.-25	11:31:55 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	694.49	119.80	51.80	0.432	30%
16-ต.ค.-25	11:32:00 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	700.21	120.79	51.80	0.429	30%
16-ต.ค.-25	11:32:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	675.16	116.47	51.80	0.445	29%
16-ต.ค.-25	11:32:10 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	717.64	123.79	51.80	0.418	31%
16-ต.ค.-25	11:32:15 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	690.82	119.17	51.80	0.435	30%
16-ต.ค.-25	11:32:20 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	670.72	115.70	51.80	0.448	29%
16-ต.ค.-25	11:32:25 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	700.30	120.80	51.80	0.429	30%
16-ต.ค.-25	11:32:30 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	710.53	122.57	51.80	0.423	31%
16-ต.ค.-25	11:32:35 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	689.92	119.01	51.80	0.435	30%
16-ต.ค.-25	11:32:40 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	699.86	120.73	51.80	0.429	30%
16-ต.ค.-25	11:32:45 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	686.99	118.51	51.80	0.437	30%
16-ต.ค.-25	11:32:50 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	672.49	116.00	53.60	0.462	29%
16-ต.ค.-25	11:32:55 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	681.14	117.50	54.10	0.460	29%
16-ต.ค.-25	11:33:00 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	721.62	124.48	51.90	0.417	31%
16-ต.ค.-25	11:33:05 AM	7.1	9.4	27.6	29.8	0	0	0	0	44.78	48.92	81.68	85.64	696.16	120.09	53.00	0.441	30%

ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 ตันความเย็น (โครงการที่ 2)

Project : 2 Date : 17/07/25 - 18/07/25

Brand : Midea Model : CCWE400EV Ser.No. : Time : 11:54 - 12:50

Type : Centrifugal Power : 380 V 50 Hz Cooling Cap : 400 Ton Measuring Duaration : : 60 Sec

	New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
	Evaporator		Condensing						
	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
Average	47.3	55.6	87.2	96.6	827.76	286.58	154.77	0.540	72%
Min	45.6	52.7	79.2	82.1	781.79	144.91	79.17	0.362	36%
Max	73.9	77.9	88.5	98.2	879.16	321.97	162.65	0.617	80%



Date	Time	Temp				Correcrion Temp (°F)				New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing						
		Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
17-ก.ค.-25	11:54:00 AM	46.5	54.5	87.5	97.1	0	0	0	0	46.5	54.5	87.5	97.1	825.73	275.24	157.19	0.571	69%
17-ก.ค.-25	11:54:00 AM	46.4	54.5	87.5	97.1	0	0	0	0	46.4	54.5	87.5	97.1	843.02	284.52	157.08	0.552	71%
17-ก.ค.-25	11:55:00 AM	46.5	54.5	87.4	96.9	0	0	0	0	46.5	54.5	87.4	96.9	850.57	283.52	157.61	0.556	71%
17-ก.ค.-25	11:56:00 AM	46.5	54.5	87.4	96.8	0	0	0	0	46.5	54.5	87.4	96.8	844.74	281.58	157.08	0.558	70%
17-ก.ค.-25	11:57:00 AM	46.4	54.5	87.2	96.8	0	0	0	0	46.4	54.5	87.2	96.8	821.66	277.31	157.29	0.567	69%
17-ก.ค.-25	11:58:00 AM	46.4	54.4	87.3	96.9	0	0	0	0	46.4	54.4	87.3	96.9	837.25	279.08	156.66	0.561	70%
17-ก.ค.-25	11:59:00 AM	46.5	54.5	87.4	97.1	0	0	0	0	46.5	54.5	87.4	97.1	841.34	280.45	157.92	0.563	70%
17-ก.ค.-25	12:00:00 PM	46.5	54.5	87.5	97.1	0	0	0	0	46.5	54.5	87.5	97.1	828.11	276.04	158.87	0.576	69%
17-ก.ค.-25	12:01:00 PM	46.4	54.5	87.5	97.1	0	0	0	0	46.4	54.5	87.5	97.1	821.72	277.33	160.13	0.577	69%
17-ก.ค.-25	12:02:00 PM	46.5	54.5	87.4	96.9	0	0	0	0	46.5	54.5	87.4	96.9	814.73	271.58	160.65	0.592	68%
17-ก.ค.-25	12:03:00 PM	46.5	54.5	87.4	96.8	0	0	0	0	46.5	54.5	87.4	96.8	830.57	276.86	160.34	0.579	69%
17-ก.ค.-25	12:04:00 PM	46.4	54.5	87.2	96.8	0	0	0	0	46.4	54.5	87.2	96.8	821.87	277.38	159.39	0.575	69%
17-ก.ค.-25	12:05:00 PM	46.4	54.5	86.9	96.4	0	0	0	0	46.4	54.5	86.9	96.4	842.45	284.33	159.08	0.559	71%
17-ก.ค.-25	12:06:00 PM	46.4	54.5	86.9	96.4	0	0	0	0	46.4	54.5	86.9	96.4	832.55	280.99	158.87	0.565	70%
17-ก.ค.-25	12:07:00 PM	46.4	54.6	87	96.4	0	0	0	0	46.4	54.6	87	96.4	817.52	279.32	159.60	0.571	70%
17-ก.ค.-25	12:08:00 PM	46.7	54.8	10	96.7	0	0	0	0	46.7	54.8	87.3	96.7	825.75	278.69	160.13	0.575	70%
17-ก.ค.-25	12:09:00 PM	46.9	55	87.4	96.9	0	0	0	0	46.9	55	87.4	96.9	812.99	274.38	160.44	0.585	69%
17-ก.ค.-25	12:10:00 PM	46.9	55	87.4	96.9	0	0	0	0	46.9	55	87.4	96.9	859.93	290.23	160.23	0.552	73%
17-ก.ค.-25	12:11:00 PM	46.7	54.8	87.4	96.8	0	0	0	0	46.7	54.8	87.4	96.8	823.27	277.85	160.02	0.576	69%
17-ก.ค.-25	12:12:00 PM	46.9	55.1	87.6	96.9	0	0	0	0	46.9	55.1	87.6	96.9	820.24	280.25	159.81	0.570	70%
17-ก.ค.-25	12:13:00 PM	46.9	55.2	87.6	97.1	0	0	0	0	46.9	55.2	87.6	97.1	809.64	280.00	159.60	0.570	70%
17-ก.ค.-25	12:14:00 PM	46.7	55	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	55	87.4	97.1	794.24	274.68	159.29	0.580	69%
17-ก.ค.-25	12:15:00 PM	46.7	55.1	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	55.1	87.4	97.1	816.18	285.66	159.18	0.557	71%
17-ก.ค.-25	12:16:00 PM	46.7	55.2	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	55.2	87.4	97.1	815.71	288.90	159.08	0.551	72%
17-ก.ค.-25	12:17:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.8	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.8	826.11	300.19	158.97	0.530	75%
17-ก.ค.-25	12:18:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.8	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.8	807.23	292.62	158.97	0.543	73%
17-ก.ค.-25	12:19:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.8	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.8	832.51	301.78	158.87	0.526	75%
17-ก.ค.-25	12:20:00 PM	46.8	55.4	87.9	97.7	0	0	0	0	46.8	55.4	87.9	97.7	802.42	287.55	159.71	0.555	72%
17-ก.ค.-25	12:21:00 PM	46.7	55.6	87.9	97.8	0	0	0	0	46.7	55.6	87.9	97.8	848.47	307.57	159.50	0.519	77%
17-ก.ค.-25	12:22:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.7	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.7	832.54	301.79	159.50	0.528	75%
17-ก.ค.-25	12:23:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.7	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.7	803.33	291.21	159.50	0.548	73%
17-ก.ค.-25	12:24:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.7	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.7	817.05	296.18	158.97	0.537	74%
17-ก.ค.-25	12:25:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.7	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.7	817.45	296.33	158.76	0.536	74%
17-ก.ค.-25	12:26:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.7	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.7	822.02	297.98	158.66	0.532	74%
17-ก.ค.-25	12:27:00 PM	46.7	55.4	87.9	97.7	0	0	0	0	46.7	55.4	87.9	97.7	811.92	294.32	158.55	0.539	74%
17-ก.ค.-25	12:28:00 PM	46.7	55.4	88.1	97.8	0	0	0	0	46.7	55.4	88.1	97.8	818.19	296.56	158.66	0.535	74%
17-ก.ค.-25	12:29:00 PM	46.9	55.4	88.1	97.8	0	0	0	0	46.9	55.4	88.1	97.8	812.02	297.59	158.66	0.552	72%
17-ก.ค.-25	12:30:00 PM	46.7	55.4	88.3	98	0	0	0	0	46.7	55.4	88.3	98	818.86	296.84	158.45	0.534	74%
17-ก.ค.-25	12:31:00 PM	46.8	55.6	88.3	98	0	0	0	0	46.8	55.6	88.3	98	825.64	295.86	158.45	0.536	74%
17-ก.ค.-25	12:32:00 PM	46.9	55.4	88.3	98	0	0	0	0	46.9	55.4	88.3	98	805.64	285.33	159.18	0.558	71%
17-ก.ค.-25	12:33:00 PM	46.9	55.4	88.3	98	0	0	0	0	46.9	55.4	88.3	98	818.51	289.89	159.08	0.549	72%
17-ก.ค.-25	12:34:00 PM	46.9	55.4	88.3	98	0	0	0	0	46.9	55.4	88.3	98	832.11	294.71	158.87	0.539	74%
17-ก.ค.-25	12:35:00 PM	47.1	55.5	88.5	98.2	0	0	0	0	47.1	55.5	88.5	98.2	830.11	290.54	158.87	0.547	73%
17-ก.ค.-25	12:36:00 PM	47.1	55.5	88.5	98.2	0	0	0	0	47.1	55.5	88.5	98.2	845.15	295.80	158.97	0.537	74%
17-ก.ค.-25	12:37:00 PM	47.1	55.5	88.5	98.2	0	0	0	0	47.1	55.5	88.5	98.2	822.85	288.00	158.97	0.552	72%
17-ก.ค.-25	12:38:00 PM	46.8	54.5	87.6	96.9	0	0	0	0	46.8	54.5	87.6	96.9	820.53	263.25	160.23	0.609	66%
17-ก.ค.-25	12:39:00 PM	46.7	54.8	87.6	97.1	0	0	0	0	46.7	54.8	87.6	97.1	835.52	281.99	159.81	0.567	70%
17-ก.ค.-25	12:40:00 PM	46.7	54.9	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	54.9	87.4	97.1	831.81	284.20	159.71	0.562	71%
17-ก.ค.-25	12:41:00 PM	46.9	55.4	87.6	97.3	0	0	0	0	46.9	55.4	87.6	97.3	828.20	293.32	159.81	0.545	73%
17-ก.ค.-25	12:42:00 PM	46.9	55.4	87.6	97.1	0	0	0	0	46.9	55.4	87.6	97.1	843.66	298.73	159.81	0.535	75%
17-ก.ค.-25	12:43:00 PM	46.9	55.4	87.6	97.2	0	0	0	0	46.9	55.4	87.6	97.2	829.04	293.26	159.81	0.545	73%
17-ก.ค.-25	12:44:00 PM	46.9	55.5	87.4	97.1	0	0	0	0	46.9	55.5	87.4	97.1	811.59	290.82	159.71	0.549	73%
17-ก.ค.-25	12:45:00 PM	46.9	55.5	87.4	97.1	0	0	0	0	46.9	55.5	87.4	97.1	829.88	297.37	159.71	0.537	74%
17-ก.ค.-25	12:46:00 PM	46.9	55.5	87.6	97.3	0	0	0	0	46.9	55.5	87.6	97.3	831.81	298.06	159.60	0.535	75%
17-ก.ค.-25	12:47:00 PM	46.9	55.5	87.6	97.3	0	0	0	0	46.9	55.5	87.6	97.3	814.18	291.75	159.39	0.546	73%
17-ก.ค.-25	12:48:00 PM	46.9	55.5	87.4	97.1	0	0	0	0	46.9	55.5	87.4	97.1	823.01	294.91	159.29	0.540	74%
17-ก.ค.-25	12:49:00 PM	46.8	55.5	87.4	97.1	0	0	0	0	46.8	55.5	87.4	97.1	816.72	296.06	159.39	0.538	74%
17-ก.ค.-25	12:50:00 PM	46.8	55.4	87.4	97.1	0	0	0	0	46.8	55.4	87.4	97.1	785.87	281.60	159.81	0.567	70%
17-ก.ค.-25	12:51:00 PM	46.7	55.4	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	55.4	87.4	97.1	829.09	300.54	160.44	0.534	75%
17-ก.ค.-25	12:52:00 PM	46.6	55.4	87.2	97.1	0	0	0	0	46.6	55.4	87.2	97.1	822.39	301.54	160.23	0.531	75%
17-ก.ค.-25	12:53:00 PM	46.7	55.4	87.2	97	0	0	0	0	46.7	55.4	87.2	97	841.37	305.00	159.92	0.524	76%
17-ก.ค.-25	12:54:00 PM	46.7	55.4	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	55.4	87.4	97.1	809.59	293.47	159.92	0.545	73%
17-ก.ค.-25	12:55:00 PM	46.7	55.4	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	55.4	87.4	97.1	814.46	295.24	160.23	0.543	74%
17-ก.ค.-25	12:56:00 PM	46.7	55.4	87.6	97.3	0	0	0	0	46.7	55.4	87.6	97.3	818.16	296.58	160.34	0.541	74%
17-ก.ค.-25	12:57:00 PM	46.7	55.4	87.6	97.3	0	0	0	0	46.7	55.4	87.6	97.3	817.12	296.21	160.13	0.541	74%
17-ก.ค.-25	12:58:00 PM	46.7	55.4	87.4	97.1	0	0	0	0	46.7	55.4	87.4	97.1	808.31	293.01	160.13	0.546	73%
17-ก.ค.-25	12:59:00 PM	46.6	55.4	87.4	97.1	0	0	0	0	46.6	55.4	87.4	97.1	818.59	300.15	160.13	0.533	75%
17-ก.ค.-25	1:00:00 PM	46.7	55.4	87.6	97.3	0	0	0	0	46.7	55.4	87.6	97.3	817.83	295.46	159.92	0.539	74%
17-ก.ค.-25	1:01:00 PM	46.7	55.4	87.5	97.1	0	0	0	0	46.7	55.4	87.5	97.1	800.69	290.25	160.55	0.553	73%
17-ก.ค.-25	1:02:00 PM	46.5	55.4	87.4	97.1	0	0	0	0	46.5	55.4	87.4	97.1	824.00	305.56	160.44	0.525	76%
17-ก.ค.-25	1:03:00 PM	46.5	55.4	87.3	97.1	0	0	0	0	46.5	55.4	87.3	97.1	827.51	306.87	160.44	0.523	77%
17-ก.ค.-25	1:04:00 PM	46.5	55.4	87.2	97	0	0	0	0	46.5	55.4	87.2	97	848.59	314.69	160.34	0.510	79%
17-ก.ค.-25	1:05:00 PM	46.5	55.2	87.2	96.9	0	0	0	0	46.5	55.2	87.2	96.9	797.18	288.98	161.49	0.559	72%
17-ก.ค.-25	1:06:00 PM	46.5	55.2	87.2	97.1	0	0	0	0	46.5	55.2	87.2	97.1	781.79	283.40	161.39	0.569	71%
17-ก.ค.-25	1:07:00 PM	46.5	55.2	87.3	97.1	0	0	0	0	46.5	55.2	87.3	97.1	839.96	304.49	161.39	0.530	76%
17-ก.ค.-25	1:08:00 PM	46.5	55.2	87.4	97.1	0	0	0	0	46.5	55.2	87.4	97.1	833.81	302.26	161.39	0.534	76%
17-ก.ค.-25	1:09:00 PM	46.5	55.2	87.4	97.1	0	0	0	0	46.5	55.2	87.4	97.1	824.60	298.92	161.07	0.539	75%
17-ก.ค.-25	1:10:00 PM	46.5	55.2	87.6	97.3	0	0	0	0	46.5	55.2	87.6	97.3	828.46	300.32	161.07	0.536	75%
17-ก.ค.-25	1:11:00 PM	46.5	55.2	87.6	97.4	0	0	0	0	46.5	55.2	87.6	97.4	828.99	300.51	160.65	0.535	75%
17-ก.ค.-25	1:12:00 PM	46.4	55.2	87.7	97.5	0	0	0	0	46.4	55.2	87.7	97.5	834.19	305.87	160.65	0.525	76%
17-ก.ค.-25	1:13:00 PM	46.5	55.1	87.8	97.5	0	0	0	0	46.5	55.1	87.8	97.5	841.69	301.61	160.55	0.532	75%
17-ก.ค.-25	1:14:00 PM	46.5	55	87.6	97.5	0	0	0	0	46.5	55	87.6	97.5	815.81	288.93	160.86	0.557	72%
17-ก.ค.-25	1:15:00 PM	46.5	55	87.6	97.5	0	0	0	0	46.5	55	87.6	97.5	835.14	295.78	160.76	0.543	74%
17-ก.ค.-25	1:16:00 PM	46.5	55	87.8	97.5	0	0	0	0	46.5	55	87.8	97.5	815.61	288.86	160.97	0.557	72%
17-ก.ค.-25	1:17:00 PM	46.5	55	87.9	97.7	0	0	0	0	46.5	55	87.9	97.7	824.72	292.09	161.70	0.554	73%

ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 370 ตันความเย็น (โครงการที่ 3)

Project : 3 Date : 02/08/25 - 03/08/25

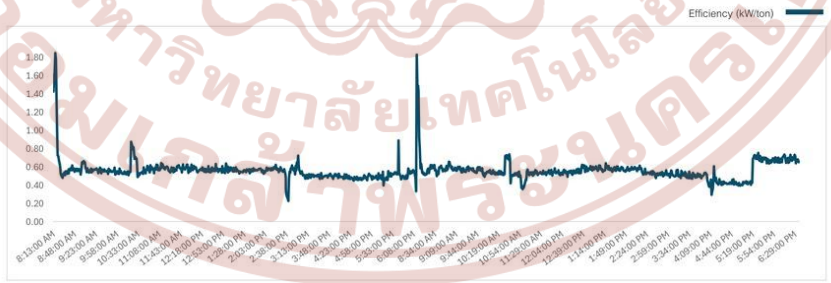
Brand : Midea Model : CCWG370EV Ser.No. : Time : 08:13 - 18:37

Type : Centrifugal Power : 380 V 50 Hz Cooling Cap : 370 Ton Measuring Duaration : : 60 Sec

	New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
	Evaporator		Condensing						
	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
Average	50.3	57.1	87.2	93.6	730.00	207.50	113.59	0.557	56%
Min	46.2	49.9	79.6	75.7	370.29	9.26	16.94	0.226	3%
Max	64.3	66.0	91.0	466.3	1090.79	358.25	159.83	1.847	91%







