การทำความเย็นด้วยการดูดซับรังสีความร้อนด้วยผนังและพื้น

Wall and Floor Radiant Cooling system

เคน เลิศดำรงลักษณ์

พรพิพัฒน์ พรสุนทรทวี

พร้อม วงศ์พาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทำความเย็นด้วยการดูดซับรังสีความร้อนด้วยผนังและพื้น

Wall and Floor Radiant Cooling system

เคน เลิศดำรงลักษณ์

พรพิพัฒน์ พรสุนทรทวี

พร้อม วงศ์พาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Wall and Floor Radiant Cooling system

Ken Lertdumrongluck

Pornphiphat Pornsoontorntawee

Prom Vongpanit

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทำความเย็นด้วยการดูดซับรังสีความร้อนด้วยผนังและพื้น
Wall and Floor Radiant Cooling system

ผู้จัดทำ

1. นายเคน เลิศดำรงลักษณ์ รหัสประจำตัว 60010122
2. นายพรพิพัฒน์ พรสุนทรทวี รหัสประจำตัว 60010661
3. นายพร้อม วงศ์พาณิชย์ รหัสประจำตัว 60010666

_____ อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทำความเย็นด้วยการดูดซับรังสีความร้อนด้วยผนังและพื้น

เคน	เลิศดำรงลักษณ์	60010122
พรพิพัฒน์	พรสุนทรทวี	60010661
พร้อม	วงศ์พาณิชย์	60010666
ผศ.ดร.จินดา	เจริญพรพาณิชย์	อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ระบบปรับอากาศโดยทั่วไป นิยมทำความเย็นโดยการพาความร้อน ซึ่งอาจมีปัญหาบางอย่าง เช่น อากาศเย็นรั่วออก หรือความสิ้นเปลืองจากการทำความเย็นอากาศที่เข้ามา เพื่อการระบายอากาศ ซึ่งระบบทำความเย็นโดยการแผ่รังสี ทางทฤษฎีแล้ว สามารถลดปัญหาเหล่านี้ และมีอัตราการใช้พลังงานที่ต่ำกว่า งานวิจัยนี้จะศึกษาเกี่ยวกับระบบการทำความเย็นโดยการแผ่รังสีในครัวเรือน เพื่อหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยที่ยังคงสภาวะสบายไว้ เพื่อนำไปต่อยอดในการพัฒนาระบบให้สามารถใช้งานในครัวเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทางผู้วิจัยได้ติดตั้งระบบทำความเย็นโดยการแผ่รังสี และใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิตามตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิวและอากาศในห้องทดลอง เก็บข้อมูลในสภาวะต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ และหาการตั้งค่าที่ดีที่สุดในสภาวะต่างๆ ที่เวลาต่างกัน ซึ่งตัวแปรต้น คืออุณหภูมิภายนอก แสงแดดในแต่ละช่วงเวลา การตั้งค่าอุปกรณ์ภายในห้อง ทั้งชิลเลอร์ เครื่องสูบน้ำ และระบบทำความเย็นแบบแยกส่วน (Split type) ตัวแปรตามที่ใช้คำนวณคือ อัตราการใช้พลังงาน อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิพื้นผิวห้อง ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับคือการออกแบบระบบการทำงานและเทคนิคการควบคุมระบบการทำความเย็นแบบการแผ่รังสีให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง จากผลการทดลองพบว่า ระบบปรับอากาศแผ่รังสีที่ตั้งค่าได้ดีที่สุดในการทดลองนี้ สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนถึงร้อยละ 70 หากเปรียบเทียบเฉพาะระบบแผ่รังสีด้วยกันเอง พบว่า อุณหภูมิน้ำควรตั้งค่าไว้ที่ 15 องศาเซลเซียส และควรเปิดเครื่องสูบน้ำนอกชิลเลอร์ที่กำลังช่วงกำลัง 230 วัตต์ ความถี่ 30 เฮิรตซ์ ซึ่งใช้พลังงานน้อยกว่าความถี่ที่สูงกว่าถึงร้อยละ 35 โดยไม่ลดประสิทธิภาพการทำความเย็น และเทียบกับระบบที่ไม่เปิดเครื่องสูบน้ำนอกชิลเลอร์ พบว่าระบบที่เปิดเครื่องสูบน้ำจะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า ประมาณร้อยละ 18.14 จากผลการทดลอง ทางทีมงานเสนอให้ใช้ถังเก็บน้ำเพิ่มจากการทำงานขึ้นมา และให้เปิดระบบทุกๆ 2 ชั่วโมง เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง คาดว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นได้จาก 3.57 เป็น 5.01 เพิ่มขึ้นมาถึงร้อยละ 28.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คำหลัก: อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ย, โอเปอร์เรทีฟ

Wall and Floor Radiant Cooling system

Ken	Lertdumrongluck	60010122
Pornphiphat	Pornsoontorntawee	60010661
Prom	Vongpanit	60010666
Asst.Prof.Dr.Chinda	Charoenphonphanich	Advisor