Date	Time	Temp				Correcrion Temp (°F)				New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing						
		Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
2-ส.ค.-25	8:13:00 AM	59.8	60.1	81.7	81	0	0	0	0	59.8	60.1	81.7	81	988.86	12.36	17.60	1.42	3%
2-ส.ค.-25	8:14:00 AM	61.5	62.1	80.9	80.3	0	0	0	0	61.5	62.1	80.9	80.3	961.89	24.05	38.72	1.61	6%
2-ส.ค.-25	8:15:00 AM	62.8	63.6	81.5	80.7	0	0	0	0	62.8	63.6	81.5	80.7	1023.77	34.13	55.44	1.62	9%
2-ส.ค.-25	8:16:00 AM	63.9	64.8	81.3	80.5	0	0	0	0	63.9	64.8	81.3	80.5	981.32	36.80	67.98	1.85	10%
2-ส.ค.-25	8:17:00 AM	64.1	65.2	83.1	79.2	0	0	0	0	64.1	65.2	83.1	79.2	1001.48	45.90	81.95	1.79	12%
2-ส.ค.-25	8:18:00 AM	64.3	66	81.7	79.8	0	0	0	0	64.3	66	81.7	79.8	1042.00	73.81	96.91	1.31	20%
2-ส.ค.-25	8:19:00 AM	63	65.8	81.1	82.2	0	0	0	0	63	65.8	81.1	82.2	1012.45	118.12	107.47	0.91	32%
2-ส.ค.-25	8:20:00 AM	61.1	65	81.1	84	0	0	0	0	61.1	65	81.1	84	996.66	161.96	117.48	0.73	44%
2-ส.ค.-25	8:21:00 AM	59.9	64.3	82.5	86.1	0	0	0	0	59.9	64.3	82.5	86.1	991.85	181.84	130.35	0.72	49%
2-ส.ค.-25	8:22:00 AM	58.9	63.6	84.2	88.4	0	0	0	0	58.9	63.6	84.2	88.4	1024.95	200.72	133.87	0.67	54%
2-ส.ค.-25	8:23:00 AM	57.9	63.1	86.3	92.4	0	0	0	0	57.9	63.1	86.3	92.4	980.78	212.50	135.85	0.64	57%
2-ส.ค.-25	8:24:00 AM	57.2	62.7	87.4	94.3	0	0	0	0	57.2	62.7	87.4	94.3	979.25	224.41	132.22	0.59	61%
2-ส.ค.-25	8:25:00 AM	56.5	62.6	87.4	95.3	0	0	0	0	56.5	62.6	87.4	95.3	1013.83	257.68	134.64	0.52	70%
2-ส.ค.-25	8:26:00 AM	55.8	62.2	87.4	95	0	0	0	0	55.8	62.2	87.4	95	975.59	260.16	131.34	0.50	70%
2-ส.ค.-25	8:27:00 AM	55.5	62	87.6	95.3	0	0	0	0	55.5	62	87.6	95.3	1000.32	270.92	132.22	0.49	73%
2-ส.ค.-25	8:28:00 AM	55.4	61.7	87.9	96.1	0	0	0	0	55.4	61.7	87.9	96.1	1042.64	273.69	131.01	0.48	74%
2-ส.ค.-25	8:29:00 AM	55	61.3	88.3	96.1	0	0	0	0	55	61.3	88.3	96.1	957.14	251.25	130.68	0.52	68%
2-ส.ค.-25	8:30:00 AM	54.5	60.8	88.7	96.6	0	0	0	0	54.5	60.8	88.7	96.6	971.78	255.09	133.43	0.52	69%
2-ส.ค.-25	8:31:00 AM	54.3	60.2	88.8	96.2	0	0	0	0	54.3	60.2	88.8	96.2	981.62	241.32	129.91	0.54	65%
2-ส.ค.-25	8:32:00 AM	53.6	59.5	88.8	96.1	0	0	0	0	53.6	59.5	88.8	96.1	1011.22	248.59	126.06	0.51	67%
2-ส.ค.-25	8:33:00 AM	53.2	59	88.8	96.1	0	0	0	0	53.2	59	88.8	96.1	960.18	232.04	127.82	0.55	63%
2-ส.ค.-25	8:34:00 AM	52.8	58.6	88.8	96	0	0	0	0	52.8	58.6	88.8	96	996.33	240.78	127.71	0.53	65%
2-ส.ค.-25	8:35:00 AM	52.3	58.2	88.8	96.1	0	0	0	0	52.3	58.2	88.8	96.1	1000.22	245.89	128.70	0.52	66%
2-ส.ค.-25	8:36:00 AM	51.9	57.7	88.8	95.9	0	0	0	0	51.9	57.7	88.8	95.9	1011.19	244.37	128.15	0.52	66%
2-ส.ค.-25	8:37:00 AM	51.8	57.2	88.5	95.4	0	0	0	0	51.8	57.2	88.5	95.4	1012.37	227.78	128.04	0.56	62%
2-ส.ค.-25	8:38:00 AM	51.2	57	88.7	95.4	0	0	0	0	51.2	57	88.7	95.4	1005.89	243.09	128.26	0.53	66%
2-ส.ค.-25	8:39:00 AM	50.9	56.4	88.5	95.1	0	0	0	0	50.9	56.4	88.5	95.1	991.89	227.31	131.34	0.58	61%
2-ส.ค.-25	8:40:00 AM	50.5	56.1	88.3	95.1	0	0	0	0	50.5	56.1	88.3	95.1	989.39	230.86	131.23	0.57	62%
2-ส.ค.-25	8:41:00 AM	50.5	55.9	88.3	95.1	0	0	0	0	50.5	55.9	88.3	95.1	1032.29	232.27	130.57	0.56	63%
2-ส.ค.-25	8:42:00 AM	50.1	55.4	87.9	94.9	0	0	0	0	50.1	55.4	87.9	94.9	1004.43	221.81	130.46	0.59	60%
2-ส.ค.-25	8:43:00 AM	49.8	55.2	87.8	94.7	0	0	0	0	49.8	55.2	87.8	94.7	1026.60	230.99	130.02	0.56	62%
2-ส.ค.-25	8:44:00 AM	49.8	55.2	87.6	94.8	0	0	0	0	49.8	55.2	87.6	94.8	946.67	213.00	130.79	0.61	58%
2-ส.ค.-25	8:45:00 AM	49.9	55.4	87.5	94.9	0	0	0	0	49.9	55.4	87.5	94.9	1010.58	231.37	130.68	0.56	63%
2-ส.ค.-25	8:46:00 AM	49.8	55.4	87.6	94.6	0	0	0	0	49.8	55.4	87.6	94.6	973.84	227.23	132.77	0.58	61%
2-ส.ค.-25	8:47:00 AM	49.6	55.2	87.6	94.6	0	0	0	0	49.6	55.2	87.6	94.6	1006.78	234.91	132.44	0.56	63%
2-ส.ค.-25	8:48:00 AM	49.4	55	87.4	94.6	0	0	0	0	49.4	55	87.4	94.6	1015.57	236.97	129.14	0.54	64%
2-ส.ค.-25	8:49:00 AM	49.4	54.8	87.4	94.6	0	0	0	0	49.4	54.8	87.4	94.6	1020.77	229.87	129.36	0.56	62%
2-ส.ค.-25	8:50:00 AM	49.1	54.5	87.4	94.6	0	0	0	0	49.1	54.5	87.4	94.6	988.66	222.49	129.03	0.58	60%
2-ส.ค.-25	8:51:00 AM	49.1	54.6	87.4	94.6	0	0	0	0	49.1	54.6	87.4	94.6	984.90	225.71	130.57	0.58	61%
2-ส.ค.-25	8:52:00 AM	49.1	54.8	87.4	94.5	0	0	0	0	49.1	54.8	87.4	94.5	1009.38	239.73	132.44	0.55	65%
2-ส.ค.-25	8:53:00 AM	49.4	54.9	87.6	94.6	0	0	0	0	49.4	54.9	87.6	94.6	1016.26	232.89	131.23	0.56	63%
2-ส.ค.-25	8:54:00 AM	49.2	54.6	87.6	94.6	0	0	0	0	49.2	54.6	87.6	94.6	997.97	224.54	129.47	0.58	61%
2-ส.ค.-25	8:55:00 AM	49.2	54.6	87.6	94.6	0	0	0	0	49.2	54.6	87.6	94.6	1020.81	229.68	127.82	0.56	62%
2-ส.ค.-25	8:56:00 AM	49.1	54.6	87.6	94.5	0	0	0	0	49.1	54.6	87.6	94.5	1005.90	230.52	132.22	0.57	62%
2-ส.ค.-25	8:57:00 AM	49.2	54.8	87.8	94.6	0	0	0	0	49.2	54.8	87.8	94.6	1003.76	234.21	129.80	0.55	63%
2-ส.ค.-25	8:58:00 AM	49.4	55.2	87.8	94.6	0	0	0	0	49.4	55.2	87.8	94.6	1063.94	257.12	132.44	0.52	69%
2-ส.ค.-25	8:59:00 AM	50.1	55.9	87.8	94.8	0	0	0	0	50.1	55.9	87.8	94.8	1013.26	244.59	137.83	0.56	66%
2-ส.ค.-25	9:00:00 AM	50.5	55.9	87.8	94.4	0	0	0	0	50.5	55.9	87.8	94.4	982.76	221.32	143.55	0.65	60%
2-ส.ค.-25	9:01:00 AM	50.3	56.1	87.8	94.8	0	0	0	0	50.3	56.1	87.8	94.8	972.26	234.96	148.83	0.63	64%
2-ส.ค.-25	9:02:00 AM	50.7	56.4	87.8	94.8	0	0	0	0	50.7	56.4	87.8	94.8	999.11	237.29	156.20	0.66	64%
2-ส.ค.-25	9:03:00 AM	50.7	56.4	87.8	95	0	0	0	0	50.7	56.4	87.8	95	1006.74	239.10	158.62	0.66	65%
2-ส.ค.-25	9:04:00 AM	50.5	56.4	87.9	95.5	0	0	0	0	50.5	56.4	87.9	95.5	992.21	241.46	158.51	0.66	65%
2-ส.ค.-25	9:05:00 AM	50.5	56.6	88.2	95.9	0	0	0	0	50.5	56.6	88.2	95.9	974.60	247.66	159.61	0.64	67%
2-ส.ค.-25	9:06:00 AM	50.3	56.6	88.3	96.2	0	0	0	0	50.3	56.6	88.3	96.2	1029.06	270.13	157.74	0.58	73%
2-ส.ค.-25	9:07:00 AM	50.1	56.6	88.3	96.6	0	0	0	0	50.1	56.6	88.3	96.6	1008.11	273.03	159.39	0.58	74%
2-ส.ค.-25	9:08:00 AM	50.1	56.8	88.3	96.8	0	0	0	0	50.1	56.8	88.3	96.8	1043.41	292.68	158.29	0.54	79%
2-ส.ค.-25	9:09:00 AM	50.7	57.3	88.5	96.9	0	0	0	0	50.7	57.3	88.5	96.9	961.72	269.97	157.74	0.58	73%
2-ส.ค.-25	9:10:00 AM	50.8	57.5	88.5	97.1	0	0	0	0	50.8	57.5	88.5	97.1	999.33	278.98	156.62	0.56	75%
2-ส.ค.-25	9:11:00 AM	50.8	57.5	88.7	97.3	0	0	0	0	50.8	57.5	88.7	97.3	1006.79	281.06	158.07	0.56	76%
2-ส.ค.-25	9:12:00 AM	50.9	57.7	89	97.6	0	0	0	0	50.9	57.7	89	97.6	1036.31	293.62	157.30	0.54	79%
2-ส.ค.-25	9:13:00 AM	51	57.7	89	97.7	0	0	0	0	51	57.7	89	97.7	1000.24	279.23	156.20	0.56	75%
2-ส.ค.-25	9:14:00 AM	51	57.7	89	97.6	0	0	0	0	51	57.7	89	97.6	1021.88	285.27	156.42	0.55	77%
2-ส.ค.-25	9:15:00 AM	51	57.7	89.1	97.6	0	0	0	0	51	57.7	89.1	97.6	962.69	268.75	156.42	0.58	73%
2-ส.ค.-25	9:16:00 AM	51	57.7	89.2	97.7	0	0	0	0	51	57.7	89.2	97.7	1043.02	291.18	156.53	0.54	79%
2-ส.ค.-25	9:17:00 AM	51	57.7	89.1	97.7	0	0	0	0	51	57.7	89.1	97.7	982.30	274.22	156.75	0.57	74%
2-ส.ค.-25	9:18:00 AM	51	57.7	89.2	97.7	0	0	0	0	51	57.7	89.2	97.7	1021.66	285.21	157.30	0.55	77%
2-ส.ค.-25	9:19:00 AM	51.1	57.7	89.2	97.7	0	0	0	0	51.1	57.7	89.2	97.7	1004.90	276.35	157.52	0.57	75%
2-ส.ค.-25	9:20:00 AM	51.1	57.7	89.4	97.7	0	0	0	0	51.1	57.7	89.4	97.7	1011.70	278.22	158.18	0.57	75%
2-ส.ค.-25	9:21:00 AM	51.3	57.9	89.6	97.9	0	0	0	0	51.3	57.9	89.6	97.9	1005.62	276.55	157.96	0.57	75%
2-ส.ค.-25	9:22:00 AM	51.4	57.9	89.6	97.9	0	0	0	0	51.4	57.9	89.6	97.9	1036.65	280.76	159.28	0.57	76%
2-ส.ค.-25	9:23:00 AM	51.3	58	89.6	98	0	0	0	0	51.3	58	89.6	98	985.19	275.03	157.96	0.57	74%
2-ส.ค.-25	9:24:00 AM	51.4	58.1	89.6	98	0	0	0	0	51.4	58.1	89.6	98	971.69	271.26	158.07	0.58	73%
2-ส.ค.-25	9:25:00 AM	51.3	58	89.6	98.1	0	0	0	0	51.3	58	89.6	98.1	986.74	275.47	156.31	0.57	74%
2-ส.ค.-25	9:26:00 AM	51.4	57.9	89.6	98	0	0	0	0	51.4	57.9	89.6	98	1016.34	275.26	157.08	0.57	74%
2-ส.ค.-25	9:27:00 AM	51.3	58	89.6	98.2	0	0	0	0	51.3	58	89.6	98.2	1052.71	293.88	155.32	0.53	79%
2-ส.ค.-25	9:28:00 AM	51.4	58.1	89.6	98.2	0	0	0	0	51.4	58.1	89.6	98.2	1043.60	291.34	157.41	0.54	79%
2-ส.ค.-25	9:29:00 AM	51.5	58.1	89.6	98.1	0	0	0	0	51.5	58.1	89.6	98.1	1005.73	276.58	156.31	0.57	75%
2-ส.ค.-25	9:30:00 AM	51.8	58.2	89.6	98.2	0	0	0	0	51.8	58.2	89.6	98.2	1000.39	266.77	157.96	0.59	72%
2-ส.ค.-25	9:31:00 AM	51.8	58.3	89.6	98.2	0	0	0	0	51.8	58.3	89.6	98.2	991.93	268.65	155.65	0.58	73%
2-ส.ค.-25	9:32:00 AM	51.8	58.4	89.6	98.2	0	0	0	0	51.8	58.4	89.6	98.2	1056.09	290.42	153.45	0.53	78%
2-ส.ค.-25	9:33:00 AM	51.8	58.4	89.6	98.2	0	0	0	0	51.8	58.4	89.6	98.2	988.96	271.96	155.54	0.57	74%
2-ส.ค.-25	9:34:00 AM	51.8	58.4	89.6	98.2	0	0	0	0	51.8	58.4	89.6	98.2	1029.35	283.07	155.10	0.55	77%
2-ส.ค.-25	9:35:00 AM	51.9	58.6	89.7	98.4	0	0	0	0	51.9	58.6	89.7	98.4	1025.60	286.31	158.51	0.55	77%
2-ส.ค.-25	9:36:00 AM	51.9	58.6	89.7	98.4	0	0	0	0	51.9	58.6	89.7	98.4	1022.09	285.33	156.53	0.55	77%
2-ส.ค.-25	9:37:00 AM	52.1	58.6	89.7	98.1	0	0	0	0	52.1	58.6	89.7	98.1	1023.98	277.33	158.62	0.57	75%

ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 300 ตันความเย็น (โครงการที่ 4)

Project : 4 Date : 04/09/25 - 05/09/25

Brand : Midea Model : CCWG300EV Ser.No. : Time : 09:57 - 14:58

Type : Centrifugal Power : 380 V 50 Hz Cooling Cap : 300 Ton Measuring Duaration : : 60 Sec

	New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
	Evaporator		Condensing						
	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
Average	54.9	61.0	92.7	102.8	700.95	178.77	116.71	0.702	60%
Min	50.3	56.3	86.2	86.0	633.70	2.94	0.00	0.000	1%
Max	68.2	68.3	95.5	111.1	776.07	257.25	145.42	10.848	79%