ABSTARCT

The conventional air conditioning system usually cools the room by heat convection. This system may cause some problems, E.g., leak of cold air or energy loss from cooling incoming air. The radiant cooling system theoretically can solve these problems. This study investigates the radiant cooling system in domestic use to gather the energy consumption rate while keeping comfortable environment to further develop the system to be able to utilize in domestic use effectively. The researcher installed the radiant cooling system and the temperature sensors to gather and analyze data to find out the most effective settings in different environment. The early variables are outside temperature, solar radiation in each time of day, the setting of the device in the testing room including chiller, pump, and split type air conditioner. The dependent variables are energy consumption rate, air temperature and room surface temperature. From the results the best radiant cooling system setting in this experiment consumes 50% more energy than the split-type system. Considering the ratio between power consumption to temperature difference between inside and outside. If compared between each settings of the radiant cooling system. We found out that the best setting is water temperature 15C with pump power 230W 30Hz(may varies to pressure loss in different systems) which consumes 35% less energy compared to higher pump frequencies and increases cooling efficiency by 18.14% from the experiment we recommended to utilize the external water tank and run the system every 2 hours for 1 hours. This could increase the cooling efficiency form 3.57 to 5.01 which is increased by 28.74%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Keywords: Mean radiant temperature, Operative temperature

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงมิอาจเสร็จได้ด้วยดีหากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน ลำดับแรกที่ต้องกล่าวถึงคืออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือ รวมไปถึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณบริษัท คาซ่า เทค จำกัด ที่ให้คำปรึกษา แนะนำวิธีการทำงานและสนับสนุนอุปกรณ์ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์สำนักหอสมุดกลางที่เป็นแหล่งสนับสนุนทางตำราและเอกสารอ้างอิงตลอดจนเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกทุกๆเรื่อง ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่สนับสนุนงบประมาณในการทำโครงงานรวมทั้งบุคคลอื่นๆ ที่มิได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ที่มีส่วนร่วมทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่มิอาจลืมได้ บุคคลที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้บิดามารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดีพร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังมอบกำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

เคน เลิศดำรงลักษณ์
พรพิพัฒน์ พรสุนทรทวี
พร้อม วงศ์พาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญรูป.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีที่หรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....2

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 บทนำ.....3

2.2 ระบบทำความเย็น.....3

2.2.1 ระบบทำความเย็นพื้นฐาน.....3

2.2.1.1 ระบบบีบอัด (Compression).....3

2.2.1.2 ระบบควบแน่น (Condensation).....3

2.2.1.3 ระบบขยายตัว (Expansion).....3

2.2.1.4 ระบบระเหย (Evaporation).....3

2.2.2 ประสิทธิภาพพลังงาน.....5

2.2.2.1 อุปกรณ์ใช้.....5

2.2.2.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER).....5

2.2.2.3 ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามฤดูกาล (SEER).....5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

2.2.3 ระบบปรับอากาศรูปแบบต่างๆ.....5
2.2.3.1 ระบบปรับอากาศในครัวเรือน มี 2 ประเภทหลักๆ.....5
1 ระบบความเร็วคงที่ (Fixed speed).....5
2 ระบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter หรือ Variable speed.....6
2.2.3.2 ระบบ HVAC (Heating, Ventilation, and Air-conditioning).....6
2.2.3.3 เครื่องทำน้ำเย็น.....7
1 แบ่งตามการระบายความร้อน.....7
1.1 เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ.....7
1.2 เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ.....7
2 แบ่งตามชนิดของคอมเพรสเซอร์.....7
2.1 คอมเพรสเซอร์แบบอาศัยแรงเหวี่ยง.....7
2.2 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ.....8
2.3 คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย หรือแบบสโครล.....9
2.4 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู.....9
2.5 คอมเพรสเซอร์แบบดูดซึม.....10
2.2.3.4 เครื่องสูบน้ำ.....11
1 เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยง.....11
2 เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี.....11
3 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ.....11
2.3 สภาวะของอากาศและตารางไซโครเมตริก (Psychometric Chart).....12
2.4 สภาวะสบายของมนุษย์.....12
2.4.1 การนำความร้อน.....12
2.4.2 การพาความร้อน.....12
2.4.3 การระเหย.....13
2.4.4 การแผ่รังสีความร้อน.....13
2.5 เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ ก.ค. 2563.....14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....15

3.1 บทนำ....15

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ....16

3.3 อุปกรณ์การทดลอง....16

3.3.1 อาคารวิจัย....16

3.3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ....19

3.3.2.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ ชนิด PT-100....19

3.3.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ ชนิดอินฟราเรดแบบมือถือ....20

3.3.3 เครื่องดูดความชื้น....21

3.3.4 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ....22

3.3.5 ระบบน้ำหล่อเย็น....22

3.3.5.1 York YVAG-18 Reversible Heat Pump....22

3.3.5.2 เครื่องสูบน้ำ....23

3.3.5.3 ชุดแมนิโฟลด์ (Manifold)....24

3.3.6 ระบบ HVAC แบบแยกส่วน....25

3.4 ระบบควบคุมการทำความเย็นและการจ่ายน้ำในระบบ....25

3.5 การเก็บข้อมูลและการเรียกดูข้อมูล....26

3.5.1 ระบบเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจากเซนเซอร์....26

3.5.2 ระบบเก็บข้อมูลการสิ้นเปลืองพลังงานโดยรวมระบบ....26

3.5.3 ระบบการไหลของน้ำ....26

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล....26

บทที่ 4 วิธีการทดลองและผลลัพธ์....28

4.1 บทนำ....28

4.2 วิธีการทดลอง....28

4.3 ผลการทดลอง....30

4.4 ตัวอย่างแผนภูมิ....38

4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง....46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....50
5.1 สรุปและอภิปรายผล.....50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....50
5.3 ปัญหาจากการศึกษา.....51
5.4 ข้อเสนอแนะ.....51
ภาคผนวก.....52
บรรณานุกรม.....74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศกับเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ....7

2.2 สรุปคุณสมบัติของเครื่องทำน้ำเย็นรูปแบบต่างๆ....10

2.3 แสดงประสิทธิภาพของระบบความเร็วคงที่ (Fixed speed)....14

2.4 แสดงประสิทธิภาพของระบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter หรือ Variable speed)....14

4.1 ระบุตัวแปรที่ใช้เป็นหัวข้อของตารางข้อมูลต่างๆ....29

4.2 ระบุค่าตัวแปรต้นในการทดลองของระบบทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี....29

4.3 ระบุค่าตัวแปรต้นในการทดลองของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน....30

4.4 แสดงข้อมูลของระบบเมื่อไม่มีการเปิดใช้งานเครื่องสูบน้ำแยกแต่ละขดท่อ....31

4.5 แสดงข้อมูลของระบบ เมื่อเปิดเครื่องสูบน้ำเข้าสู่อาคารทดสอบที่ความถี่ไฟฟ้า 30 เฮิรตซ์... 31

4.6 แสดงข้อมูลขณะเริ่มเปิดระบบ เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของระบบ....32

4.7 แสดงข้อมูลขณะปิดระบบ เพื่อเปรียบเทียบการคงสภาวะสบายด้วยอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟของระบบ....33

4.8 แสดงข้อมูลของระบบเมื่อคงอุณหภูมิน้ำไว้ที่ 15 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยเทียบกับความถี่ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ....34

4.9 แสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาของวันในฤดูร้อน....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กราฟ P-h แสดงวงจรการทำความเย็น....4

2.2 แผนภาพการทำความเย็นอย่างง่าย....4

2.3 ส่วนเครื่องส่งลม (Air Handling Unit หรือ AHU) ของระบบ HVAC....6

2.4 YORK® YZ Magnetic Bearing Centrifugal Chiller....7

2.5 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ TECOCHILL® DTxSERIES....8

2.6 50TR Scroll Type Mini Water Cooled Scroll Chiller With Daikin Compressor....9

2.7 York Milllennium Model YS series....9

2.8 แผนภาพหลักการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบดูดซึม....10

2.9 แผนภาพไซโครเมตริก....12

3.1 แผนภาพการดำเนินการทำวิจัย....15

3.2 แบบแปลนอาคารวิจัยชั้นที่ 1....17

3.3 ท่อน้ำถูกติดตั้งเหนือระแนงเพดานไม้ และติดกับผนังเพดานของชั้นที่ 1....17

3.4 แบบแปลนอาคารวิจัยชั้นที่ 2....18

3.5 รูปตัดของอาคารวิจัย มองจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ....18

3.6 รูปตัดของอาคารวิจัย มองจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก....19

3.7 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ....19

3.8 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิ แดง-บนกำแพงภายใน เขียว-กำแพงภายนอก น้ำเงิน-แขวนในอากาศ....20

3.9 เครื่องวัดอุณหภูมิด้วยอินฟราเรดรุ่น KENDO 35520....21

3.10 เครื่องปรับความชื้นในอากาศ Energy Solution DS-50i....21

3.11 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ....22

3.12 York YVAG-18 Heat pump....22

3.13 เครื่องสูบน้ำ EBARA CDX 90/10 IE3....23

3.14 แผนภาพประสิทธิภาพของ EBARA CDX 90/10 IE3....23

3.15 ชุด Manifold พร้อมกับมิเตอร์วัดอัตราการไหล (สีแดง) และวาล์วปรับอัตราการไหล (สีฟ้า)....24

3.16 หน้าต่างใช้งานของแอปพลิเคชัน IoTMQTT....25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 แผนภูมิแสดงข้อมูลอุณหภูมิภายนอกระบบโดยเฉลี่ยของ 4 ช่วงเวลาในแต่ละวัน ของเดือนเมษายน ปี พ.ศ.2564.....30
4.2 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเปิด และปิดใช้งานเครื่องสูบน้ำ.....34
4.3 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อปรับความถี่ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ เท่ากับ 30 35 และ 40 เฮิรตซ์.....35
4.4 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อเปิดการใช้งานเครื่องสูบน้ำของขดท่อภายในกำแพง โดยมีค่าความชันของกราฟประมาณ -10.637 $W/°C^2$.....35
4.5 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อปิดการใช้งานเครื่องสูบน้ำของขดท่อภายในกำแพง โดยมีค่าความชันของกราฟประมาณ -32.78 $W/°C^2$.....36
4.6 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยมีค่าความชันของกราฟประมาณ -10.781 $W/°C^2$.....36
4.7 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ยของระบบปรับอากาศทั้ง 3 ระบบ.....37
4.8 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 18 องศาเซลเซียส.....38
4.9 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ ในช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 18 องศาเซลเซียส.....39
4.10 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 18 องศาเซลเซียส.....39
4.11 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงเช้า (06.00 น. – 11.59 น.) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส.....40
4.12 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ ในช่วงเช้า (06.00 น. – 11.59 น.) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส.....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.13 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงเช้า (06.00 น. – 11.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส.....41

4.14 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงบ่าย (12.00 น. – 17.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส.....42

4.15 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ
ในช่วงบ่าย (12.00 น. – 17.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส.....42

4.16 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงบ่าย (12.00 น. – 17.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส.....43