Date	Time	Temp				Correcrion Temp (°F)				New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing						
		Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
4-n.ย.-25	9:57:00 AM	57.3	65.1	93.7	104.9	0	0	0	0	57.3	65.1	93.7	104.9	730.01	237.25	133.87	0.564	79%
4-n.ย.-25	9:58:00 AM	57.3	64.9	93.7	105	0	0	0	0	57.3	64.9	93.7	105	722.48	228.79	133.43	0.583	76%
4-n.ย.-25	9:59:00 AM	57	64.5	93.5	104.9	0	0	0	0	57	64.5	93.5	104.9	687.88	214.96	135.74	0.631	72%
4-n.ย.-25	10:00:00 AM	56.9	64.5	93.5	104.9	0	0	0	0	56.9	64.5	93.5	104.9	737.28	233.47	137.50	0.589	78%
4-n.ย.-25	10:01:00 AM	56.8	64.4	93.5	104.7	0	0	0	0	56.8	64.4	93.5	104.7	710.21	224.90	135.30	0.602	75%
4-n.ย.-25	10:02:00 AM	56.6	64.2	93.4	104.9	0	0	0	0	56.6	64.2	93.4	104.9	668.68	211.75	133.65	0.631	71%
4-n.ย.-25	10:03:00 AM	56.6	64	93.5	104.9	0	0	0	0	56.6	64	93.5	104.9	735.76	226.86	134.31	0.592	76%
4-n.ย.-25	10:04:00 AM	56.5	63.8	93.2	104.9	0	0	0	0	56.5	63.8	93.2	104.9	683.65	207.94	134.31	0.646	69%
4-n.ย.-25	10:05:00 AM	56.4	63.8	93.3	104.7	0	0	0	0	56.4	63.8	93.3	104.7	677.93	209.03	134.53	0.644	70%
4-n.ย.-25	10:06:00 AM	56.3	63.6	93.2	104.5	0	0	0	0	56.3	63.6	93.2	104.5	706.21	214.80	134.31	0.625	72%
4-n.ย.-25	10:07:00 AM	56.1	63.5	93.3	104.7	0	0	0	0	56.1	63.5	93.3	104.7	688.49	212.28	133.10	0.627	71%
4-n.ย.-25	10:08:00 AM	55.9	63.5	93.3	104.8	0	0	0	0	55.9	63.5	93.3	104.8	707.80	224.14	134.42	0.600	75%
4-n.ย.-25	10:09:00 AM	55.9	63.3	93.3	104.7	0	0	0	0	55.9	63.3	93.3	104.7	705.65	217.58	135.74	0.624	73%
4-n.ย.-25	10:10:00 AM	55.9	63.3	93.4	104.5	0	0	0	0	55.9	63.3	93.4	104.5	676.70	208.65	134.31	0.644	70%
4-n.ย.-25	10:11:00 AM	55.7	63.1	93.2	104.5	0	0	0	0	55.7	63.1	93.2	104.5	679.77	209.65	133.76	0.638	70%
4-n.ย.-25	10:12:00 AM	55.5	62.9	93.4	104.7	0	0	0	0	55.5	62.9	93.4	104.7	713.94	220.13	132.44	0.602	73%
4-n.ย.-25	10:13:00 AM	55.5	62.9	93.8	104.7	0	0	0	0	55.5	62.9	93.8	104.7	738.76	227.78	135.96	0.597	76%
4-n.ย.-25	10:14:00 AM	55.5	62.6	94.2	104.9	0	0	0	0	55.5	62.6	94.2	104.9	641.98	195.84	136.18	0.695	65%
4-n.ย.-25	10:15:00 AM	55.4	62.6	94.2	105	0	0	0	0	55.4	62.6	94.2	105	709.36	212.81	134.64	0.633	71%
4-n.ย.-25	10:16:00 AM	55.4	62.6	93.7	104.9	0	0	0	0	55.4	62.6	93.7	104.9	704.04	211.21	133.32	0.631	70%
4-n.ย.-25	10:17:00 AM	55.2	62.4	93.5	104.9	0	0	0	0	55.2	62.4	93.5	104.9	672.29	201.69	136.51	0.677	67%
4-n.ย.-25	10:18:00 AM	55.2	62.2	93.5	104.9	0	0	0	0	55.2	62.2	93.5	104.9	723.69	211.02	136.62	0.647	70%
4-n.ย.-25	10:19:00 AM	54.8	62.2	93.3	104.8	0	0	0	0	54.8	62.2	93.3	104.8	716.78	221.01	137.83	0.624	74%
4-n.ย.-25	10:20:00 AM	55	62.3	93.3	104.9	0	0	0	0	55	62.3	93.3	104.9	714.79	217.42	135.08	0.621	72%
4-n.ย.-25	10:21:00 AM	54.9	62.2	93.3	104.9	0	0	0	0	54.9	62.2	93.3	104.9	666.68	206.87	134.53	0.644	70%
4-n.ย.-25	10:22:00 AM	54.8	62	93.3	104.7	0	0	0	0	54.8	62	93.3	104.7	679.99	204.00	135.30	0.663	68%
4-n.ย.-25	10:23:00 AM	54.8	62	93.3	104.5	0	0	0	0	54.8	62	93.3	104.5	666.04	199.81	135.52	0.678	67%
4-n.ย.-25	10:24:00 AM	54.6	61.8	93.2	104.5	0	0	0	0	54.6	61.8	93.2	104.5	685.68	205.70	134.97	0.656	69%
4-n.ย.-25	10:25:00 AM	54.6	61.7	93.3	104.5	0	0	0	0	54.6	61.7	93.3	104.5	662.62	195.97	137.39	0.701	65%
4-n.ย.-25	10:26:00 AM	54.6	61.7	93.2	104.3	0	0	0	0	54.6	61.7	93.2	104.3	715.61	211.70	137.83	0.651	71%
4-n.ย.-25	10:27:00 AM	54.6	61.8	93.3	104.7	0	0	0	0	54.6	61.8	93.3	104.7	714.02	214.21	136.29	0.636	71%
4-n.ย.-25	10:28:00 AM	54.6	61.8	93.3	104.8	0	0	0	0	54.6	61.8	93.3	104.8	653.51	196.05	133.76	0.682	65%
4-n.ย.-25	10:29:00 AM	54.6	61.8	93.3	104.7	0	0	0	0	54.6	61.8	93.3	104.7	733.52	220.05	133.65	0.607	73%
4-n.ย.-25	10:30:00 AM	54.6	61.8	93.3	104.6	0	0	0	0	54.6	61.8	93.3	104.6	659.86	197.96	133.43	0.674	66%
4-n.ย.-25	10:31:00 AM	54.6	61.8	93.2	104.5	0	0	0	0	54.6	61.8	93.2	104.5	732.05	219.61	133.10	0.606	73%
4-n.ย.-25	10:32:00 AM	54.6	61.7	93.2	104.7	0	0	0	0	54.6	61.7	93.2	104.7	693.83	205.26	132.99	0.648	68%
4-n.ย.-25	10:33:00 AM	54.6	61.7	93.2	104.5	0	0	0	0	54.6	61.7	93.2	104.5	724.98	214.47	133.87	0.624	71%
4-n.ย.-25	10:34:00 AM	54.6	61.7	93.3	104.6	0	0	0	0	54.6	61.7	93.3	104.6	688.35	203.64	137.72	0.676	68%
4-n.ย.-25	10:35:00 AM	54.6	61.7	93.5	104.8	0	0	0	0	54.6	61.7	93.5	104.8	686.02	202.95	136.18	0.671	68%
4-n.ย.-25	10:36:00 AM	54.6	61.7	93.7	104.3	0	0	0	0	54.6	61.7	93.7	104.3	700.94	207.36	135.74	0.655	69%
4-n.ย.-25	10:37:00 AM	54.6	61.7	93.9	104.5	0	0	0	0	54.6	61.7	93.9	104.5	708.41	209.57	135.85	0.648	70%
4-n.ย.-25	10:38:00 AM	54.6	61.7	93.5	104.5	0	0	0	0	54.6	61.7	93.5	104.5	721.57	213.46	135.19	0.633	71%
4-n.ย.-25	10:39:00 AM	54.6	61.7	93.5	104.5	0	0	0	0	54.6	61.7	93.5	104.5	685.62	202.77	133.65	0.659	68%
4-n.ย.-25	10:40:00 AM	54.5	61.7	93.5	104.5	0	0	0	0	54.5	61.7	93.5	104.5	712.70	213.81	133.98	0.627	71%
4-n.ย.-25	10:41:00 AM	54.5	61.7	93.5	104.5	0	0	0	0	54.5	61.7	93.5	104.5	728.10	218.43	133.10	0.609	73%
4-n.ย.-25	10:42:00 AM	54.5	61.6	93.5	104.5	0	0	0	0	54.5	61.6	93.5	104.5	691.70	206.63	131.78	0.644	68%
4-n.ย.-25	10:43:00 AM	54.5	61.5	93.7	104.5	0	0	0	0	54.5	61.5	93.7	104.5	666.85	194.50	134.64	0.692	65%
4-n.ย.-25	10:44:00 AM	54.5	61.5	93.7	104.5	0	0	0	0	54.5	61.5	93.7	104.5	731.92	213.48	133.65	0.626	71%
4-n.ย.-25	10:45:00 AM	54.4	61.5	93.5	104.3	0	0	0	0	54.4	61.5	93.5	104.3	747.79	221.22	133.98	0.606	74%
4-n.ย.-25	10:46:00 AM	54.5	61.3	93.5	104.3	0	0	0	0	54.5	61.3	93.5	104.3	707.51	200.46	133.65	0.667	67%
4-n.ย.-25	10:47:00 AM	54.5	61.5	93.7	104.7	0	0	0	0	54.5	61.5	93.7	104.7	661.61	192.97	132.77	0.688	64%
4-n.ย.-25	10:48:00 AM	54.5	61.5	93.5	104.7	0	0	0	0	54.5	61.5	93.5	104.7	706.00	205.92	133.54	0.649	69%
4-n.ย.-25	10:49:00 AM	54.5	61.5	93.5	104.5	0	0	0	0	54.5	61.5	93.5	104.5	678.65	197.93	133.76	0.676	66%
4-n.ย.-25	10:50:00 AM	54.5	61.5	93.6	104.3	0	0	0	0	54.5	61.5	93.6	104.3	728.60	212.45	132.99	0.626	71%
4-n.ย.-25	10:51:00 AM	54.5	61.4	93.7	104.5	0	0	0	0	54.5	61.4	93.7	104.5	729.33	209.68	132.00	0.630	70%
4-n.ย.-25	10:52:00 AM	54.3	61.3	93.7	104.5	0	0	0	0	54.3	61.3	93.7	104.5	720.03	210.01	133.21	0.634	70%
4-n.ย.-25	10:53:00 AM	54.3	61.3	93.7	104.5	0	0	0	0	54.3	61.3	93.7	104.5	705.80	205.86	134.97	0.656	69%
4-n.ย.-25	10:54:00 AM	54.5	61.3	93.7	104.3	0	0	0	0	54.5	61.3	93.7	104.3	689.69	195.41	133.98	0.686	65%
4-n.ย.-25	10:55:00 AM	54.5	61.1	93.5	104.1	0	0	0	0	54.5	61.1	93.5	104.1	670.90	184.50	132.44	0.718	61%
4-n.ย.-25	10:56:00 AM	54.3	61.1	93.7	104.3	0	0	0	0	54.3	61.1	93.7	104.3	714.47	203.00	132.66	0.654	68%
4-n.ย.-25	10:57:00 AM	54.3	61.3	93.7	104.6	0	0	0	0	54.3	61.3	93.7	104.6	722.87	210.84	133.43	0.633	70%
4-n.ย.-25	10:58:00 AM	54.3	61.3	93.7	104.5	0	0	0	0	54.3	61.3	93.7	104.5	695.19	202.76	134.20	0.662	68%
4-n.ย.-25	10:59:00 AM	54.3	61.3	93.7	104.5	0	0	0	0	54.3	61.3	93.7	104.5	693.11	202.16	132.88	0.657	67%
4-n.ย.-25	11:00:00 AM	54.3	61.3	93.6	104.7	0	0	0	0	54.3	61.3	93.6	104.7	690.79	201.48	128.37	0.637	67%
4-n.ย.-25	11:01:00 AM	54.3	61.2	93.7	104.5	0	0	0	0	54.3	61.2	93.7	104.5	716.79	206.08	129.14	0.627	69%
4-n.ย.-25	11:02:00 AM	54.2	61.1	93.7	104.5	0	0	0	0	54.2	61.1	93.7	104.5	668.13	192.09	133.32	0.694	64%
4-n.ย.-25	11:03:00 AM	54.2	61.1	93.7	104.5	0	0	0	0	54.2	61.1	93.7	104.5	728.95	209.57	134.42	0.641	70%
4-n.ย.-25	11:04:00 AM	54.1	61.1	93.9	104.7	0	0	0	0	54.1	61.1	93.9	104.7	670.88	195.67	132.77	0.679	65%
4-n.ย.-25	11:05:00 AM	54.1	61.1	94.1	104.7	0	0	0	0	54.1	61.1	94.1	104.7	655.39	191.16	133.54	0.699	64%
4-n.ย.-25	11:06:00 AM	54.2	61.1	94.1	104.7	0	0	0	0	54.2	61.1	94.1	104.7	677.28	194.72	135.08	0.694	65%
4-n.ย.-25	11:07:00 AM	54.3	61.1	94.1	104.6	0	0	0	0	54.3	61.1	94.1	104.6	708.17	200.65	134.20	0.669	67%
4-n.ย.-25	11:08:00 AM	54.3	61.1	94	104.5	0	0	0	0	54.3	61.1	94	104.5	678.91	192.36	134.31	0.698	64%
4-n.ย.-25	11:09:00 AM	54.3	61.1	94	104.5	0	0	0	0	54.3	61.1	94	104.5	674.99	191.25	133.98	0.701	64%
4-n.ย.-25	11:10:00 AM	54.1	60.9	94	104.6	0	0	0	0	54.1	60.9	94	104.6	752.89	213.32	134.31	0.630	71%
4-n.ย.-25	11:11:00 AM	54.1	60.9	94.2	104.7	0	0	0	0	54.1	60.9	94.2	104.7	735.89	208.50	134.20	0.644	70%
4-n.ย.-25	11:12:00 AM	54.1	60.9	93.9	104.8	0	0	0	0	54.1	60.9	93.9	104.8	696.21	197.26	133.54	0.677	66%
4-n.ย.-25	11:13:00 AM	53.9	60.9	93.9	104.7	0	0	0	0	53.9	60.9	93.9	104.7	672.73	196.21	132.11	0.673	65%
4-n.ย.-25	11:14:00 AM	53.9	60.9	93.9	104.7	0	0	0	0	53.9	60.9	93.9	104.7	679.33	198.14	131.89	0.666	66%
4-n.ย.-25	11:15:00 AM	53.9	60.9	93.9	104.7	0	0	0	0	53.9	60.9	93.9	104.7	691.62	201.72	132.77	0.658	67%
4-n.ย.-25	11:16:00 AM	53.9	60.9	93.8	104.7	0	0	0	0	53.9	60.9	93.8	104.7	715.14	208.58	133.65	0.641	70%
4-n.ย.-25	11:17:00 AM	53.9	60.9	93.9	104.7	0	0	0	0	53.9	60.9	93.9	104.7	694.37	202.53	133.87	0.661	68%
4-n.ย.-25	11:18:00 AM	53.9	60.9	93.9	104.6	0	0	0	0	53.9	60.9	93.9	104.6	676.85	197.41	133.87	0.678	66%
4-n.ย.-25	11:19:00 AM	53.9	60.8	93.9	104.7	0	0	0	0	53.9	60.8	93.9	104.7	682.96	196.35	135.08	0.688	65%
4-n.ย.-25	11:20:00 AM	53.9	60.8	93.9	104.7	0	0	0	0	53.9	60.8	93.9	104.7	749.69	215.54	133.43	0.619	72%
4-n.ย.-25	11:21:00 AM	53.9	60.8	93.9	104.6	0	0	0	0	53.9	60.8	93.9	104.6	743.29	213.70	134.64	0.630	71%

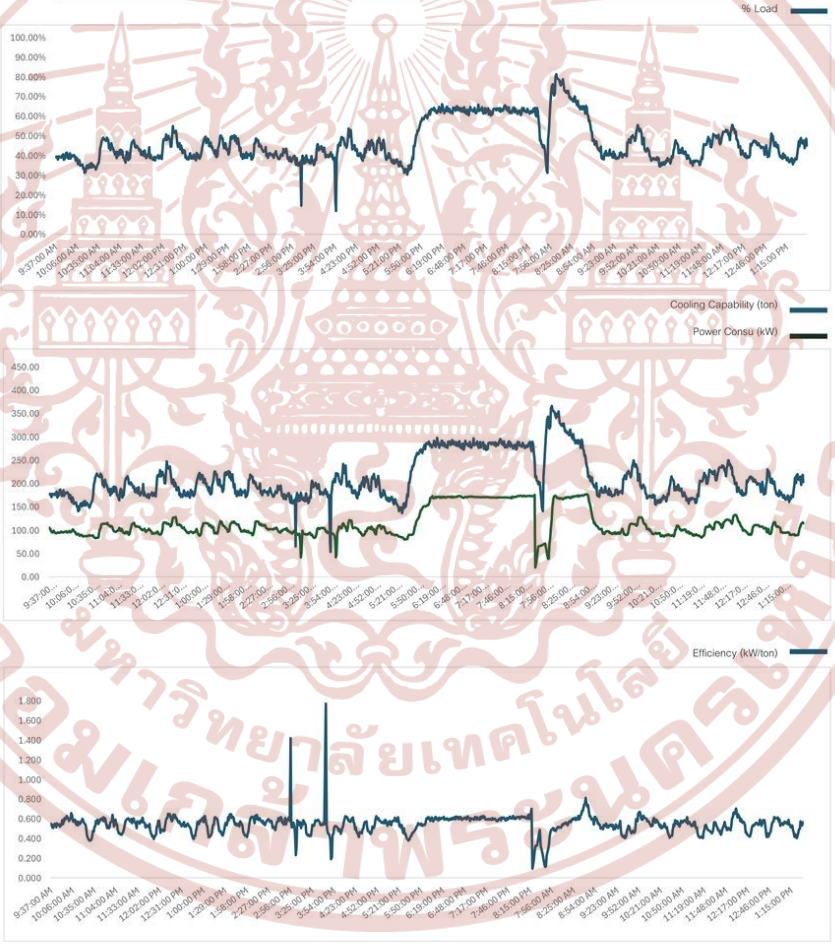
ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 450 ตันความเย็น (โครงการที่ 5)

Project : 5 Date : 08/08/25-09/08/25

Brand : Midea Model : CCWG450EV Ser.No. : Time : 09:37 - 13:45

Type : Centrifugal Power : 380 V 50 Hz Cooling Cap : 450 Ton Measuring Duaration : : 60 Sec

	New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
	Evaporator		Condensing						
	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
Average	46.4	51.9	83.5	91.2	912.09	211.45	114.07	0.543	47%
Min	44.9	49.1	79.3	84.2	873.51	53.61	20.20	0.094	12%
Max	68.1	73.6	86.9	98.4	954.81	366.20	176.80	1.770	81%