4.17 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงค่ำ (18.00 น. – 23.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส.....44

4.18 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ
ในช่วงค่ำ (18.00 น. – 23.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส.....44

4.19 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงค่ำ (18.00 น. – 23.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส.....45

4.20 ระบบน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน.....46

4.21 ระบบที่ผู้ทดลองได้ทำการออกแบบใหม่.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) เป็นสิ่งที่สามารถพบเห็นได้ตามสถานที่ต่างๆ และมีการใช้งานระบบดังกล่าวกันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคครัวเรือน โรงงานอุตสาหกรรม อาคารพาณิชย์ หรือห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ซึ่งระบบดังกล่าวมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสิ้นเปลือง การนำระบบทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีเข้ามาใช้ควบคู่กับระบบเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนนั้นจะสามารถลดภาระที่เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนต้องแบกรับ โดยระบบทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีใช้หลักการการถ่ายโอนความร้อนแบบคลื่นระหว่างสองพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่างกัน และหล่อเย็นกำแพงโดยการฝังท่อน้ำเย็นภายในกำแพง และฝังฉนวนกันความร้อนไว้ในกำแพงอีกหนึ่งชั้นเพื่อลดความร้อนที่จะเข้ามาในห้องปรับอากาศ

การทำให้ระบบทั้งสองประหยัดไฟกว่าการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพียงระบบเดียว จำเป็นที่จะต้องหาจุดสมดุลในแต่ละสภาพแวดล้อมภายนอก อาทิเช่น อุณหภูมิอากาศภายนอก ความเข้มของแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ฯลฯ รวมไปถึงบริบทของผู้ที่อยู่ภายในห้องที่มีระบบปรับอากาศดังกล่าวด้วย โดยสภาวะสบายเชิงความร้อนภายในระบบควรเป็นไปตามมาตรฐาน ASHRAE 55 [1] โดยมีการลดการใช้พลังงาน และต้องต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพียงอย่างเดียว

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาการทำงานควบคู่กันระหว่างระบบการทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศหรือ HVAC (Heating, Ventilation, and Air-conditioning) กับการทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสี (Radiant cooling)

1.2.2 ศึกษาอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในระบบทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในสภาวะแวดล้อมของประเทศไทย

1.2.3 ศึกษาวิธีการลดพลังงานที่ต้องใช้ในการปรับอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (Operative temperature) ให้เหมาะสมตามสภาวะสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ (Human Thermal Comfort)

1.2.4 ศึกษาผลกระทบจากการติดตั้งท่อหล่อเย็นแบบเปลือยบนผิวผนัง โดยไม่มีการโบกปูนทับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 ทราบถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำที่ต้องใช้ในระบบทำความเย็นโดยหลักการแผ่รังสีในสภาวะแวดล้อมของประเทศไทย

1.3.2 ทราบถึงตารางเวลาของการเปิดและปิดเครื่องทำความเย็นหรือชิลเลอร์ (Chiller) กับเครื่องสูบน้ำที่จะสามารถประหยัดการใช้พลังงานโดยไม่กระทบต่อประสิทธิภาพในการทำความเย็นจนเกินไป และสามารถรักษาสภาวะสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ได้

1.3.3 ทราบถึงผลกระทบและการรับมือกับผลกระทบของการเดินท่อเปลือยบนผิวกำแพง

1.4 ทฤษฎีที่หรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1.4.1 อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (Operative temperature)

1.4.2 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนโดยหลักการแผ่รังสี

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 วางแผนตารางเวลาของการเปิดและปิดชิลเลอร์กับเครื่องสูบน้ำ โดยที่ยังสามารถควบคุมอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟให้อยู่ประมาณ 25 องศาเซลเซียสได้

1.5.2 ออกแบบการเดินท่อในส่วนที่เชื่อมต่อออกจากเครื่องสูบน้ำใหม่ เพื่อลดการใช้งานเครื่องสูบน้ำลงอย่างน้อย 1 ตัว

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.1 ศึกษาทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสี (Radiant Heat Transfer)

1.2 ศึกษาหลักการและระบบทำความเย็นแบบ Radiant Cooling ที่บริษัท คาซ่า เทค จำกัด

1.3 ศึกษาสภาวะสบายของมนุษย์จาก ASHRAE 55 [1]

1.4 ศึกษาควบคู่ไปกับการทำความเข้าใจในการทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่อาคารวิจัย

1.5 ทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารวิจัย โดยเปิดเพียงระบบน้ำหล่อเย็นกำแพง

1.6 ทำความเข้าใจการควบคุมระบบทำความเย็นจากระยะไกล ซึ่งถูกติดตั้งหลังจากเริ่มเก็บข้อมูลไปได้หนึ่งเดือน

1.7 ทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของอาคารวิจัย โดยเปิดใช้ทั้งระบบ HVAC แบบแยกส่วนและระบบน้ำหล่อเย็นกำแพงควบคู่กัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูล

1.8 นำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้มาศึกษาหาแนวทางการลดการสิ้นเปลืองของระบบที่สภาวะต่างๆ

1.9 ทำการวิจัยอีกรอบโดยการตั้งค่าต่างๆ ในระบบใหม่ โดยอ้างอิงมาจากข้อที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการศึกษาการทำงานของระบบทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับทำงานของเครื่องสูบน้ำ ระบบทำความเย็นรูปแบบอื่นๆ และการถ่ายเทความร้อน ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.2 ระบบทำความเย็น