Date	Time	Temp				Correcrion Temp (°F)				New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing						
		Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
8-ส.ค.-25	9:37:00 AM	44.6	50.2	83.8	89.4	1	0	0	0	45.6	50.2	83.8	89.4	921.46	176.61	105.50	0.597	39%
8-ส.ค.-25	9:38:00 AM	44.8	50.4	84	89.6	1	0	0	0	45.8	50.4	84	89.6	928.11	177.89	103.10	0.580	40%
8-ส.ค.-25	9:39:00 AM	44.8	50.4	84.2	89.8	1	0	0	0	45.8	50.4	84.2	89.8	919.28	176.20	99.80	0.566	39%
8-ส.ค.-25	9:40:00 AM	44.6	50.2	84	89.8	1	0	0	0	45.6	50.2	84	89.8	891.61	170.89	96.70	0.566	38%
8-ส.ค.-25	9:41:00 AM	44.6	50.2	84	89.8	1	0	0	0	45.6	50.2	84	89.8	929.81	178.21	95.00	0.533	40%
8-ส.ค.-25	9:42:00 AM	44.8	50.4	84.2	89.8	1	0	0	0	45.8	50.4	84.2	89.8	924.45	177.19	95.50	0.539	39%
8-ส.ค.-25	9:43:00 AM	44.6	50.2	84.2	90	1	0	0	0	45.6	50.2	84.2	90	926.08	177.50	98.90	0.557	39%
8-ส.ค.-25	9:44:00 AM	44.4	50	84.2	90	1	0	0	0	45.4	50	84.2	90	915.82	175.53	95.30	0.543	39%
8-ส.ค.-25	9:45:00 AM	44.2	49.8	84.2	90	1	0	0	0	45.2	49.8	84.2	90	931.81	178.60	94.20	0.527	40%
8-ส.ค.-25	9:46:00 AM	44.4	50.2	84	89.8	1	0	0	0	45.4	50.2	84	89.8	901.20	180.24	93.50	0.519	40%
8-ส.ค.-25	9:47:00 AM	44.6	50.4	84.2	90	1	0	0	0	45.6	50.4	84.2	90	914.07	182.81	94.50	0.517	41%
8-ส.ค.-25	9:48:00 AM	44.6	50.2	84.4	90	1	0	0	0	45.6	50.2	84.4	90	888.90	170.37	94.50	0.555	38%
8-ส.ค.-25	9:49:00 AM	44.4	50	84.4	90	1	0	0	0	45.4	50	84.4	90	904.39	173.44	95.40	0.550	39%
8-ส.ค.-25	9:50:00 AM	44.4	50	84	89.8	1	0	0	0	45.4	50	84	89.8	914.93	175.36	94.40	0.538	39%
8-ส.ค.-25	9:51:00 AM	44.4	50.2	83.8	89.6	1	0	0	0	45.4	50.2	83.8	89.6	929.61	185.92	94.70	0.509	41%
8-ส.ค.-25	9:52:00 AM	44.2	50.2	83.8	89.8	1	0	0	0	45.2	50.2	83.8	89.8	896.64	186.80	94.70	0.507	42%
8-ส.ค.-25	9:53:00 AM	44.2	49.8	84	89.8	1	0	0	0	45.2	49.8	84	89.8	928.75	178.01	96.90	0.544	40%
8-ส.ค.-25	9:54:00 AM	44.2	49.8	84.2	89.8	1	0	0	0	45.2	49.8	84.2	89.8	905.74	173.60	95.50	0.550	39%
8-ส.ค.-25	9:55:00 AM	44.2	49.8	84	89.8	1	0	0	0	45.2	49.8	84	89.8	906.13	173.67	95.60	0.550	39%
8-ส.ค.-25	9:56:00 AM	44.2	50	84.2	90	1	0	0	0	45.2	50	84.2	90	927.63	185.53	95.30	0.514	41%
8-ส.ค.-25	9:57:00 AM	44.6	50.2	84.8	90.1	1	0	0	0	45.6	50.2	84.8	90.1	904.28	173.32	96.00	0.554	39%
8-ส.ค.-25	9:58:00 AM	44.4	50.2	84.4	90.1	1	0	0	0	45.6	50.2	84.4	90.1	899.83	179.97	96.40	0.536	40%
8-ส.ค.-25	9:59:00 AM	44.6	50	84.4	90.1	1	0	0	0	45.4	50	84.8	90.1	940.55	180.27	97.30	0.540	40%
8-ส.ค.-25	10:00:00 AM	44.2	50	84.2	90	1	0	0	0	45.2	50	84.2	90	892.60	178.52	97.50	0.546	40%
8-ส.ค.-25	10:01:00 AM	44.1	50	84.2	90.1	1	0	0	0	45.1	50	84.2	90.1	889.02	181.57	94.60	0.521	40%
8-ส.ค.-25	10:02:00 AM	44.1	49.8	84.4	90.3	1	0	0	0	45.1	49.8	84.4	90.2	923.69	180.89	96.00	0.531	40%
8-ส.ค.-25	10:03:00 AM	43.9	49.6	84.4	90.1	1	0	0	0	44.9	49.6	84.4	90.1	905.65	177.24	96.30	0.543	39%
8-ส.ค.-25	10:04:00 AM	44.1	49.5	84.2	89.8	1	0	0	0	45.1	49.5	84.2	89.8	917.32	168.23	98.70	0.587	37%
8-ส.ค.-25	10:05:00 AM	44.2	49.8	84	89.8	1	0	0	0	45.2	49.8	84	89.8	917.19	175.80	95.90	0.546	39%
8-ส.ค.-25	10:06:00 AM	44.6	50	84.2	89.6	1	0	0	0	45.6	50	84.2	89.6	931.02	170.93	95.80	0.561	38%
8-ส.ค.-25	10:07:00 AM	44.4	49.8	84.4	89.8	1	0	0	0	45.6	49.8	84.4	89.8	917.20	160.51	97.50	0.607	36%
8-ส.ค.-25	10:08:00 AM	44.2	49.6	84.4	89.8	1	0	0	0	45.2	49.6	84.4	89.8	930.35	170.56	100.50	0.589	38%
8-ส.ค.-25	10:09:00 AM	44.2	49.6	84.2	89.8	1	0	0	0	45.2	49.6	84.2	89.8	915.44	167.83	101.80	0.607	37%
8-ส.ค.-25	10:10:00 AM	44.4	49.8	84	89.4	1	0	0	0	45.6	49.8	84	89.4	896.53	156.89	98.60	0.628	35%
8-ส.ค.-25	10:11:00 AM	44.6	49.6	84	89.4	1	0	0	0	45.6	49.6	84	89.4	946.33	157.72	96.80	0.614	35%
8-ส.ค.-25	10:12:00 AM	44.2	49.5	84.2	89.8	1	0	0	0	45.2	49.5	84.2	89.8	886.95	158.91	95.80	0.603	35%
8-ส.ค.-25	10:13:00 AM	44.2	49.3	84.4	89.6	1	0	0	0	45.2	49.3	84.4	89.6	933.29	159.44	92.00	0.577	35%
8-ส.ค.-25	10:14:00 AM	44.6	49.5	84.2	89.4	1	0	0	0	45.6	49.5	84.2	89.4	926.69	150.59	90.40	0.600	33%
8-ส.ค.-25	10:15:00 AM	44.8	49.8	84.2	89.2	1	0	0	0	45.8	49.8	84.2	89.2	913.13	152.19	91.30	0.600	34%
8-ส.ค.-25	10:16:00 AM	45	49.8	84.2	89.4	1	0	0	0	46	49.8	84.2	89.4	889.30	140.81	92.60	0.658	31%
8-ส.ค.-25	10:17:00 AM	44.8	49.6	84.2	89.4	1	0	0	0	45.8	49.6	84.2	89.4	898.79	142.31	90.40	0.635	32%
8-ส.ค.-25	10:18:00 AM	44.4	49.5	84.2	89.2	1	0	0	0	45.4	49.5	84.2	89.2	878.38	150.06	87.60	0.584	33%
8-ส.ค.-25	10:19:00 AM	44.4	49.5	84	89.2	1	0	0	0	45.4	49.5	84	89.2	918.79	156.96	89.70	0.571	35%
8-ส.ค.-25	10:20:00 AM	44.4	49.5	84.2	89.2	1	0	0	0	45.4	49.5	84.2	89.2	924.97	158.02	90.10	0.570	35%
8-ส.ค.-25	10:21:00 AM	44.4	49.5	84	89.2	1	0	0	0	45.4	49.5	84	89.2	883.24	150.89	89.20	0.591	34%
8-ส.ค.-25	10:22:00 AM	44.2	49.3	84	89.1	1	0	0	0	45.2	49.3	84	89.1	913.39	156.04	86.60	0.555	35%
8-ส.ค.-25	10:23:00 AM	44.2	49.5	84	89.2	1	0	0	0	45.2	49.5	84	89.2	897.69	160.84	86.70	0.539	36%
8-ส.ค.-25	10:24:00 AM	44.6	49.6	84	89.2	1	0	0	0	45.6	49.6	84	89.2	917.89	152.98	87.30	0.571	34%
8-ส.ค.-25	10:25:00 AM	44.4	49.6	83.8	89.1	1	0	0	0	45.4	49.6	83.8	89.1	930.95	162.92	87.20	0.535	36%
8-ส.ค.-25	10:26:00 AM	44.4	49.6	83.7	88.9	1	0	0	0	45.4	49.6	83.7	88.9	874.68	153.07	87.20	0.570	34%
8-ส.ค.-25	10:27:00 AM	44.4	49.6	83.7	88.9	1	0	0	0	45.4	49.6	83.7	88.9	910.44	159.33	87.20	0.547	35%
8-ส.ค.-25	10:28:00 AM	44.4	49.5	83.8	89.1	1	0	0	0	45.4	49.5	83.8	89.1	925.11	158.04	87.20	0.552	35%
8-ส.ค.-25	10:29:00 AM	44.2	49.3	83.7	88.9	1	0	0	0	45.2	49.3	83.7	88.9	906.80	154.91	87.50	0.565	34%
8-ส.ค.-25	10:30:00 AM	44.2	49.3	82.8	88	1	0	0	0	45.2	49.3	82.8	88	896.34	153.13	88.80	0.580	34%
8-ส.ค.-25	10:31:00 AM	44.6	49.6	82.6	87.6	1	0	0	0	45.6	49.6	82.6	87.6	889.23	148.20	89.10	0.601	33%
8-ส.ค.-25	10:32:00 AM	44.8	49.8	81.9	87.1	1	0	0	0	45.8	49.8	81.9	87.1	910.94	151.82	88.30	0.582	34%
8-ส.ค.-25	10:33:00 AM	44.6	49.8	81.9	87.1	1	0	0	0	45.6	49.8	81.9	87.1	903.97	158.19	88.40	0.559	35%
8-ส.ค.-25	10:34:00 AM	44.6	49.8	81.9	87.1	1	0	0	0	45.6	49.8	81.9	87.1	920.14	161.02	88.40	0.549	36%
8-ส.ค.-25	10:35:00 AM	45.1	50.4	82	87.1	1	0	0	0	46.1	50.4	82	87.1	917.63	164.41	88.50	0.538	37%
8-ส.ค.-25	10:36:00 AM	45.3	50.9	82	87.6	1	0	0	0	46.3	50.9	82	87.6	919.35	176.32	88.30	0.501	39%
8-ส.ค.-25	10:37:00 AM	45.1	51.3	82	88.2	1	0	0	0	46.1	51.3	82	88.2	907.44	196.61	84.80	0.431	44%
8-ส.ค.-25	10:38:00 AM	45.1	51.4	82.4	88.9	1	0	0	0	46.1	51.4	82.4	88.9	925.71	204.43	83.60	0.409	45%
8-ส.ค.-25	10:39:00 AM	44.8	51.4	82.6	89.2	1	0	0	0	45.8	51.4	82.6	89.2	912.95	213.02	83.30	0.391	47%
8-ส.ค.-25	10:40:00 AM	44.6	51.4	82.9	89.8	1	0	0	0	45.6	51.4	82.9	89.8	902.82	218.18	83.50	0.383	48%
8-ส.ค.-25	10:41:00 AM	44.6	51.3	83.5	90.1	1	0	0	0	45.6	51.3	83.5	90.1	931.49	221.23	83.40	0.377	49%
8-ส.ค.-25	10:42:00 AM	44.6	51.3	83.7	90.5	1	0	0	0	45.6	51.3	83.7	90.5	918.62	218.17	83.60	0.383	48%
8-ส.ค.-25	10:43:00 AM	44.6	51.3	83.7	90.5	1	0	0	0	45.6	51.3	83.7	90.5	911.19	216.41	84.10	0.389	48%
8-ส.ค.-25	10:44:00 AM	44.6	51.3	83.8	90.7	1	0	0	0	45.6	51.3	83.8	90.7	905.95	215.16	92.80	0.431	48%
8-ส.ค.-25	10:45:00 AM	44.6	51.3	84.2	91	1	0	0	0	45.6	51.3	84.2	91	899.90	213.73	102.10	0.478	47%
8-ส.ค.-25	10:46:00 AM	44.6	51.1	84.2	91	1	0	0	0	45.4	51.1	84.2	91	930.89	221.09	104.00	0.470	49%
8-ส.ค.-25	10:47:00 AM	44.2	50.9	84.2	91	1	0	0	0	45.2	50.9	84.2	91	918.99	218.26	112.70	0.516	49%
8-ส.ค.-25	10:48:00 AM	44.2	50.9	84.6	91.2	1	0	0	0	45.2	50.9	84.6	91.2	903.58	214.60	113.10	0.527	48%
8-ส.ค.-25	10:49:00 AM	44.4	50.7	84.7	91.2	1	0	0	0	45.4	50.7	84.7	91.2	891.17	196.80	113.60	0.577	44%
8-ส.ค.-25	10:50:00 AM	44.2	50.7	84.7	91.4	1	0	0	0	45.2	50.7	84.7	91.4	894.57	205.01	114.00	0.556	46%
8-ส.ค.-25	10:51:00 AM	44.4	50.5	84.7	91.2	1	0	0	0	45.4	50.5	84.7	91.2	907.09	192.76	113.90	0.591	43%
8-ส.ค.-25	10:52:00 AM	44.2	50.7	84.9	91.2	1	0	0	0	45.2	50.7	84.9	91.2	910.19	208.58	114.00	0.547	46%
8-ส.ค.-25	10:53:00 AM	44.2	50.5	84.9	91.2	1	0	0	0	45.2	50.5	84.9	91.2	910.59	201.09	113.50	0.564	45%
8-ส.ค.-25	10:54:00 AM	44.2	50.4	84.7	91.2	1	0	0	0	45.2	50.4	84.7	91.2	910.32	197.24	113.70	0.576	44%
8-ส.ค.-25	10:55:00 AM	44.2	50.2	84.4	90.7	1	0	0	0	45.2	50.2	84.4	90.7	927.31	193.19	115.60	0.598	43%
8-ส.ค.-25	10:56:00 AM	44.4	50.4	84.2	90.1	1	0	0	0	45.4	50.4	84.2	90.1	900.46	187.60	111.90	0.596	42%
8-ส.ค.-25	10:57:00 AM	44.4	50.2	84.2	90	1	0	0	0	45.4	50.2	84.2	90	908.40	181.68	110.20	0.607	40%
8-ส.ค.-25	10:58:00 AM	44.2	50	84.2	90	1	0	0	0	45.2	50	84.2	90	943.10	188.62	110.10	0.584	42%
8-ส.ค.-25	10:59:00 AM	44.2	49.8	84.2	89.8	1	0	0	0	45.2	49.8	84.2	89.8	911.10	174.63	107.40	0.615	39%
8-ส.ค.-25	11:00:00 AM	44.1	50	84	89.8	1	0	0	0	45.1	50	84	89.8	925.54	188.96	108.90	0.576	42%

ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 500 ตันความเย็น (โครงการที่ 6)

Project : 6 Date : 06/09/35 - 07/09/25

Brand : Midea Model : CCWG500EV Ser.No. : Time : 09:23 - 16:26

Type : Centrifugal Power : 380 V 50 Hz Cooling Cap : 500 Ton Measuring Duaration : : 60 Sec

	New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
	Evaporator		Condensing						
	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
Average	46.6	52.9	85.2	94.0	1160.73	309.63	183.07	0.634	62%
Min	43.8	49.2	83.1	88.5	1053.21	118.63	124.74	0.397	24%
Max	64.7	68.0	89.4	97.1	1372.37	492.47	241.12	1.712	98%