2.2.1 ระบบทำความเย็นพื้นฐาน [2,3]

ทั้งเครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น และตู้แช่แข็ง ล้วนทำงานด้วยสารทำความเย็น ซึ่งสารทำความเย็นมีคุณสมบัติคือ จุดเดือดและอุณหภูมิแปรผันตามความดันค่อนข้างมาก โดยจุดที่สารมีความดันสูง จุดเดือดของสารก็จะสูงขึ้น และถ้าถูกเพิ่มความดัน อุณหภูมิจะสูงขึ้นกว่าเดิม ในทางกลับกัน ถ้าถูกลดความดัน จุดเดือดของสารจะต่ำลง และอุณหภูมิจะลดลงเช่นกัน จากปรากฏการณ์นี้ มนุษย์ได้ใช้ประโยชน์โดยสร้างระบบทำความเย็นพื้นฐานเป็นดังนี้

2.2.1.1 ระบบบีบอัด (Compression) สารทำความเย็นอยู่ในสถานะแก๊สความดันต่ำถูกส่งผ่านเครื่องอัดแก๊สสารทำความเย็นหรือคอมเพรสเซอร์ (Compressor) จากนั้นถูกบีบอัดให้มีความดันสูงขึ้น อุณหภูมิและจุดเดือดจึงสูงขึ้นตามไปด้วย เป็นแก๊สร้อนที่ความดันสูง

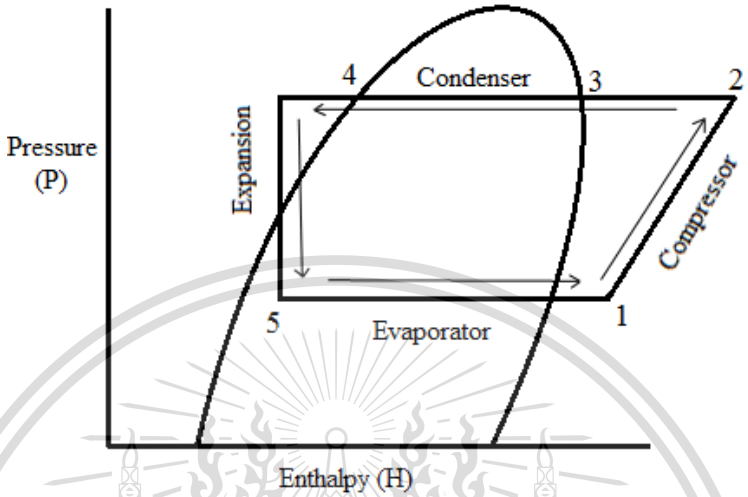
2.2.1.2 ระบบควบแน่น (Condensation) สารทำความเย็นที่เป็นแก๊สร้อนไหลผ่านคอยล์ร้อน (Condenser) ถูกระบายความร้อนออกโดยที่มีความดันคงที่ หรือความดันอาจลดลงเล็กน้อยจากการสูญเสียความดันอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานภายในท่อ ทำให้สารทำความเย็นถูกเปลี่ยนเป็นของเหลวร้อน

2.2.1.3 ระบบขยายตัว (Expansion) สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวร้อนไหลถูกส่งผ่านลิ้นลดความดัน (Expansion Valve) จนทำให้สารทำความเย็นมีความดัน อุณหภูมิ และจุดเดือดลดต่ำลง กลายเป็นของเหลวเย็น

2.2.1.4 ระบบระเหย (Evaporation) สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวเย็นไหลผ่านคอยล์เย็น (Evaporator) ไปรับความร้อนจากจุดที่ต้องการ ทำให้ของเหลวด้านในเดือดเป็นแก๊สเย็นแล้วเริ่มกระบวนการใหม่อีกครั้งอย่างต่อเนื่อง

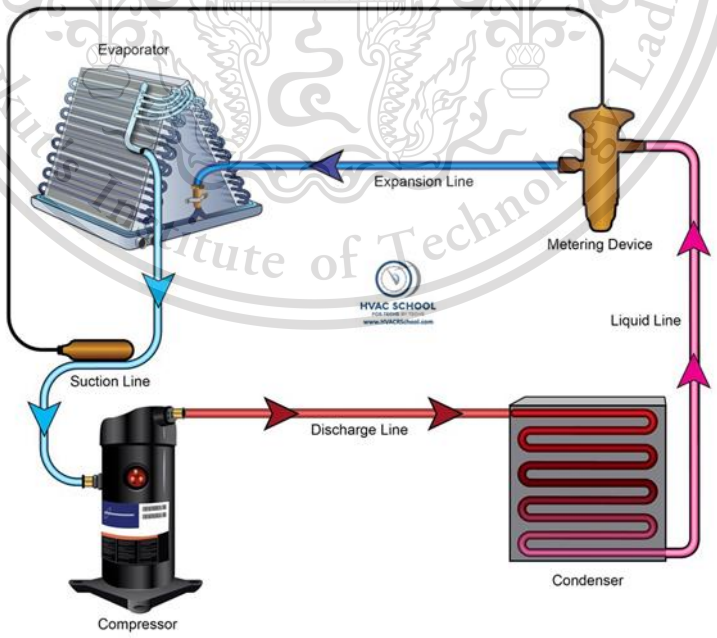
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิศวกรส่วนใหญ่ใช้ตาราง P-H Diagram ในการคำนวณเกี่ยวกับระบบทำความเย็น โดยค่า H แสดงค่าเอนทาลปีของสาร (Enthalpy) ซึ่งเป็นตัวกำหนดพลังงานของสาร ณ สถานะหนึ่ง ถึงอีกสถานะหนึ่ง



รูปที่ 1 กราฟ P-h แสดงวงจรการทำความเย็น [4]

วงจรสามารถเขียนควบคู่กับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2 แผนภาพการทำความเย็นอย่างง่าย [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.2 ประสิทธิภาพพลังงาน

การวัดประสิทธิภาพในการทำความร้อนหรือความเย็นของอุปกรณ์ จะแตกต่างจากการวัดประสิทธิภาพในเครื่องจักรอื่นๆ เพราะพลังงานที่เกิดขึ้นไม่ได้ทำให้เกิดงานหรือพลังงาน แต่ทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนไปยังจุดที่ต้องการ

การวัดประสิทธิภาพในการทำความเย็น มีอยู่ 3 วิธี คือ

2.2.2.1 ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง หรือ COP (Coefficient of Performance) เป็นสัดส่วนระหว่างพลังงานที่อุปกรณ์สามารถดึงออกจากระบบ กับพลังงานที่อุปกรณ์ใช้ ต้องมีหน่วยเดียวกัน เช่น กิโลวัตต์ (Kilowatt ,kW) กับกิโลวัตต์ หรือ บีทียูต่อชั่วโมง (British thermal unit/hour, BTU/hr) กับบีทียูต่อชั่วโมง

2.2.2.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน หรือ EER (Energy Efficiency Ratio) เป็นสัดส่วนระหว่างพลังงานที่อุปกรณ์สามารถดึงออกจากระบบ กับพลังงานที่อุปกรณ์ใช้ เช่นเดียวกับ COP แต่วิธีนี้มักใช้กับหน่วยที่เป็นที่นิยม เช่น บีทียูต่อชั่วโมงกับกิโลวัตต์ ซึ่งเป็นหน่วยของการทำความเย็นกับหน่วยไฟฟ้า

2.2.2.3 ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามฤดูกาล หรือ SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) เหมือนกับอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน แต่ว่าอุปกรณ์แต่ละชิ้นทำงานได้แตกต่างกันที่สภาวะต่างๆ ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามฤดูกาลจะนำประสิทธิภาพการทำงานตามแต่ละฤดูมาใช้คำนวณ ซึ่งมีความแม่นยำกว่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพราะคำนึงถึงสภาพอากาศที่ใช้งานจริงด้วยเครื่องทำน้ำเย็น

2.2.3 ระบบปรับอากาศรูปแบบต่างๆ

ระบบปรับอากาศที่ใช้ในบ้านเรือน มีความแตกต่างกับระบบที่ใช้ในอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งแต่ละระบบจะมีการทำงานแตกต่างกัน

2.2.3.1 ระบบปรับอากาศในครัวเรือน มี 2 ประเภทหลักๆ

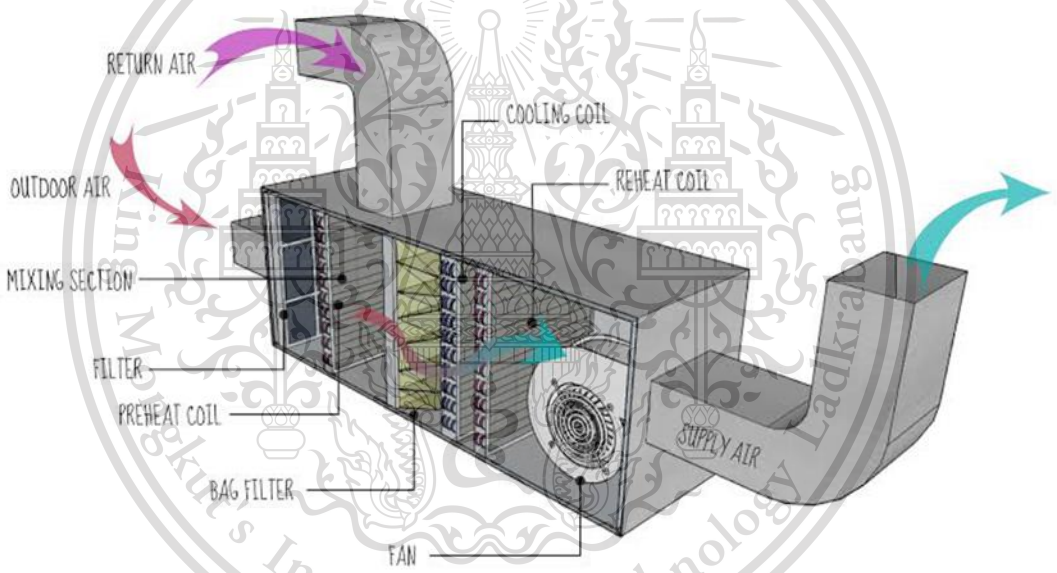
1 ระบบความเร็วคงที่ หรือนอนอินเวอร์เตอร์ (Non-Inverter หรือ Fixed speed) เป็นระบบที่มีการทำงานโดยอาศัยการเป่าลมเย็นออกมาเป็นช่วงๆ โดยมีการทำงานแบบเปิดและปิดสลับกันไปมา ทำให้ลมเย็นไม่สม่ำเสมอ และอุณหภูมิไม่คงที่ การตั้งค่าอุณหภูมิเป็นการตั้งค่าว่าระบบจะทำงานด้วยความถี่เท่ากับเท่าไร ในระบบนี้จะมีตัวตั้งค่าอุณหภูมิเป็นโลหะที่สามารถขยายขนาดตามอุณหภูมิได้มาก ถ้าอุณหภูมิสูง โลหะจะขยายตัวไปต่อวงจรให้ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2 ระบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter หรือ Variable speed) เป็นระบบที่มีการทำงานโดยอาศัยการเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น ทำให้ได้อุณหภูมิคงที่ ระบบนี้เป็นระบบใหม่ เพราะสมัยก่อนยังไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลโดยที่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดต่ำลง ทำให้ประหยัดไฟและสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้