Date	Time	Temp				Correcrion Temp (°F)				New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing						
		Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
6-ต.ค.-25	9:23:00 AM	60.9	63.1	86.7	92.8	0	0	0	0	60.9	63.1	86.7	92.8	1294.10	118.63	203.06	1.712	24%
6-ต.ค.-25	9:24:00 AM	59.7	62.7	85.2	92.5	0	0	0	0	59.7	62.7	85.2	92.5	1304.88	163.11	222.97	1.367	33%
6-ต.ค.-25	9:25:00 AM	58.2	62.4	84.3	92.1	0	0	0	0	58.2	62.4	84.3	92.1	1315.07	230.14	237.82	1.033	46%
6-ต.ค.-25	9:26:00 AM	56.2	62.1	83.7	91.9	0	0	0	0	56.2	62.1	83.7	91.9	1310.11	322.07	237.27	0.737	64%
6-ต.ค.-25	9:27:00 AM	55.5	61.9	83.6	92.3	0	0	0	0	55.5	61.9	83.6	92.3	1363.03	363.48	237.82	0.654	73%
6-ต.ค.-25	9:28:00 AM	54.9	61.9	83.7	93.1	0	0	0	0	54.9	61.9	83.7	93.1	1335.38	389.49	236.72	0.608	78%
6-ต.ค.-25	9:29:00 AM	54.7	62.7	83.8	93.5	0	0	0	0	54.7	62.7	83.8	93.5	1346.86	448.95	236.72	0.527	90%
6-ต.ค.-25	9:30:00 AM	54	62.4	83.6	93.7	0	0	0	0	54	62.4	83.6	93.7	1319.21	461.72	236.28	0.512	92%
6-ต.ค.-25	9:31:00 AM	54.2	62.3	83.8	93.9	0	0	0	0	54.2	62.3	83.8	93.9	1347.81	454.89	237.05	0.521	91%
6-ต.ค.-25	9:32:00 AM	53.8	61.9	83.8	93.9	0	0	0	0	53.8	61.9	83.8	93.9	1330.62	449.15	238.15	0.530	90%
6-ต.ค.-25	9:33:00 AM	53.5	61.6	84	94	0	0	0	0	53.5	61.6	84	94	1330.93	449.19	236.28	0.526	90%
6-ต.ค.-25	9:34:00 AM	53.1	61	84	93.9	0	0	0	0	53.1	61	84	93.9	1332.43	436.59	237.27	0.541	88%
6-ต.ค.-25	9:35:00 AM	52.6	60.7	84	93.9	0	0	0	0	52.6	60.7	84	93.9	1308.83	441.73	236.17	0.535	88%
6-ต.ค.-25	9:36:00 AM	52.2	60	83.8	93.8	0	0	0	0	52.2	60	83.8	93.8	1334.50	433.71	238.26	0.549	87%
6-ต.ค.-25	9:37:00 AM	52	59.9	84	93.9	0	0	0	0	52	59.9	84	93.9	1356.89	446.64	237.60	0.532	89%
6-ต.ค.-25	9:38:00 AM	51.7	59.4	84	93.7	0	0	0	0	51.7	59.4	84	93.7	1315.22	421.96	237.93	0.564	84%
6-ต.ค.-25	9:39:00 AM	51.3	59.1	84	93.7	0	0	0	0	51.3	59.1	84	93.7	1359.66	440.59	238.37	0.541	88%
6-ต.ค.-25	9:40:00 AM	51.1	58.7	84	93.7	0	0	0	0	51.1	58.7	84	93.7	1310.10	414.87	238.04	0.574	83%
6-ต.ค.-25	9:41:00 AM	50.8	58.3	84	93.7	0	0	0	0	50.8	58.3	84	93.7	1331.93	416.23	238.70	0.573	83%
6-ต.ค.-25	9:42:00 AM	50.6	58.2	84	93.6	0	0	0	0	50.6	58.2	84	93.6	1321.66	418.53	236.94	0.566	84%
6-ต.ค.-25	9:43:00 AM	50.6	58.1	84.2	93.7	0	0	0	0	50.6	58.1	84.2	93.7	1315.68	411.15	238.15	0.579	82%
6-ต.ค.-25	9:44:00 AM	50.2	58	84.2	93.7	0	0	0	0	50.2	58	84.2	93.7	1318.63	428.55	236.72	0.552	86%
6-ต.ค.-25	9:45:00 AM	50	57.6	84.2	93.5	0	0	0	0	50	57.6	84.2	93.5	1355.14	429.19	238.26	0.555	86%
6-ต.ค.-25	9:46:00 AM	49.7	57.3	84.2	93.5	0	0	0	0	49.7	57.3	84.2	93.5	1309.18	414.56	238.59	0.576	83%
6-ต.ค.-25	9:47:00 AM	49.5	56.9	84.2	93.5	0	0	0	0	49.5	56.9	84.2	93.5	1336.51	412.09	235.40	0.571	82%
6-ต.ค.-25	9:48:00 AM	49.3	56.8	84.2	93.5	0	0	0	0	49.3	56.8	84.2	93.5	1295.09	404.72	237.69	0.587	81%
6-ต.ค.-25	9:49:00 AM	49.1	56.5	84.2	93.3	0	0	0	0	49.1	56.5	84.2	93.3	1353.56	417.35	237.93	0.570	83%
6-ต.ค.-25	9:50:00 AM	48.8	56.2	84.2	93.4	0	0	0	0	48.8	56.2	84.2	93.4	1310.26	404.00	237.05	0.587	81%
6-ต.ค.-25	9:51:00 AM	48.6	55.9	84.2	93.3	0	0	0	0	48.6	55.9	84.2	93.3	1293.84	393.54	238.15	0.605	79%
6-ต.ค.-25	9:52:00 AM	48.6	55.8	84.2	93.3	0	0	0	0	48.6	55.8	84.2	93.3	1300.52	390.16	237.05	0.608	78%
6-ต.ค.-25	9:53:00 AM	48.2	55.5	84.3	93.4	0	0	0	0	48.2	55.5	84.3	93.4	1327.43	403.76	237.05	0.587	81%
6-ต.ค.-25	9:54:00 AM	48.1	55.3	84.4	93.5	0	0	0	0	48.1	55.3	84.4	93.5	1295.42	388.62	237.05	0.610	78%
6-ต.ค.-25	9:55:00 AM	47.9	54.9	84.3	93.3	0	0	0	0	47.9	54.9	84.3	93.3	1293.93	377.40	236.72	0.627	75%
6-ต.ค.-25	9:56:00 AM	47.5	54.9	84.2	93.3	0	0	0	0	47.5	54.9	84.2	93.3	1316.14	405.81	238.04	0.587	81%
6-ต.ค.-25	9:57:00 AM	47.4	54.6	84.2	93.2	0	0	0	0	47.4	54.6	84.2	93.2	1308.36	392.51	238.81	0.608	79%
6-ต.ค.-25	9:58:00 AM	47.2	54.4	84.1	93.2	0	0	0	0	47.2	54.4	84.1	93.2	1300.55	390.16	237.27	0.608	78%
6-ต.ค.-25	9:59:00 AM	47.2	54.4	84.2	93.2	0	0	0	0	47.2	54.4	84.2	93.2	1252.58	375.89	238.15	0.634	75%
6-ต.ค.-25	10:00:00 AM	47	54.2	84.2	93.2	0	0	0	0	47	54.2	84.2	93.2	1278.96	383.69	237.93	0.620	77%
6-ต.ค.-25	10:01:00 AM	46.8	54	84	93	0	0	0	0	46.8	54	84	93	1299.36	387.11	237.49	0.613	77%
6-ต.ค.-25	10:02:00 AM	46.6	53.7	83.8	92.8	0	0	0	0	46.6	53.7	83.8	92.8	1233.89	365.03	238.81	0.654	73%
6-ต.ค.-25	10:03:00 AM	46.4	53.6	83.8	92.8	0	0	0	0	46.4	53.6	83.8	92.8	1218.17	365.45	231.88	0.635	73%
6-ต.ค.-25	10:04:00 AM	46.3	53.4	83.8	92.6	0	0	0	0	46.3	53.4	83.8	92.6	1196.15	354.45	218.79	0.617	71%
6-ต.ค.-25	10:05:00 AM	46.1	53.2	83.8	92.6	0	0	0	0	46.1	53.2	83.8	92.6	1159.94	343.15	210.98	0.615	69%
6-ต.ค.-25	10:06:00 AM	45.9	53	83.8	92.6	0	0	0	0	45.9	53	83.8	92.6	1176.23	347.97	213.40	0.613	70%
6-ต.ค.-25	10:07:00 AM	45.7	52.8	83.7	92.6	0	0	0	0	45.7	52.8	83.7	92.6	1147.95	339.60	203.39	0.599	68%
6-ต.ค.-25	10:08:00 AM	45.7	52.6	83.6	92.4	0	0	0	0	45.7	52.6	83.6	92.4	1109.25	318.91	193.69	0.607	64%
6-ต.ค.-25	10:09:00 AM	45.9	52.6	83.8	92.3	0	0	0	0	45.9	52.6	83.8	92.3	1122.92	313.48	188.10	0.600	63%
6-ต.ค.-25	10:10:00 AM	45.9	52.2	83.6	92.1	0	0	0	0	45.9	52.2	83.6	92.1	1120.61	294.36	181.39	0.617	59%
6-ต.ค.-25	10:11:00 AM	45.7	51.7	83.6	92.1	0	0	0	0	45.7	51.7	83.6	92.1	1137.82	284.45	176.66	0.621	57%
6-ต.ค.-25	10:12:00 AM	45.7	51.3	83.6	92.1	0	0	0	0	45.7	51.3	83.6	92.1	1133.62	264.98	171.38	0.647	53%
6-ต.ค.-25	10:13:00 AM	45.9	51.2	83.6	91.7	0	0	0	0	45.9	51.2	83.6	91.7	1146.84	253.28	170.83	0.675	51%
6-ต.ค.-25	10:14:00 AM	45.9	51	83.6	91.6	0	0	0	0	45.9	51	83.6	91.6	1151.08	244.60	173.03	0.707	49%
6-ต.ค.-25	10:15:00 AM	45.9	50.8	83.6	91.5	0	0	0	0	45.9	50.8	83.6	91.5	1122.07	229.09	170.50	0.744	46%
6-ต.ค.-25	10:16:00 AM	45.7	50.8	83.7	91.5	0	0	0	0	45.7	50.8	83.7	91.5	1129.61	240.04	171.60	0.715	48%
6-ต.ค.-25	10:17:00 AM	45.7	50.8	83.8	91.4	0	0	0	0	45.7	50.8	83.8	91.4	1147.59	243.86	169.73	0.696	49%
6-ต.ค.-25	10:18:00 AM	45.8	50.8	83.6	91.4	0	0	0	0	45.8	50.8	83.6	91.4	1117.45	232.80	172.08	0.739	47%
6-ต.ค.-25	10:19:00 AM	45.7	50.8	83.6	91.6	0	0	0	0	45.7	50.8	83.6	91.6	1136.23	241.45	171.49	0.710	48%
6-ต.ค.-25	10:20:00 AM	45.9	50.8	83.5	91.5	0	0	0	0	45.9	50.8	83.5	91.5	1141.08	232.97	169.73	0.729	47%
6-ต.ค.-25	10:21:00 AM	45.7	50.6	83.5	91.7	0	0	0	0	45.7	50.6	83.5	91.7	1153.08	235.53	168.30	0.715	47%
6-ต.ค.-25	10:22:00 AM	45.9	50.6	83.4	91.7	0	0	0	0	45.9	50.6	83.4	91.7	1160.35	227.24	167.42	0.737	45%
6-ต.ค.-25	10:23:00 AM	45.6	50.6	83.6	91.8	0	0	0	0	45.6	50.6	83.6	91.8	1149.49	239.48	166.65	0.696	48%
6-ต.ค.-25	10:24:00 AM	45.7	50.4	83.6	91.9	0	0	0	0	45.7	50.4	83.6	91.9	1152.53	225.70	166.43	0.737	45%
6-ต.ค.-25	10:25:00 AM	45.8	50.5	83.6	92.1	0	0	0	0	45.8	50.5	83.6	92.1	1134.04	222.08	167.20	0.753	44%
6-ต.ค.-25	10:26:00 AM	45.9	50.5	83.6	92.1	0	0	0	0	45.9	50.5	83.6	92.1	1124.31	215.49	167.86	0.779	43%
6-ต.ค.-25	10:27:00 AM	45.9	50.6	83.6	92.2	0	0	0	0	45.9	50.6	83.6	92.2	1153.50	225.49	167.75	0.743	45%
6-ต.ค.-25	10:28:00 AM	46.1	50.7	83.8	92.3	0	0	0	0	46.1	50.7	83.8	92.3	1153.85	221.16	167.97	0.760	44%
6-ต.ค.-25	10:29:00 AM	46.1	50.7	84	92.3	0	0	0	0	46.1	50.7	84	92.3	1142.48	214.97	166.65	0.761	44%
6-ต.ค.-25	10:30:00 AM	46.1	50.7	83.9	92.3	0	0	0	0	46.1	50.7	83.9	92.3	1133.24	217.21	167.97	0.773	43%
6-ต.ค.-25	10:31:00 AM	46.1	50.7	83.8	92.4	0	0	0	0	46.1	50.7	83.8	92.4	1136.32	217.80	167.53	0.769	44%
6-ต.ค.-25	10:32:00 AM	46.1	50.7	83.9	92.4	0	0	0	0	46.1	50.7	83.9	92.4	1162.36	222.79	168.19	0.755	45%
6-ต.ค.-25	10:33:00 AM	46.1	50.8	84	92.4	0	0	0	0	46.1	50.8	84	92.4	1167.18	228.57	166.43	0.728	46%
6-ต.ค.-25	10:34:00 AM	46.1	50.8	83.8	92.4	0	0	0	0	46.1	50.8	83.8	92.4	1124.29	220.17	167.20	0.759	44%
6-ต.ค.-25	10:35:00 AM	46.1	50.7	83.8	92.4	0	0	0	0	46.1	50.7	83.8	92.4	1121.31	214.92	166.65	0.775	43%
6-ต.ค.-25	10:36:00 AM	46.1	50.6	83.8	92.4	0	0	0	0	46.1	50.6	83.8	92.4	1134.14	212.65	167.09	0.786	43%
6-ต.ค.-25	10:37:00 AM	46.1	50.7	83.8	92.4	0	0	0	0	46.1	50.7	83.8	92.4	1129.60	216.51	166.98	0.771	43%
6-ต.ค.-25	10:38:00 AM	46.1	51	83.8	92.4	0	0	0	0	46.1	51	83.8	92.4	1141.52	233.06	166.43	0.714	47%
6-ต.ค.-25	10:39:00 AM	45.9	51.1	84	92.6	0	0	0	0	45.9	51.1	84	92.6	1133.63	245.62	167.64	0.683	49%
6-ต.ค.-25	10:40:00 AM	46.3	50.8	83.8	92.4	0	0	0	0	46.3	50.8	83.8	92.4	1172.32	219.81	167.97	0.764	44%
6-ต.ค.-25	10:41:00 AM	46.3	50.8	84.5	93.3	0	0	0	0	46.3	50.8	84.5	93.3	1161.65	217.81	167.75	0.770	44%
6-ต.ค.-25	10:42:00 AM	46.3	50.7	84	93	0	0	0	0	46.3	50.7	84	93	1118.81	205.11	166.21	0.810	41%
6-ต.ค.-25	10:43:00 AM	46.3	50.6	83.8	92.4	0	0	0	0	46.3	50.6	83.8	92.4	1139.17	204.10	166.98	0.818	41%
6-ต.ค.-25	10:44:00 AM	46.1	50.7	83.8	92.4	0	0	0	0	46.1	50.7	83.8	92.4	1161.42	222.61	167.20	0.751	45%
6-ต.ค.-25	10:45:00 AM	46.1	50.9	84	92.6	0	0	0	0	46.1	50.9	84	92.6	1160.56	232.11	165.99	0.715	46%
6-ต.ค.-25	10:46:00 AM	46.1	50.7	84	92.7	0	0	0	0	46.1	50.7	84	92.7	1157.84	221.92	166.87	0.752	44%

ข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 800 ตันความเย็น (โครงการที่ 7)

Project : 7 Date : 31/07/25 - 01/-8/25

Brand : Midea Model : CCWG800EVD Ser.No. : Time : 08:34 - 11:41

Type : Centrifugal Power : 380 V 50 Hz Cooling Cap : 800 Ton Measuring Duaration : : 60 Sec

	New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
	Evaporator		Condensing						
	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
Average	48.1	55.5	84.4	94.5	1757.62	544.28	301.93	0.559	68%
Min	46.0	53.5	52.2	80.5	1626.29	70.30	126.50	0.461	9%
Max	69.6	71.6	92.3	106.0	1877.57	731.47	396.00	1.799	91%



Date	Time	Temp				Correcrion Temp (°F)				New Temp (°F)				Evap flow	Cooling Capability	Power Consumption	Efficiency	% Load Chiller
		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing		Evaporator		Condensing						
		Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	Leaving	Entering	Entering	Leaving	(GPM)	(Ton)	(kW)	(kW/Ton)	
31-ก.ค.-25	8:34:00 AM	67.7	68.85	80.6	80.5	0	0	0	0	67.7	68.85	80.6	80.5	1750.00	83.85	146.30	1.745	10%
31-ก.ค.-25	8:35:00 AM	67.3	69.15	80.4	80.5	0	0	0	0	67.3	69.15	80.4	80.5	1863.09	143.61	168.30	1.172	18%
31-ก.ค.-25	8:36:00 AM	66.1	69.85	78.4	83	0	0	0	0	66.1	69.85	78.4	83	1760.30	275.05	184.80	0.672	34%
31-ก.ค.-25	8:37:00 AM	65.8	70.05	78.8	84.9	0	0	0	0	65.8	70.05	78.8	84.9	1760.83	311.81	212.30	0.681	39%
31-ก.ค.-25	8:38:00 AM	65.3	70.35	79.3	86.1	0	0	0	0	65.3	70.35	79.3	86.1	1727.23	363.44	238.70	0.657	45%
31-ก.ค.-25	8:39:00 AM	64.9	70.55	79.7	87.5	0	0	0	0	64.9	70.55	79.7	87.5	1766.72	415.91	256.30	0.616	52%
31-ก.ค.-25	8:40:00 AM	64.1	70.35	80.3	88.5	0	0	0	0	64.1	70.35	80.3	88.5	1785.64	465.01	275.00	0.591	58%
31-ก.ค.-25	8:41:00 AM	63.6	70.05	80.9	89.4	0	0	0	0	63.6	70.05	80.9	89.4	1797.17	482.99	286.00	0.592	60%
31-ก.ค.-25	8:42:00 AM	62.9	69.85	81.5	90.6	0	0	0	0	62.9	69.85	81.5	90.6	1775.10	514.04	309.10	0.601	64%
31-ก.ค.-25	8:43:00 AM	62.2	69.45	81.8	91.7	0	0	0	0	62.2	69.45	81.8	91.7	1868.27	564.37	337.70	0.598	71%
31-ก.ค.-25	8:44:00 AM	61.5	69.25	82.4	92.3	0	0	0	0	61.5	69.25	82.4	92.3	1771.68	572.10	366.30	0.640	72%
31-ก.ค.-25	8:45:00 AM	60.9	68.95	82.7	93.2	0	0	0	0	60.9	68.95	82.7	93.2	1791.22	600.80	381.70	0.635	75%
31-ก.ค.-25	8:46:00 AM	60.4	68.55	83.3	93.9	0	0	0	0	60.4	68.55	83.3	93.9	1731.32	587.86	381.70	0.649	73%
31-ก.ค.-25	8:47:00 AM	59.9	68.25	83.6	94.4	0	0	0	0	59.9	68.25	83.6	94.4	1668.64	580.55	381.70	0.657	73%
31-ก.ค.-25	8:48:00 AM	59.1	67.85	83.8	95.1	0	0	0	0	59.1	67.85	83.8	95.1	1705.19	621.68	383.90	0.618	78%
31-ก.ค.-25	8:49:00 AM	58.5	67.55	84.2	95.8	0	0	0	0	58.5	67.55	84.2	95.8	1799.97	678.74	383.90	0.566	85%
31-ก.ค.-25	8:50:00 AM	57.8	67.25	84.6	96.2	0	0	0	0	57.8	67.25	84.6	96.2	1712.03	674.11	381.70	0.566	84%
31-ก.ค.-25	8:51:00 AM	57.5	66.55	84.9	96.9	0	0	0	0	57.5	66.55	84.9	96.9	1721.34	649.09	383.90	0.591	81%
31-ก.ค.-25	8:52:00 AM	57.3	66.45	85.4	97.2	0	0	0	0	57.3	66.45	85.4	97.2	1721.57	656.35	386.10	0.588	82%
31-ก.ค.-25	8:53:00 AM	56.8	65.85	85.6	97.5	0	0	0	0	56.8	65.85	85.6	97.5	1860.40	701.53	381.70	0.544	88%
31-ก.ค.-25	8:54:00 AM	56.4	65.55	88.5	91.9	0	0	0	0	56.4	65.55	88.5	91.9	1795.76	683.88	385.00	0.563	85%
31-ก.ค.-25	8:55:00 AM	56.2	65.15	86	97.5	0	0	0	0	56.2	65.15	86	97.5	1737.07	647.78	385.00	0.594	81%
31-ก.ค.-25	8:56:00 AM	55.9	64.65	87	95.7	0	0	0	0	55.9	64.65	87	95.7	1803.25	657.43	383.90	0.584	82%
31-ก.ค.-25	8:57:00 AM	55.5	64.35	86.1	97.7	0	0	0	0	55.5	64.35	86.1	97.7	1842.44	679.40	381.70	0.562	85%
31-ก.ค.-25	8:58:00 AM	55.3	63.85	87.8	97.1	0	0	0	0	55.3	63.85	87.8	97.1	1709.71	609.08	382.80	0.628	76%
31-ก.ค.-25	8:59:00 AM	55	63.55	86	97.5	0	0	0	0	55	63.55	86	97.5	1694.84	601.79	380.60	0.630	75%
31-ก.ค.-25	9:00:00 AM	54.7	63.25	85.4	97.7	0	0	0	0	54.7	63.25	85.4	97.7	1802.13	642.01	379.50	0.591	80%
31-ก.ค.-25	9:01:00 AM	54.6	62.95	86.1	97.5	0	0	0	0	54.6	62.95	86.1	97.5	1750.72	609.10	382.80	0.628	76%
31-ก.ค.-25	9:02:00 AM	54.4	62.65	90.3	91.5	0	0	0	0	54.4	62.65	90.3	91.5	1843.18	633.59	381.70	0.602	79%
31-ก.ค.-25	9:03:00 AM	53.9	62.25	85.4	95	0	0	0	0	53.9	62.25	85.4	95	1821.25	633.64	378.40	0.597	79%
31-ก.ค.-25	9:04:00 AM	53.9	62.25	87.6	96.6	0	0	0	0	53.9	62.25	87.6	96.6	1762.83	613.32	382.80	0.624	77%
31-ก.ค.-25	9:05:00 AM	53.5	61.95	86	97.1	0	0	0	0	53.5	61.95	86	97.1	1715.53	604.01	382.80	0.634	76%
31-ก.ค.-25	9:06:00 AM	53.2	61.55	86	97.1	0	0	0	0	53.2	61.55	86	97.1	1766.14	614.47	378.40	0.616	77%
31-ก.ค.-25	9:07:00 AM	53	61.35	85.8	96.9	0	0	0	0	53	61.35	85.8	96.9	1766.86	593.20	378.40	0.638	74%
31-ก.ค.-25	9:08:00 AM	53	60.85	85.8	96.8	0	0	0	0	53	60.85	85.8	96.8	1840.10	601.86	379.50	0.631	75%
31-ก.ค.-25	9:09:00 AM	53	60.85	86	96.9	0	0	0	0	53	60.85	86	96.9	1773.62	580.32	377.30	0.650	73%
31-ก.ค.-25	9:10:00 AM	52.6	60.55	86	96.9	0	0	0	0	52.6	60.55	86	96.9	1815.45	601.37	372.90	0.620	75%
31-ก.ค.-25	9:11:00 AM	52.6	60.25	86	96.9	0	0	0	0	52.6	60.25	86	96.9	1852.22	590.39	377.30	0.639	74%
31-ก.ค.-25	9:12:00 AM	52.3	60.15	85.9	96.8	0	0	0	0	52.3	60.15	85.9	96.8	1841.09	602.19	377.30	0.627	75%
31-ก.ค.-25	9:13:00 AM	52.1	59.75	85.8	96.8	0	0	0	0	52.1	59.75	85.8	96.8	1724.80	569.78	381.70	0.694	69%
31-ก.ค.-25	9:14:00 AM	52.1	59.55	85.9	96.8	0	0	0	0	52.1	59.55	85.9	96.8	1714.56	552.23	382.80	0.719	67%
31-ก.ค.-25	9:15:00 AM	51.7	59.55	86	96.9	0	0	0	0	51.7	59.55	86	96.9	1781.05	582.55	380.60	0.653	73%
31-ก.ค.-25	9:16:00 AM	51.5	59.25	86	96.9	0	0	0	0	51.5	59.25	86	96.9	1783.57	575.94	381.70	0.663	72%
31-ก.ค.-25	9:17:00 AM	51.2	58.85	86	96.8	0	0	0	0	51.2	58.85	86	96.8	1669.54	532.16	381.70	0.717	67%
31-ก.ค.-25	9:18:00 AM	50.9	58.65	86	96.8	0	0	0	0	50.9	58.65	86	96.8	1704.69	550.41	382.80	0.695	69%
31-ก.ค.-25	9:19:00 AM	50.8	58.45	85.8	96.6	0	0	0	0	50.8	58.45	85.8	96.6	1818.96	579.79	381.70	0.658	72%
31-ก.ค.-25	9:20:00 AM	50.8	58.45	86	96.8	0	0	0	0	50.8	58.45	86	96.8	1835.41	584.40	383.90	0.657	73%
31-ก.ค.-25	9:21:00 AM	50.6	58.35	86	96.8	0	0	0	0	50.6	58.35	86	96.8	1728.55	558.18	383.90	0.688	70%
31-ก.ค.-25	9:22:00 AM	50.6	58.15	86	96.8	0	0	0	0	50.6	58.15	86	96.8	1756.82	552.67	382.80	0.693	69%
31-ก.ค.-25	9:23:00 AM	50.6	57.95	86	96.8	0	0	0	0	50.6	57.95	86	96.8	1797.08	550.35	382.80	0.696	69%
31-ก.ค.-25	9:24:00 AM	50.5	57.75	86	96.8	0	0	0	0	50.5	57.75	86	96.8	1750.38	528.76	382.80	0.724	66%
31-ก.ค.-25	9:25:00 AM	50.2	57.55	88.1	94.2	0	0	0	0	50.2	57.55	88.1	94.2	1840.65	563.70	383.90	0.681	70%
31-ก.ค.-25	9:26:00 AM	49.9	57.45	86.1	97.3	0	0	0	0	49.9	57.45	86.1	97.3	1782.05	560.60	382.80	0.683	70%
31-ก.ค.-25	9:27:00 AM	49.6	57.35	91	96.8	0	0	0	0	49.6	57.35	91	96.8	1797.43	580.42	381.70	0.658	73%
31-ก.ค.-25	9:28:00 AM	49.6	57.25	86	95.9	0	0	0	0	49.6	57.25	86	95.9	1661.19	529.51	380.60	0.719	66%
31-ก.ค.-25	9:29:00 AM	49.6	57.05	84.2	96.6	0	0	0	0	49.6	57.05	84.2	96.6	1837.33	570.34	379.50	0.665	71%
31-ก.ค.-25	9:30:00 AM	49.4	56.85	85.9	96.4	0	0	0	0	49.4	56.85	85.9	96.4	1735.96	538.87	381.70	0.708	67%
31-ก.ค.-25	9:31:00 AM	49.2	56.65	85.7	96.4	0	0	0	0	49.2	56.65	85.7	96.4	1775.38	551.11	381.70	0.693	69%
31-ก.ค.-25	9:32:00 AM	49.2	56.55	85.6	96.2	0	0	0	0	49.2	56.55	85.6	96.2	1812.08	554.95	381.70	0.688	69%
31-ก.ค.-25	9:33:00 AM	49.2	56.55	85.6	96.1	0	0	0	0	49.2	56.55	85.6	96.1	1773.24	543.06	379.50	0.699	68%
31-ก.ค.-25	9:34:00 AM	49	56.35	85.6	96	0	0	0	0	49	56.35	85.6	96	1733.77	530.97	383.90	0.723	66%
31-ก.ค.-25	9:35:00 AM	49.2	56.55	85.2	96.6	0	0	0	0	49.2	56.55	85.2	96.6	1697.99	520.01	382.80	0.736	65%
31-ก.ค.-25	9:36:00 AM	49	56.35	87.8	93.7	0	0	0	0	49	56.35	87.8	93.7	1819.61	557.26	382.80	0.687	70%
31-ก.ค.-25	9:37:00 AM	49	56.15	84.3	93.7	0	0	0	0	49	56.15	84.3	93.7	1752.26	522.03	379.50	0.727	65%
31-ก.ค.-25	9:38:00 AM	49	55.95	85.6	93.9	0	0	0	0	49	55.95	85.6	93.9	1733.84	507.88	381.70	0.752	63%
31-ก.ค.-25	9:39:00 AM	48.8	55.95	85.5	90.6	0	0	0	0	48.8	55.95	85.5	90.6	1712.43	510.16	382.80	0.750	64%
31-ก.ค.-25	9:40:00 AM	48.7	55.75	85.8	96.2	0	0	0	0	48.7	55.75	85.8	96.2	1783.72	523.97	378.40	0.722	65%
31-ก.ค.-25	9:41:00 AM	48.3	55.65	87.6	95.9	0	0	0	0	48.3	55.65	87.6	95.9	1868.01	572.08	366.10	0.636	72%
31-ก.ค.-25	9:42:00 AM	48.1	55.55	86.1	94.8	0	0	0	0	48.1	55.55	86.1	94.8	1679.80	521.31	355.30	0.682	65%
31-ก.ค.-25	9:43:00 AM	48	55.45	84.5	96	0	0	0	0	48	55.45	84.5	96	1731.34	537.44	352.00	0.655	67%
31-ก.ค.-25	9:44:00 AM	47.9	55.25	84.2	94.6	0	0	0	0	47.9	55.25	84.2	94.6	1786.46	547.10	344.30	0.629	68%
31-ก.ค.-25	9:45:00 AM	47.9	55.25	85.4	96.2	0	0	0	0	47.9	55.25	85.4	96.2	1768.40	541.57	335.50	0.619	68%
31-ก.ค.-25	9:46:00 AM	48.1	55.25	85.8	95.9	0	0	0	0	48.1	55.25	85.8	95.9	1744.57	519.74	333.30	0.641	65%
31-ก.ค.-25	9:47:00 AM	48.1	55.25	85.6	95.4	0	0	0	0	48.1	55.25	85.6	95.4	1755.54	523.00	328.90	0.629	65%
31-ก.ค.-25	9:48:00 AM	47.8	55.05	88.7	93.7	0	0	0	0	47.8	55.05	88.7	93.7	1674.35	505.79	325.60	0.644	63%
31-ก.ค.-25	9:49:00 AM	47.8	54.85	85.4	96	0	0	0	0	47.8	54.85	85.4	96	1836.61	539.50	320.10	0.593	67%
31-ก.ค.-25	9:50:00 AM	47.8	54.85	88.5	93.9	0	0	0	0	47.8	54.85	88.5	93.9	1826.11	536.42	316.80	0.591	67%
31-ก.ค.-25	9:51:00 AM	47.8	54.85	87.2	95.3	0	0	0	0	47.8	54.85	87.2	95.3	1741.99	511.71	315.70	0.617	64%
31-ก.ค.-25	9:52:00 AM	47.9	54.75	86.5	95.7	0	0	0	0	47.9	54.75	86.5	95.7	1767.44	504.46	316.80	0.628	63%
31-ก.ค.-25	9:53:00 AM	47.9	54.75	87.9	93.2	0	0	0	0	47.9	54.75	87.9	93.2	1770.88	505.44	308.00	0.609	63%
31-ก.ค.-25	9:54:00 AM	47.9	54.75	86.9	89	0	0	0	0	47.9	54.75	86.9	89	1738.41	496.17	306.90	0.619	62%
31-ก.ค.-25	9:55:00 AM	47.9	54.75	89	88.8	0	0	0	0	47.9	54.75	89	88.8	1702.94	486.05	303.60	0.625	61%
31-ก.ค.-25	9:56:00 AM	47.9	54.65	85.2	92.1	0	0	0	0	47.9	54.65	85.2	92.1	1737.44	488.66	305.80	0.626	61%
31-ก.ค.-25	9:57:00 AM	47.8	54.55	84.9	93.9	0	0	0	0	47.8	54.55	84.9	93.9	1826.51	513.71	303.60	0.591	64%