2.2.3.2 ระบบการทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ หรือ HVAC (Heating, Ventilation, and Air-conditioning)

ในอาคารขนาดใหญ่ส่วนใหญ่จะมีระบบปรับอากาศที่ซับซ้อน หากใช้เครื่องปรับอากาศในครัวเรือน อาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการใช้งานเพราะไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ และอาจทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละอองและเชื้อโรคได้ ซึ่งระบบปรับอากาศในอาคาร มักถูกเรียกว่าระบบ HVAC



รูปที่ 3 ส่วนเครื่องส่งลม (Air Handling Unit หรือ AHU) ของระบบ HVAC [6]

เห็นได้ว่าในระบบจะมีการนำอากาศจากภายนอกเข้ามาผสมโดยการผ่านตัวกรองมาเพื่อทำให้อากาศบริสุทธิ์ตลอดเวลา มีการใช้น้ำเย็นและน้ำร้อนเป็นตัวถ่ายโอนพลังงานในคอยล์เย็นและคอยล์ร้อนแทนที่การใช้สารทำความเย็น เพราะมีราคาถูกกว่า และไม่เกิดอันตรายเมื่อเกิดการรั่วซึม ระบบแบบนี้จะประหยัดกว่าถ้าใช้ในอาคารขนาดใหญ่ เพราะการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพลังงานคุ้มค่ากว่าเครื่องปรับอากาศในครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3.3 เครื่องทำน้ำเย็น

ในระบบ HVAC จะใช้น้ำเย็นเป็นตัวดึงความร้อนก่อนจ่ายอากาศเย็นเข้าสู่ระบบ ซึ่งน้ำเย็นที่ได้ ต้องใช้เครื่องทำน้ำเย็นมาลดอุณหภูมิ เครื่องทำน้ำเย็นมีหลายประเภท ดังนี้

1 แบ่งตามการระบายความร้อน

1.1 เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ

1.2 เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ กับเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

คุณสมบัติ	ระบายความร้อนด้วยอากาศ	ระบายความร้อนด้วยน้ำ
ความสามารถในการทำงาน	500 ตันความเย็น	9000 ตันความเย็น
ประสิทธิภาพในการทำงาน	1.4-1.6 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น	0.62-0.75 กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น
การติดตั้ง	อาศัยระบบไฟฟ้าและท่อน้ำเย็น บางรุ่นมีเครื่องสูบน้ำในตัวให้	อาศัยระบบหมุนเวียนน้ำรองรับ และต้องมีหอระบายความร้อน
การใช้งาน	ใช้กับระบบขนาดเล็ก เช่น ตึกแถว สำนักงานขนาดเล็ก	ใช้กับระบบขนาดใหญ่ เช่น โรงแรม ห้างสรรพสินค้า

2 แบ่งตามชนิดของเครื่องอัดแก๊สสารทำความเย็นหรือคอมเพรสเซอร์

2.1 คอมเพรสเซอร์แบบอาศัยแรงเหวี่ยง

รูปที่ 4 YORK® YZ Magnetic Bearing Centrifugal Chiller [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ คอมเพรสเซอร์ทำงานโดยการใช้แรงเหวี่ยง อัดสารหล่อเย็นให้มีความดันสูงขึ้น มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวน้อย ทำให้มีส่วนที่เสียดสีกันน้อยกว่า และไม่ต้องใช้สารหล่อลื่น ประหยัดพลังงานกว่าเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่นที่มีความดันเท่ากัน มีอัตราการไหลของสารทำความเย็นสูงและสม่ำเสมอ มีความทนทานสูง แต่เครื่องทำงานที่ความเร็วสูง ต้องออกแบบระบบลดการสั่นสะเทือนเพิ่ม และองค์ประกอบของสารทำความเย็นต้องไม่เปลี่ยนแปลง และไม่สามารถรองรับความดันสูงมากๆได้ เหมาะกับงานอุตสาหกรรมอาหาร เพราะไม่ปนเปื้อนสารหล่อลื่นและระบบความเย็นที่ต้องการอุณหภูมิคงที่ตลอดเวลา

2.2 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ

รูปที่ 5 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ TECOCHILL® DTxSERIES [8]

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ คอมเพรสเซอร์ทำงานโดยการอัดสารทำความเย็นด้วยลูกสูบ กินพลังงานต่ำ ทนทาน สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องได้ ต้องใช้สารหล่อลื่นมาช่วยในการทำงาน ดังนั้นจำเป็นต้องมีระบบกรองสารหล่อลื่น ให้กำลังอัดน้อยเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ มีเสียงดัง ชิ้นส่วนมีราคาแพง เหมาะกับระบบขนาดเล็ก และไม่ต้องการความซับซ้อน เช่น เครื่องปรับอากาศในครัวเรือนบางรุ่น