ภาคผนวก ค

ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า Hioki PQ3198 Power Quality Analyzer



NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
ISO/IEC 17025
CALIBRATION LABORATORY
AC-2658

Certificate of Calibration

Customer :

Description of Equipment	:	Power Quality Analyzer with Clamp On Sensor (4-Probe)
Model Number	:	PQ3198
Manufacturer	:	Hioki
Serial Number	:	220441325
Control Number	:	ITIT-R189
Received Date	:	08-Jun-24
Calibrated Date	:	10-Jun-24
Work Order Number	:	E1U2402464
Certificate No.	:	E1U2402464
Page Number	:	1 of 5

We certify that the above mentioned measuring instrument was calibrated in accordance with our quality management system as the ISO/IEC 17025 : 2017 and all the standard equipment used for calibration were traceable to the International of System Units (SI Units) maintained at the National Institute of Metrology (NIMT), Thailand and/or other associated foreign national standards.

Issued Date	:	10-Jun-24
Calibrated by	:	Mr. Phichet Chaleesee
Checked by	:	Mr. Mana Jitjanesuwan

Approved by :
☐ Mr. Yanyong Pithong / Laboratory Manager
☑ Mr. Mana Jitjanesuwan / Calibration Manager
☐ Mr. Mongkhon Asawaolan / ISO & QA Manager

Approved Signatory

FEZ-0014-G-Form-06/V5/01/04/2

These uncertainties are based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor, k=2 corresponds to a coverage probability of approximately 95%

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation by the ANSI National Accreditation Board (ANAB), which has assessed th management system of the laboratory and its traceability to recognized national standards and to the units of measurement realized at corresponding nation standards laboratory. This certificate may not be reporoduced other than in full except with prior written approval from the laboratory manager.

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: E1U2402464

Environment Conditions

Ambient Temperature	:	(23 ± 3) °C
Ambient Relative Humidity	:	(55 ± 15) %rh
Calibration Place	:	Permanent Calibration Laboratory

Standard Equipment Used

Equip. No.	Equipment Name	Maker & Model	Serial No.	Cert. No.	Due Date
SE-21497	Multi-Product Calibrator	Fluke 5522A	5152902	E2U2300181	26-Oct-24

Traceability

This certificate is traceable to the International System of Unit (SI Unit) maintained at;

- National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for dc voltage standards (0 to 1100V).
- National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for ac voltage standards (0.22mV to 1100V, 10Hz to 30MHz).
- National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for dc current standards (0 to 500A).
- National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for ac current standards (9µA to 100A, 10Hz to 100kHz).
- National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for phase standards (0 to 360°).

Uncertainty of Measurement

The uncertainty of measurement evaluation has been carried out by using the methodology in the JCGM 100:2008 : Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995 with minor correction). These uncertainties are based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor. k=2 corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Calibration Method

The Unit Under Calibration (UUC) has been calibrated in accordance with the calibration test specification no. E-DCV-M-0002-GE, E-ACV-M-0002-GE, E-ACA-M-0005-GE and E-POW-M-0006-GE. by direct measurement against Multi-Product Calibrator.

Calibration Results

The following results were the measurement results applied on the calibrated item and found accurate as show on date and place of calibration only. The results in **"As Found"** column are the measurement recorded before any adjustment or repair. The results in **"As Left"** are the equipment reading taken after the necessary repairs and adjustments. In case the equipment does not be adjusted or repaired, the column of **"As Left"** would be reported wording **"Same"**.

Appearance and Function of use Inspection :

Main Body, Model : PQ3198		Good
AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Model : CT7045	Serial No. 220441113	Good
	Serial No. 220441112	Good
	Serial No. 220441117	Good
	Serial No. 220452406	Good

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: EIU2402464

AC Voltage Measurement Accuracy

UUC Range	Applied Value	Test Frequency	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
Input : U1									
600 V	300 V	50 Hz	300.01 V	Same	0.01 V	Same	0.30 V	0.06 V	Pass
	300 V	60 Hz	300.01 V	Same	0.01 V	Same	0.30 V	0.06 V	Pass
	540 V	50 Hz	540.02 V	Same	0.02 V	Same	0.54 V	0.14 V	Pass
	540 V	60 Hz	540.02 V	Same	0.02 V	Same	0.54 V	0.14 V	Pass
Input : U2									
600 V	300 V	50 Hz	299.98 V	Same	-0.02 V	Same	0.30 V	0.06 V	Pass
	300 V	60 Hz	299.98 V	Same	-0.02 V	Same	0.30 V	0.06 V	Pass
	540 V	50 Hz	539.98 V	Same	-0.02 V	Same	0.54 V	0.14 V	Pass
	540 V	60 Hz	539.97 V	Same	-0.03 V	Same	0.54 V	0.14 V	Pass
Input : U3									
600 V	300 V	50 Hz	300.06 V	Same	0.06 V	Same	0.30 V	0.06 V	Pass
	300 V	60 Hz	300.06 V	Same	0.06 V	Same	0.30 V	0.06 V	Pass
	540 V	50 Hz	540.11 V	Same	0.11 V	Same	0.54 V	0.14 V	Pass
	540 V	60 Hz	540.11 V	Same	0.11 V	Same	0.54 V	0.14 V	Pass

DC Voltage Measurement Accuracy

UUC Range	Applied Value	Test Frequency	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
Input : U4									
600 V	0 V	DC	0.00 V	Same	0.00 V	Same	0.48 V	0.01 V	Pass
	300 V	DC	300.22 V	Same	0.22 V	Same	1.38 V	0.01 V	Pass
	-300 V	DC	-299.83 V	Same	0.17 V	Same	1.38 V	0.02 V	Pass
	540 V	DC	540.24 V	Same	0.24 V	Same	2.10 V	0.02 V	Pass
	-540 V	DC	-539.88 V	Same	0.12 V	Same	2.10 V	0.02 V	Pass

AC Current Measurement Accuracy

UUC Range	Applied Value	Test Frequency	UUC Reading		UUC Error		Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
			As Found	As Left	As Found	As Left			
Input : CH-1	(With AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Hioki Model : CT7045, S/N.: 220441113)								
50 A	25 A	50 Hz	24.993 A	Same	-0.007 A	Same	2.700 A	0.46 A	Pass
	45 A	50 Hz	44.981 A	Same	-0.019 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
	45 A	60 Hz	44.968 A	Same	-0.032 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
500 A	250 A	50 Hz	249.89 A	Same	-0.11 A	Same	13.50 A	2.7 A	Pass
	450 A	50 Hz	449.85 A	Same	-0.15 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
	450 A	60 Hz	449.75 A	Same	-0.25 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
5 kA	0.5 kA	50 Hz	0.4999 kA	Same	-0.0001 kA	Same	0.0430 kA	0.0044 kA	Pass
	1 kA	50 Hz	0.9995 kA	Same	-0.0005 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass
	1 kA	60 Hz	0.9991 kA	Same	-0.0009 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass
Input : CH-2	(With AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Hioki Model : CT7045, S/N.: 220441112)								
50 A	25 A	50 Hz	24.991 A	Same	-0.009 A	Same	2.700 A	0.46 A	Pass
	45 A	50 Hz	44.962 A	Same	-0.038 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
	45 A	60 Hz	44.955 A	Same	-0.045 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
500 A	250 A	50 Hz	249.88 A	Same	-0.12 A	Same	13.50 A	2.7 A	Pass
	450 A	50 Hz	449.79 A	Same	-0.21 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
	450 A	60 Hz	449.66 A	Same	-0.34 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
5 kA	0.5 kA	50 Hz	0.5000 kA	Same	0.0000 kA	Same	0.0430 kA	0.0044 kA	Pass
	1 kA	50 Hz	0.9997 kA	Same	-0.0003 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass
	1 kA	60 Hz	0.9993 kA	Same	-0.0007 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: EIU2402464

AC Current Measurement Accuracy

UUC Range	Applied Value	Test Frequency	UUC Reading As Found	UUC Reading As Left	UUC Error As Found	UUC Error As Left	Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
Input : CH-3	(With AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Hioki Model : CT7045, S/N.: 220441117)								
50 A	25 A	50 Hz	25.016 A	Same	0.016 A	Same	2.700 A	0.46 A	Pass
	45 A	50 Hz	45.059 A	Same	0.059 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
	45 A	60 Hz	45.033 A	Same	0.033 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
500 A	250 A	50 Hz	250.25 A	Same	0.25 A	Same	13.50 A	2.7 A	Pass
	450 A	50 Hz	450.44 A	Same	0.44 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
	450 A	60 Hz	450.24 A	Same	0.24 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
5 kA	0.5 kA	50 Hz	0.5005 kA	Same	0.0005 kA	Same	0.0430 kA	0.0044 kA	Pass
	1 kA	50 Hz	1.0007 kA	Same	0.0007 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass
	1 kA	60 Hz	1.0004 kA	Same	0.0004 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass
Input : CH-4	(With AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Hioki Model : CT7045, S/N.: 220452406)								
50 A	25 A	50 Hz	25.016 A	Same	0.016 A	Same	2.700 A	0.46 A	Pass
	45 A	50 Hz	45.025 A	Same	0.025 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
	45 A	60 Hz	44.995 A	Same	-0.005 A	Same	3.620 A	0.59 A	Pass
500 A	250 A	50 Hz	250.04 A	Same	0.04 A	Same	13.50 A	2.7 A	Pass
	450 A	50 Hz	450.09 A	Same	0.09 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
	450 A	60 Hz	449.90 A	Same	-0.10 A	Same	22.70 A	4.0 A	Pass
5 kA	0.5 kA	50 Hz	0.5003 kA	Same	0.0003 kA	Same	0.0430 kA	0.0044 kA	Pass
	1 kA	50 Hz	1.0004 kA	Same	0.0004 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass
	1 kA	60 Hz	1.0002 kA	Same	0.0002 kA	Same	0.0660 kA	0.0079 kA	Pass

AC Power Measurement Accuracy

Test Conditions:

1) Test Frequency: @ 50 Hz

2) Test Power Factor: 1

Applied Values Voltage	Applied Values Current	Applied Values Power	UUC Reading As Found	UUC Reading As Left	UUC Error As Found	UUC Error As Left	Tolerance (±)	Uncertainty (±)	Judgment
Input Voltage : U1, Current : CH-1.	(With AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Hioki Model : CT7045, S/N.: 220441113)								
300 V	45 A	13.5 kW	13.498 kW	Same	-0.002 kW	Same	1.565 kW	0.063 kW	Pass
	450 A	135 kW	134.96 kW	Same	-0.04 kW	Same	7.55 kW	0.63 kW	Pass
	1000 A	0.3 MW	0.2998 MW	Same	-0.0002 MW	Same	0.0261 MW	0.0014 MW	Pass
540 V	45 A	24.3 kW	24.298 kW	Same	-0.002 kW	Same	2.072 kW	0.11 kW	Pass
	450 A	243 kW	242.93 kW	Same	-0.07 kW	Same	12.62 kW	1.1 kW	Pass
	1000 A	0.54 MW	0.5397 MW	Same	-0.0003 MW	Same	0.0293 MW	0.0025 MW	Pass
Input Voltage : U2, Current : CH-2.	(With AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Hioki Model : CT7045, S/N.: 220441112)								
300 V	45 A	13.5 kW	13.485 kW	Same	-0.015 kW	Same	1.565 kW	0.063 kW	Pass
	450 A	135 kW	134.94 kW	Same	-0.06 kW	Same	7.55 kW	0.63 kW	Pass
	1000 A	0.3 MW	0.2999 MW	Same	-0.0001 MW	Same	0.0261 MW	0.0014 MW	Pass
540 V	45 A	24.3 kW	24.289 kW	Same	-0.011 kW	Same	2.072 kW	0.11 kW	Pass
	450 A	243 kW	242.89 kW	Same	-0.11 kW	Same	12.62 kW	1.1 kW	Pass
	1000 A	0.54 MW	0.5398 MW	Same	-0.0002 MW	Same	0.0374 MW	0.0025 MW	Pass
Input Voltage : U3, Current : CH-3.	(With AC FLEXIBLE CURRENT SENSOR, Hioki Model : CT7045, S/N.: 220441117)								
300 V	45 A	13.5 kW	13.517 kW	Same	0.017 kW	Same	1.565 kW	0.063 kW	Pass
	450 A	135 kW	135.15 kW	Same	0.15 kW	Same	7.55 kW	0.63 kW	Pass
	1000 A	0.3 MW	0.3003 MW	Same	0.0003 MW	Same	0.0261 MW	0.0014 MW	Pass
540 V	45 A	24.3 kW	24.337 kW	Same	0.037 kW	Same	2.072 kW	0.11 kW	Pass
	450 A	243 kW	243.26 kW	Same	0.26 kW	Same	12.62 kW	1.1 kW	Pass
	1000 A	0.54 MW	0.5405 MW	Same	0.0005 MW	Same	0.0374 MW	0.0025 MW	Pass

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

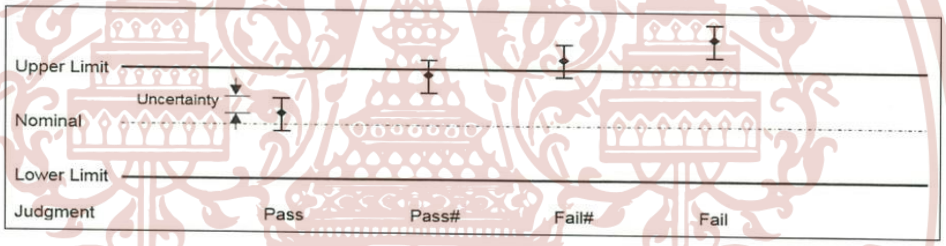
Certificate No.: E1U2402464

Notes:

1) Tolerances or specifications report in table above are based on technical specification of PQ3138, Hioki, Instructin Manual Power Quality Analyzer May 2020 Revised edition 1 PQ3198A961-01 20-051.
2) Statements of conformity (Judgment) are based on the decision rule described in the last page in this certificate.

Statements of Conformity

The standard decision rule employed for the statements of conformity to each calibration result in this certificate is applied by using ILAC-G8:09/2019; Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification as following Fig. and statements when the measurement uncertainty is taken into account.



- Pass = The measurement result plus the expanded uncertainty with a 95% coverage probability were within the specification limit. Then conformity with the specification is stated.
- Pass# = The measurement result was within the specification limit, but a portion of the expanded uncertainty with a 95% coverage probability was overlapped the specification limit. It is not possible to state conformity using the 95% coverage probability for the expanded uncertainty although the measurement result was below the limit.
- Fail# = The measurement result was out of the specification limit, but a portion of the expanded uncertainty with a 95% coverage probability was in the specification. It is not possible to state non-conformity using the 95% coverage probability for the expanded uncertainty although the measurement result was out of the limit.
- Fail = The measurement result plus the expanded uncertainty with a 95% coverage probability were outside the specification limit. Then non-conformity with the specification is stated.

The measurement results and the statements of conformity with specification only relate to the item calibrated.

When functional verification tests and other inspection without measurement uncertainty are performed, the reported results do not affect these statements of conformity.

-o0o-

ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลแบบอัลตราโซนิก Floko FM-200H Ultrasonic Flow Meter

CALIBRATION LABORATORY CO., LTD.
2/10-11,14,55 Soi Prasert Manukit 29 Yaek 4, Prasert Manukit Rd., Ladphrao, Bangkok 10230
Tel. 02-578-0353-4 Fax: 02-578-2672 www.cal-laboratory.com E-mail:sale@cal-laboratory.com

CLC Accredited ISO/IEC 17025

ilac-MRA

ANAB ANSI National Accreditation Board ACCREDITED ISO/IEC 17025 CALIBRATION AND DIMENSIONAL MEASUREMENT ACDM-2814

CERTIFICATE OF CALIBRATION

FOR

NOMENCLATURE	:	ULTRASONIC FLOW METER
MANUFACTURER	:	FLOKO
MODEL / TYPE	:	FM-200H
SERIAL NO.	:	82101502H/N/A [ITIT-FM01]
CLID. NO.	:	212402045
JOB CONTROL NO.	:	241206129755
CALIBRATION SERVICE	:	☑ IN-LABORATORY ☐ MOBILE

CUSTOMER :

DATE OF RECEIVED : 06 December 2024 DATE OF ISSUED : 09 December 2024

The report of calibration shall not be reproduced except in full without approval of the Calibration Laboratory Co., Ltd.

Calibrated By : Supphakit Sakuntaharn
Calibration Engineer

Approved By : Mongkol Yotsoontorn
Authorized Signatory
09 December 2024

This Calibration Certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

Certificate No. Q24129755

F3-011-05/12-23

CALIBRATION LABORATORY CO., LTD.
2/10-11,14,55 Soi Prasert Manukit 29 Yaek 4, Prasert Manukit Rd., Ladphrao, Bangkok 10230
Tel. 02-578-0353-4 Fax: 02-578-2672 www.cal-laboratory.com E-mail:sale@cal-laboratory.com
CLC Accredited ISO/IEC 17025
ANAB ACCREDITED ISO/IEC 17025 CALIBRATION AND DIMENSIONAL MEASUREMENT ACDM-2814

REPORT OF CALIBRATION

FOR

NOMENCLATURE	:	**ULTRASONIC FLOW METER**
MANUFACTURER	:	**FLOKO**
MODEL / TYPE	:	**FM-200H**
SERIAL NO.	:	**82101502H/N/A [ITIT-FM01]**
CALIBRATION SITE	:	**MOBILE FLOW**
DATE OF CALIBRATION	:	**07 December 2024**

ENVIRONMENT CONDITIONS :

Temperature : 32 °C to 33 °C **Relative Humidity : 48% to 49%**

PROCEDURE USED :

This instrument was calibrated under procedure No. **CLC-CPPF-02.** The calibration was performed by comparison with Mass Flow Meter which refers to the standard temperature condition @ 15 °C.

REFERENCE STANDARD USED :

Mass Flowmeter , Nagman Model NAGMASS 100 S/N. V1882003.

TRACEABILITY :

The measurements are traceable to International System of Units (SI), through Flowlab & Service Co., Ltd. Certificate No. FLS-LAB3-24-0801, Due Date 03 October 2026.

UNCERTAINTY :

The reported expanded uncertainty of measurement is stated as the standard uncertainty of measurement multiplied by the coverage factor complies with the table which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95 %. It has been evaluated according to the "Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration (EA-4/02 M:2022)"

CALIBRATION LABORATORY CO., LTD.
2/10-11,14,55 Soi Prasert Manukit 29 Yaek 4, Prasert Manukit Rd., Ladphrao, Bangkok 10230
Tel. 02-578-0353-4 Fax: 02-578-2672 www.cal-laboratory.com E-mail:sale@cal-laboratory.com
CLC Accredited ISO/IEC 17025
ANAB ANSI National Accreditation Board ACCREDITED ISO/IEC 17025 CALIBRATION AND DIMENSIONAL MEASUREMENT ACDM-2814

CONDITION OF CALIBRATION ITEM : RECEIVED IN GOOD OPERATIONAL CONDITION

MEASUREMENT RESULTS : (X) without adjustment ( ) adjustment

The table in the following gives the calibration results and associated measurement uncertainties of the measuring ultrasonic flow meter.

CALIBRATION DATA

ULTRASONIC FLOW METER RESULT

Test point (m^3/h)	DUC Reading (m^3/h)	STD Reading (m^3/h)	Correction (m^3/h)	Uncertainty $\pm$ (m^3/h)	Coverage factor k
100	99.929	100.200	+0.271	0.150	2,00
120	119.79	119.90	+0.11	0.18	2,00
150	148.37	148.70	+0.33	0.23	2,00

Technical Note. Type of calibration : Volume Flow

Display in used : DUC Display

Unit Display : m^3/hr

Standard pipe No. : 6″

Flange. : 6″

Wall Thickness : 3.4 mm

Pipe Material : Stainless Steel

Fluid Type : Water

Transducer Type : TM-1

Transducer Mounting : V-Method

Outside diameter : 168.3 mm

Scale Factor : 1.006

Signal : 99.680%

Damping : 10 s

Note. The Scope of Accredited ANAB Certificate No. ACDM-2814 Version 012 Page 48 of 67

This report is valid for the above stated instrument/s only.

End of Certificate

ใบรับรองการสอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิ Lutron TM-1947SD Thermometer ร่วมกับ Pt100 RTD Temperature Sensor



NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

ANSI National Accreditation Board
ACCREDITED
ISO/IEC 17025
CALIBRATION AND DIMENSIONAL MEASUREMENT
AC-2658

Certificate of Calibration

Customer :

Description of Equipment	:	Digital Thermometer
Model Number	:	TM-1947SD
Manufacturer	:	Lutron
Serial Number	:	I.539277
Control Number	:	ITIT-0004
Received Date	:	11-Jan-25
Calibrated Date	:	16-Jan-25
Work Order Number	:	TMU2500115
Certificate No.	:	TMU2500115
Page Number	:	1 of 3

We certify that the above mentioned measuring instrument was calibrated in accordance with our quality management system as the ISO/IEC 17025 : 2017 and all the standard equipment used for calibration were traceable to the International of System Units (SI Units) maintained at the National Institute of Metrology (NIMT), Thailand and/or other associated foreign national standards.

Issued Date : 17-Jan-25
Calibrated by : Mr. Peerapong Khowdee
Checked by : Mr. Peerapong Khowdee

Approved by :
- ☐ Mr. Theerapong Yuenhan / Calibration Manager
- ☑ Mr. Mongkhon Asawaolan / ISO & QA Manager
- ☐ Mr. Yanyong Pithong / Laboratory Manager

Approved Signatory

FEZ-0014-G-Form-06/V6/02/12/24

These uncertainties are based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor, k=2 corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

This certificate is issued in accordance with the conditions of accreditation by the ANSI National Accreditation Board (ANAB), which has assessed the management system of the laboratory and its traceability to recognized national standards and to the units of measurement realized at corresponding national standards laboratory. This certificate may not be reporoduced other than in full except with prior written approval from the laboratory manager.

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: TMU2500115

Environment Conditions

Ambient Temperature : (23 ± 3) °C
Ambient Relative Humidity : (55 ± 15) %rh
Calibration Place : Permanent Calibration Laboratory

Standard Equipment Used

Equip. No.	Equipment Name	Maker / Model	Serial No.	Certificate	Due Date
ST-04040	Secondary standard PRT	Hart / 5626	0900	TT-0098-23	21-Aug-25
ST-03030/1	Black Stack Thermometer	Hart / 1560	A39261	TMU2404034	10-Oct-25
ST-03030/2	PRT Scanner Module	Hart / 2562	A39537	TMU2404034	10-Oct-25
ST-15107	High Precision Bath	Fluke / 7341	B51591	TMU2404343	30-Oct-25

Traceability

This certificate is traceable to the International System of Unit (SI Unit) maintained at;
- National Institute of Metrology (NIMT), Thailand for temperature standard.

Uncertainty of Measurement

The uncertainty of measurement evaluation has been carried out by using the methodology in the JCGM 100:2008 ; Evaluation of measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995 with minor correction). These uncertainties are based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor, k=2 corresponds to a coverage probability of approximately 95%.

Calibration Method

The measuring equipment (Unit Under Calibration = UUC) has been calibrated in accordance with the in-house methods of the laboratory as the calibration work instruction no. T-0004-GE calibration of Temperature Measuring System with Temperature Sensors by comparison with SPRT/PRT/TC standard thermometers in the temperature source.

Calibration Results

The following results were the measurement results and applied on the calibrated item and found accurate as show on date and place of calibration only. The results in "**As Found**" column are the measurement recorded before any adjustment or repair. The results in "**As Left**" are the equipment reading taken after the necessary repairs and adjustments. In case the equipment dose not be adjusted or repaired, the column of "**As Left**" would be reported wording "**Same**".

NA Caltechnologies Co., Ltd.
75/107 Moo 11, Klongnueng, Klongluang, Pathumthani 12120 THAILAND
Tel. +662-529-2460-5 Fax. +662-529-2133, 529-2466
Email: sales-cal@nacal.co.th Website: www.nacal.co.th

Calibration Report

Certificate No.: TMU2500115

Calibration Results *(Continued)*

Appearance and Function of Use Inspection : Good

The thermometer has been calibrated with the following conditions;

Details of Sensor : Thermocouple Wire Type-K
- Model : ---
- Maker : ---
- Serial No. : ---
- Length : ---
- Diameter : ---

Details of Indicator : Digital Thermometer with Sensor
- Temp. Resolution : 0.1 °F
- Adjustment : None

Temperature Measurement Accuracy

UUC Channel	Standard Value (°F)	UUC Reading As Found (°F)	UUC Reading As Left (°F)	UUC Error As Found (°F)	UUC Error As Left (°F)	Uncertainty (± °F)	Tolerance (± °F)
Channel-T1 TC No. 1	30.01	32.5	Same	2.5	Same	0.2	5.1
	60.01	61.5	Same	1.5	Same	0.2	5.2
	80.02	81.0	Same	1.0	Same	0.2	5.3
	100.01	100.5	Same	0.5	Same	0.2	5.4
Channel-T2 TC No. 2	30.01	32.5	Same	2.5	Same	0.2	5.1
	60.01	61.5	Same	1.5	Same	0.2	5.2
	80.02	81.0	Same	1.0	Same	0.2	5.3
	100.01	100.5	Same	0.5	Same	0.2	5.4
Channel-T3 TC No. 3	30.01	32.5	Same	2.5	Same	0.2	5.1
	60.01	61.5	Same	1.5	Same	0.2	5.2
	80.02	81.0	Same	1.0	Same	0.2	5.3
	100.01	100.5	Same	0.5	Same	0.2	5.4
Channel-T4 TC No. 4	30.01	32.5	Same	2.5	Same	0.2	5.1
	60.01	61.5	Same	1.5	Same	0.2	5.2
	80.02	81.0	Same	1.0	Same	0.2	5.3
	100.01	100.5	Same	0.5	Same	0.2	5.4

Notes: 1. The temperature calibration points were assigned by the customer.
2. The tolerance values are based on the manufacturer's specification, TM-1947SD Users Manual include thermocouple tolerance class 2, EURAMET cg-8.

-o0o-

ภาคผนวก ง
แคตตาล็อกเครื่องทำน้ำเย็นจากผู้ผลิต

Features

Oil-free and high efficiency

Aerodynamic design, making full-load operation more efficient; the magnetic bearing avoids friction, making partial load more efficient and providing the maximum IPLV of 12.29; the full series have passed the AHRI certification.

Stable and reliable

Dual protection of self-generation control module + spare bearing, ensuring safe operation under multiple harsh conditions.

Eco-Friendly

Multi-technology joint adjustment widens the unit operation range while ensuring optimal efficiency; the cooling load of a single compressor can be as low as 10%.

Energy-saving

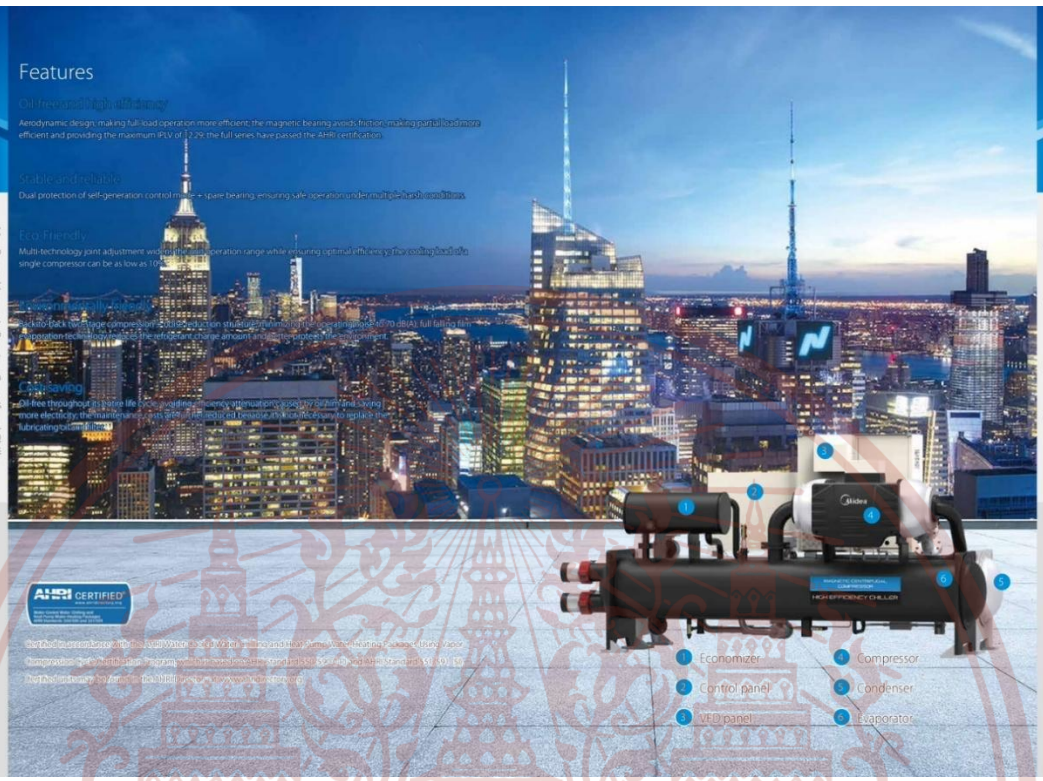
Back-to-back two-stage compression structure; noise reduction structure; maximum unit operating noise ≤ 70 dB(A); full falling film evaporation technology reduces the refrigerant charge amount and protects the environment.

Cost-saving

Oil-free throughout its entire life cycle; no oil supply, quality evaluation, quality control and saving more electricity; the maintenance costs such as the oil, oil pump and genuine lubricating oil replacement for the lubricating oil filter.

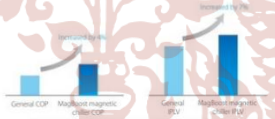
AHRI CERTIFIED

Certified in accordance with the Air-Cooled Water-Cooled Water-Cooled and Heat Pump Water-Heating Packaged Water Vapor Compression Refrigeration Programs, which incorporate those requirements in ANSI/AHRI Standards 550/590 and 340/360, within the limitations listed in the AHRI Directory (www.ahridirectory.org)



Oil-free and High Efficiency

MagBoost magnetic bearing centrifugal chiller boasts magnetic bearing technology, aerodynamic technology, a permanent magnet synchronous motor and full falling film evaporation technology. It combines Midea's unique back-to-back two-stage compression structure with higher energy efficiency as compared with the traditional magnetic bearing centrifugal chiller, improving the full-load energy efficiency by 4%* and improving the part-load energy efficiency by 2%*.

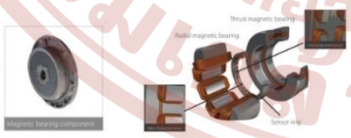


*The above data comes from the average energy efficiency comparison of Midea's new and old magnetic chillers.

Magnetic bearing technology

Industrial-level magnetic bearing assembly including the radial magnetic bearing, thrust magnetic bearing and position sensor, featuring low power consumption, high bearing capacity and high reliability.

- Power consumption less than 0.4kW, only 2% to 10% of that of conventional oil bearings.
- Breaks through the upper speed limits of conventional oil bearings, significantly reducing power consumption of the bearing at high speed; the higher the speed, the more energy efficient the magnetic bearing is compared to the oil bearing.





Bearing power consumption comparison

Aerodynamic technology

- Aerodynamic design optimizes the overall flow field efficiency and improves the compressor's isentropic efficiency.
- Back-to-back two-stage compression structure balances the thrust forces for longer life span and improves efficiency.
- Enclosed impeller design, reduced leakage and improved efficiency.
- 6% higher efficiency than single-stage compression.



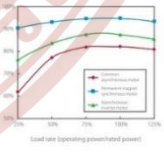


Back-to-back two-stage compression flow field analysis

Permanent magnet synchronous motor technology

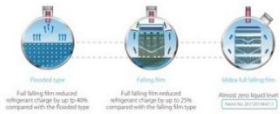
- Motor efficiency exceeds 96% in the full operating range, with the highest efficiency of up to 97%.
- The space vector pulse width modulation (SVPWM) technology is used for speed regulation and driving. Accurate and efficient operation is achieved according to changes in the operating conditions. The startup current is small, the operating current is low, the operating electricity charge and distribution cost of the whole life cycle are low.
- The real-time monitoring system of stator temperature and rotor shaft elongation achieve precise, highly-reliable cooling of the motor.





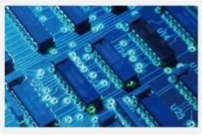
Full falling film evaporation technology

- First created the full falling film evaporator and adopted spray technology to achieve film evaporation on the surface of the heat exchange tube, greatly increasing overall heat transfer efficiency and reducing refrigerant charge by up to 40%.
- The patented refrigerant distributor can improve the homogeneity of the liquid to avoid local drying, fully showcasing the performance of the heat exchange tube and increasing unit efficiency.



Stable and Reliable

- MagBoost magnetic bearing centrifugal chiller is equipped with a self-generating mode after power failure and features a long-life spare bearing, which can achieve accurate and safe control of the magnetic bearing and ensure the safety of the magnetic bearing to guarantee high efficiency.
- The micro-channel refrigerant-cooled VFD technology substantially improves the reliability and adaptability of the VFD.



How to ensure accurate position control of the magnetic bearing?

Accuracy: 20-kHz high-frequency position monitoring, real-time correction output and position control precision at the μm level ensures accuracy of the shaft suspension position.

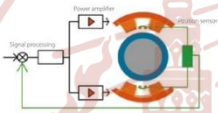


How does Midea ensure the safety of the bearing without lubricating oil after an unexpected power failure?

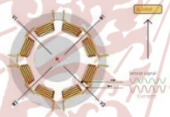
Safety: With dual protection of the self-generating mode and long-life spare bearing, a safe landing rate of spare bearing that is 10 times greater can be achieved when the compressor operates at max. speed, when the speed drops below 19% normal, landing is achieved.

Bearing control technology

- The bearing control system adopts prospective vibration compensation technology, which detects and controls the position at a high frequency to effectively reduce the impact of vibration on the rotating shaft by the amount of imbalance.
- 20 kHz dynamic position scanning and adjustment and position control precision at the μm level ensure the accuracy of the shaft levitation position.



Prospective bearing control principle

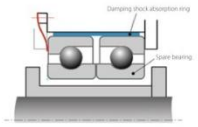


Bearing control diagram

Long-life spare bearing

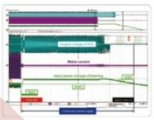
The spare bearing employs a set of high-strength rolling bearings and a damping shock absorption ring to effectively stop the rotor shaft during high-speed rotation if a magnetic bearing controller failure occurs, avoiding wear between the magnetic bearing, sensor and rotor and resulting in damage to the compressor.





Self-generation control technology

- Midea's self-developed VFD control + permanent magnet motor technology can automatically switch the motor to the generator mode in the event of unexpected power failure to ensure the stability of the bus voltage and the 40-750 V wide voltage adaptability of the bearing is combined to ensure the power supply safety of the magnetic bearing.
- The self-generating mode guarantees continuous power supply of above 15 Hz to the unit's magnetic bearing, ensuring the bearing remains levitating.



Micro-channel refrigerant-cooled VFD technology

Midea's independently-developed high-power VFD employs micro-channel refrigerant-cooled technology to fix problems such as high heat flux density, poor heat dissipation effects, tendency of liquid-cooled heat dissipation to form condensation, high network-side harmonic current, poor reliability of an abnormal power grid product, high stray inductance which easily damages IGBT, high temperature lack of temperature-reducing capacity, heavy air-cooled VFD and excessive noisiness of the high-power VFD, greatly improving reliability and adaptability of the VFD, enhancing the efficiency of the overall unit and greatly reducing noise.

High reliability motor cooling design and monitoring

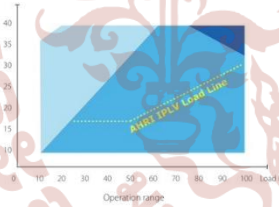
The whole flow field analysis and optimum design of the motor cooling channel is adopted to carry out real-time monitoring of the stator temperature and rotor elongation and to ensure operation reliability of the motor.



Multi-baffle 360° cooling

Wide-range Operation

Multi-technology bearing joint adjustment widens the unit operation range while ensuring optimal efficiency. The cooling load of a single compressor can be as low as 10% and the unit can operate normally when the cooling water drops to 12°C.



Operation range

- IGV + Inverter regulate
- Inverter regulate
- High-power motor regulate

Joint regulation of multiple technologies

- MagBoost magnetic bearing centrifugal chiller adopts the inverter and Inlet Guide Vane (IGV) to jointly regulate the cooling capacity. In extreme operating conditions, the guide vane opening starts to be reduced when the load becomes 50%.
- When the load is above 15% under normal operating conditions, the load is regulated solely by changing the speed, thus avoiding the additional flow loss caused by reduced opening of the IGV.



Inlet guide vane (IGV)

Low ambient temperature operation control technology

The low ambient temperature operation control technology ensures stable operation at a low cooling water temperature and provides a minimum cooling water temperature of 12°C.



Eco-Friendly

With reference to AHRI standard 575-2017, sound pressure ratings are as low as 70 dB(A)

- No physical contact between moving metal parts, very quiet and low vibration levels.
- The back-to-back impeller + external pipe-type reflux device structure of the compressor reduces the pneumatic noise of refrigerant while flowing.
- The specially designed compressor body structure uses the solid-gas-solid interface to dissipate high-frequency noise and achieve ideal sound insulation and noise reduction effects.



Traditional screw chiller

82-90 dB(A)



Traditional two-stage centrifugal chiller

80-85 dB(A)



MagBoost magnetic bearing centrifugal chiller

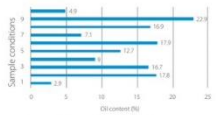
70-75 dB(A)

- LEED

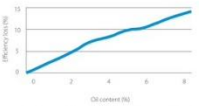
R134a refrigerant has zero ozone depletion potential and has no elimination cycle for now. Full falling film technology reduces refrigerant charge by up to 40% which enables to qualify for maximum leadership in Energy and Environmental Design® (LEED) points for Enhanced Refrigerant Management. And with the chiller's high efficiency, you can also earn additional points for credits from Optimized Energy Performance (EAc1).

Cost-saving

No friction between moving metal parts, better part-load performance and efficient operation under all operating conditions.
No oil system, no oil system fault and no need for regular maintenance.

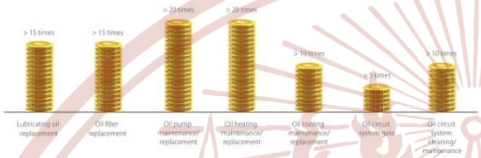


"The ASHRAE research report indicates that the oil content of most operating water chillers exceeds the standard" .
ASHRAE Research Report 601



Studies have shown that, when the oil content of unit heat exchanger is 3.5%*, the energy efficiency of the entire unit will be reduced by 8%*
* Data comes from the ASHRAE Research Report 601.

Part of maintenance items of centrifugal chiller with oil



Taking the project of three 250RT centrifugal chillers as an example:
Maintenance: In the 20-year service cycle, the magnetic centrifugal chiller can reduce the costs related to the oil circuit system by about 1 million RMB compared with conventional fixed-speed centrifugal chiller with oil.
Operating costs: Supposing that the operation duration is 12 hours a day and 6 months a year, the magnetic chiller can save approximately 8 million RMB in operation cost throughout its life cycle.

Note: The above data are for reference purposes only and accurate data are related to the actual application and management of each project. The magnetic centrifugal chiller also requires related maintenance items. The above description focuses on only some of the differences between units equipped with an oil system. Specific maintenance content is subject to the installation, operation and maintenance manual.

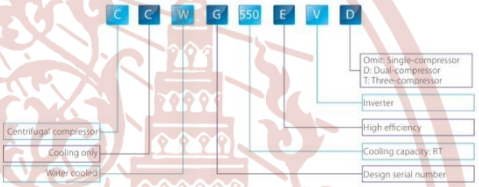
Options and Nomenclature

Optional applications

Items	Standard	Optional
Power supply	380V-3Ph-50Hz	380~460V, 3Ph/50Hz
High pressure water box	1.0MPa	1.6MPa, 2.0MPa
Anti-vibration	Rubber pad	Spring isolator
Insulation	20mm	40mm
Refrigerant isolation valve	×	√
Flow switch	×	√
Knockdown shipment	×	√
Marine water box	×	√
Vessel code	GB	ASME, PED
Pressure vessel pass	2	1 or 3
Heat recovery	×	√
Witness performance testing	×	√
Tube automatic cleaning system	×	√
Midea Chiller Plant Control	×	√
Midea Smart Cloud platform	×	√
QuickView	×	√
Low total harmonic current distortion (THDI)	≤35% (full load)	≤5% (full load)

Note: For other options, please contact with our engineers.

Nomenclature



Specifications

Model		CCWG	170EV	200EV	230EV	260EV	270EV	300EV
		RT	126	200	230	259	270	300
Cooling capacity		kW	597.7	703.2	808.7	897.0	949.3	1055
		10^kcal/h	51.41	60.48	69.53	75.60	81.65	90.72
Power input		kW	93.43	107.6	122.3	134.3	143.1	161.8
COP		W/W	6.398	6.532	6.610	6.547	6.604	6.551
IPLV		W/W	10.28	10.54	11.11	11.36	11.79	10.69
Motor configuration power		kW	110.0	130.0	150.0	150.0	160.0	200.0
Rated current		A	152.6	175.8	206.8	231.6	274.0	263.0
Max. operating current		A	167.9	185.3	227.5	254.8	301.4	289.3
Evaporator	Water flow	m³/h	92.35	108.6	124.9	138.8	146.7	163.0
	Pressure drop	kPa	31.4	41.9	46.6	54.4	47.0	46.2
	Water pipe connection	mm	DN150	DN150	DN150	DN150	DN150	DN200
Condenser	Water flow	m³/h	115.1	134.1	155.1	172.8	182.1	202.5
	Pressure drop	kPa	26.8	35.8	38.0	44.8	39.6	45.7
	Water pipe connection	mm	DN150	DN150	DN150	DN150	DN150	DN200
Unit dimensions	Length	mm	3500	3500	3500	3500	3500	4150
	Width	mm	1400	1400	1400	1400	1400	1500
	Height	mm	1800	1800	1800	1800	1800	1850
Shipping weight		kg	3110	3116	3225	3225	3355	4430
Running weight		kg	3660	3666	3735	3735	3945	5025

Model		CCWG	350EV	380EV	400EV	430EV	500EVD	560EVD
		RT	350	380	400	430	500	550
Cooling capacity		kW	1230	1340	1406	1477	1758	1934
		10^kcal/h	105.8	114.9	121.0	127.0	151.2	166.3
Power input		kW	187.8	203.4	216.2	227.8	263.3	296.6
COP		W/W	6.465	6.568	6.506	6.481	6.678	6.519
IPLV		W/W	11.24	11.29	11.43	11.47	12.02	12.29
Motor configuration power		kW	280.0	280.0	280.0	280.0	2×150.0	2×160
Rated current		A	378.0	432.8	453.2	472.2	430.1	484.6
Max. operating current		A	341.8	360.6	388.5	409.4	473.1	533.1
Evaporator	Water flow	m³/h	190.1	206.9	217.2	228.2	271.6	298.8
	Pressure drop	kPa	46.0	49.0	47.7	47.4	61.2	62.6
	Water pipe connection	mm	DN200	DN200	DN200	DN200	DN250	DN250
Condenser	Water flow	m³/h	236.6	256.4	270.3	281.9	336.7	371.5
	Pressure drop	kPa	49.4	54.1	50.1	53.2	63.7	63.0
	Water pipe connection	mm	DN200	DN200	DN200	DN200	DN250	DN250
Unit dimensions	Length	mm	4150	4150	4150	4150	4650	4650
	Width	mm	1650	1650	1850	1850	2000	2000
	Height	mm	1850	1850	1950	1950	2400	2400
Shipping weight		kg	5100	5140	5980	6030	8560	8760
Running weight		kg	5705	5765	6735	6800	9930	10130

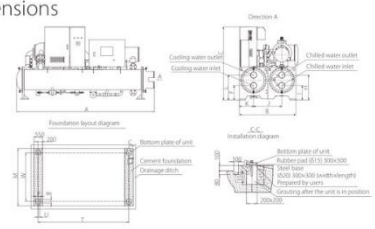
Note:
1. Performance and efficiency are based on AHRI 550/590-2018.
Evaporator conditions: water inlet=54°F (12.22°C), water outlet=44°F (6.67°C), fouling factor=0.00010h·ft²·°F/Btu (0.0176m²·°C/kW).
Condenser conditions: water inlet=85°F (29.44°C), water outlet=94.3°F (34.61°C), fouling factor=0.00025h·ft²·°F/Btu (0.0440m²·°C/kW).
2. The design's max working pressure for both the evaporator and condenser are 1.0MPa, but higher pressure can be customized if required.
3. The model in the selection software is CCWE***W, # is the production serial number and the actual product shall prevail.
4. As a result of the continuous improvement of the product, the above parameters may be changed, please refer to the software selection and the actual product.

Model		CCWG	600EVD	650EVD	700EVD	750EVD	800EVD	850EVD
		RT	600	650	700	750	800	850
Cooling capacity		kW	2110	2285	2461	2637	2813	2989
		10^kcal/h	181.4	196.6	211.7	226.8	241.9	257.0
Power input		kW	311.2	339.3	370.2	398.4	427.8	461.6
COP		W/W	6.779	6.736	6.649	6.754	6.676	6.475
IPLV		W/W	11.18	11.46	11.68	11.78	11.93	11.90
Motor configuration power		kW	2x280.0	2x280.0	2x280.0	2x280.0	2x280.0	2x280.0
Rated current		A	504.4	554.1	604.7	654.8	698.3	754.1
Max. operating current		A	599.7	658.7	665.2	778.5	837.7	878.5
Evaporator	Water flow	m³/h	325.9	353.1	380.3	407.4	434.6	461.7
	Pressure drop	kPa	67.6	67.3	67.6	67.5	66.5	66.7
	Water pipe connection	mm	DN300	DN300	DN300	DN300	DN300	DN300
Condenser	Water flow	m³/h	408.3	447.3	471.7	504.4	538.8	574.7
	Pressure drop	kPa	64.9	65.4	66.0	66.3	66.0	67.5
	Water pipe connection	mm	DN300	DN300	DN300	DN300	DN300	DN300
Unit dimensions	Length	mm	5050	5050	5050	5050	5050	5050
	Width	mm	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	Height	mm	2200	2200	2200	2200	2200	2200
Shipping weight		kg	10690	10820	12050	12170	13320	12430
Running weight		kg	11825	12030	13340	13520	13752	13925

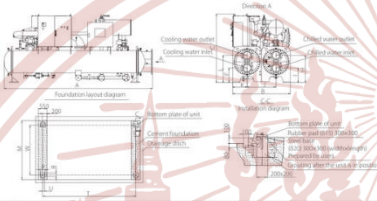
Model		CCWG	950EVT	1000EVT	1100EVT	1200EVT	1250EVT
		TRT	950	1000	1100	1200	1250
Cooling capacity		kW	3340	3516	3868	4219	4395
		10^kcal/h	287.3	302.4	332.8	362.9	378.0
Power input		kW	494.1	522.6	573.2	632.4	676.7
COP		W/W	6.760	6.729	6.747	6.672	6.495
IPLV		W/W	11.64	11.70	11.78	11.84	11.73
Motor configuration power		kW	3x280.0	3x280.0	3x280.0	3x280.0	3x280.0
Rated current		A	807.2	853.7	936.4	1033.1	1105.5
Max. operating current		A	887.9	939.1	1030.0	1136.4	1216.1
Evaporator	Water flow	m³/h	516.1	543.2	597.5	651.9	679.0
	Pressure drop	kPa	65.9	66.0	65.7	64.9	65.2
	Water pipe connection	mm	DN300	DN300	DN300	DN300	DN300
Condenser	Water flow	m³/h	638.7	672.7	739.8	808.2	844.8
	Pressure drop	kPa	65.4	66.0	66.5	67.2	67.8
	Water pipe connection	mm	DN300	DN300	DN300	DN300	DN300
Unit dimensions	Length	mm	5050	5050	5050	5050	5050
	Width	mm	2600	2600	2600	2600	2600
	Height	mm	2450	2450	2450	2450	2450
Shipping weight		kg	14420	14600	14809	15090	15210
Running weight		kg	16340	16590	16945	17305	17585

Note:
1. Performance and efficiency are based on AHRI 550/590-2018.
Evaporator conditions: water inlet=54°F (12.22°C), water outlet=44°F (6.67°C), fouling factor=0.00010h·ft²·°F/Btu (0.0176m²·°C/kW).
Condenser conditions: water inlet=85°F (29.44°C), water outlet=94.3°F (34.61°C), fouling factor=0.00025h·ft²·°F/Btu (0.0440m²·°C/kW).
2. The design's max working pressure for both the evaporator and condenser are 1.0MPa, but higher pressure can be customized if required.
3. The model in the selection software is CCW***W, # is the production serial number and the actual product shall prevail.
4. As a result of the continuous improvement of the product, the above parameters may be changed, please refer to the software selection and the actual product.

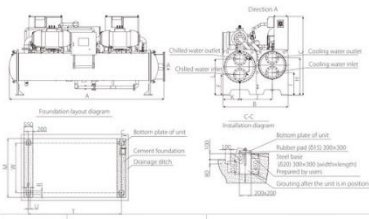
Dimensions



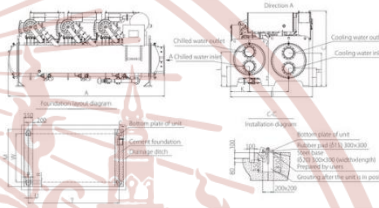
Model	Dimensions			Support						Pipe locate position							
	Length (A)	Width (B)	Height (C)	M	W	P	R	U	T	F	L	K	I	H	J	Evaporator pipe diameter	Condenser pipe diameter
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
CCWG170EV	3500	1400	1800	1750	1250	240	200	100	2820	350	640	350	350	610	700	DN150	DN150
CCWG200EV																	
CCWG230EV																	
CCWG250EV																	
CCWG270EV																	



Model	Dimensions			Support						Pipe locate position							
	Length (A)	Width (B)	Height (C)	M	W	P	R	U	T	F	L	K	I	H	J	Evaporator pipe diameter	Condenser pipe diameter
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
CCWG300EV	4150	1610	1850	2000	1400	240	200	100	3280	405	725	400	405	715	200	DN200	DN200
CCWG350EV																	
CCWG380EV																	
CCWG400EV	4150	1810	1900	2200	1600	240	200	100	3280	445	815	450	445	815	900	DN200	DN200
CCWG420EV																	



Model	Dimensions			Support						Pipe locate position							
	Length (A)	Width (B)	Height (C)	M	W	P	R	U	T	F	L	K	I	H	J	Evaporator pipe diameter	Condenser pipe diameter
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
CCWG500EVD	4650	2000	2400	2350	1750	240	200	200	3780	620	1090	500	680	1125	975	DN250	DN250
CCWG600EVD																	
CCWG680EVD																	
CCWG580EVD																	
CCWG700EVD	5050	2000	2200	2550	1750	340	200	109	4080	485	945	500	535	995	975	DN300	DN300
CCWG750EVD																	
CCWG850EVD																	
CCWG900EVD																	



Model	Dimensions			Support						Pipe locate position							
	Length (A)	Width (B)	Height (C)	M	W	P	R	U	T	F	L	K	I	H	J	Evaporator pipe diameter	Condenser pipe diameter
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
CCWG550EVT	5054	2600	2450	3145	2340	390	270	200	4080	850	1120	610	585	1083	1270	DN300	DN300
CCWG650EVT																	
CCWG750EVT																	
CCWG700EVT																	
CCWG750EVT																	

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายณัฐพล แหล่งสนาม

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบชิลเลอร์ชนิด Magnetic Bearing Dual-Stage

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน

ประวัติ

การศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมต่อเรือและเครื่องกลเรือ (ปฏิบัติงานบนเรือ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
การทำงาน	Project Engineer-Commissioning Midea International Business Asia & Pacific บริษัท ไมเดีย โปรดักส์ (ไทยแลนด์) จำกัด (Midea Products (Thailand) Co., Ltd.)
วัน เดือน ปีเกิด	14 กรกฎาคม 2539
ที่อยู่ปัจจุบัน	99/268หมู่บ้าน เดอะเฟิร์ส โฮม ถนน ลำลูกาคลอง 2 ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัด ปทุมธานี12130

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