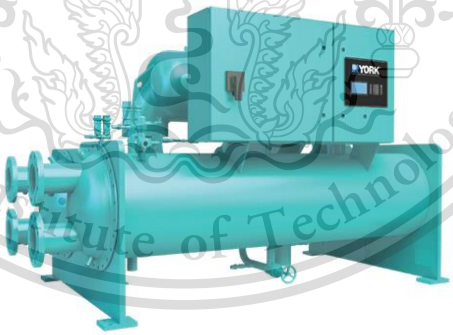
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย หรือแบบสโครล

รูปที่ 6 50TR Scroll Type Mini Water Cooled Scroll Chiller With Daikin Compressor [9]

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ คอมเพรสเซอร์ทำงานโดยการใช้อุปกรณ์รูปก้นหอย 2 ชิ้น ชิ้นหนึ่งอยู่กับที่ ส่วนอีกชิ้นหนึ่งเคลื่อนที่เป็นวงกลมลดปริมาตรเข้าสู่ตรงกลางอย่างช้าๆ จึงเพิ่มความดันได้สูง มีขนาดเล็ก และไม่ต้องใช้สารหล่อลื่น แต่ระบบนี้ให้อัตราการไหลต่ำ ชิ้นส่วนราคาแพง เพราะผลิตยาก และแก๊สที่ถูกอัดมีอุณหภูมิสูงมาก เพราะอัตราส่วนความดันสูง มักถูกใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก แต่อุณหภูมิต่ำ เช่น ตู้เย็นหรืออาคารบางแห่งที่มีขนาดเล็ก แต่ความร้อนสูง เช่นห้องเซิร์ฟเวอร์

2.4 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู

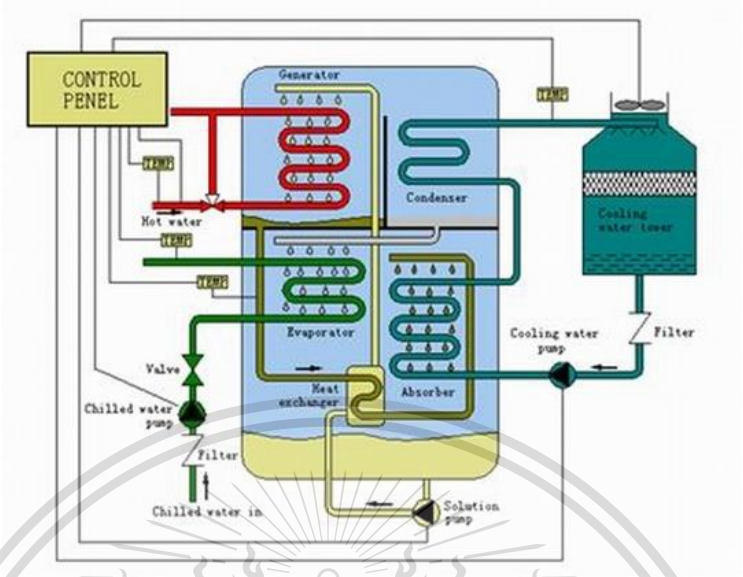


รูปที่ 7 York Milllennium Model YS series [10]

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ คอมเพรสเซอร์ทำงานโดยการใช้สกรูหมุนสร้างแรงบีบอัดให้กับสารทำความเย็น เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ให้กำลังอัดสูงมาก จึงมีความสามารถในการทำความเย็นสูงมากเช่นกัน และประหยัดพลังงานมากกว่าเมื่อเทียบกับอุปกรณ์อื่นที่มีความสามารถเท่ากัน ให้เสียงรบกวนต่ำ ต้องใช้สารหล่อลื่นในการทำงาน แต่สามารถใช้กับระบบขนาดใหญ่ได้ เช่น โรงงาน โรงแรม ห้างสรรพสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 คอมเพรสเซอร์แบบดูดซึม



รูปที่ 8 แผนภาพหลักการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบดูดซึม [11]

เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ไม่มีคอมเพรสเซอร์ แต่ทำงานโดยใช้ความร้อนจากอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ความร้อนจากโรงไฟฟ้า หรือความร้อนจากอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในอาคาร เป็นการใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งอื่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด สารทำความเย็นเป็นน้ำผสมแอมโมเนีย หรือลิเธียมโบรไมด์ (Lithium bromide) หลักการที่ใช้คือใช้ความร้อนแยกน้ำกับสารละลายออกจากกัน จากนั้นทำให้น้ำที่มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ เป็นตัวดึงความร้อนออกจากแหล่งที่ต้องการ แล้วไอน้ำที่ได้จะไปผสมกับสารละลายอีกครั้ง โดยแต่ละขั้นจะผ่านท่อที่ขดอยู่ในถังน้ำเย็นจากหอระบายความร้อน เป็นตัวดึงความร้อนออกจากระบบ

ตารางที่ 2 สรุปคุณสมบัติของเครื่องทำน้ำเย็นรูปแบบต่างๆ

คุณสมบัติ	ช่วงการใช้งาน	ประสิทธิภาพ (COP)
คอมเพรสเซอร์แบบอาศัยแรงเหวี่ยง	150-6000 ตันความเย็น	5.8-7.1
คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ	50-500 ตันความเย็น	4.2-5.5
คอมเพรสเซอร์แบบก้นหอย หรือแบบสโครล	40-400 ตันความเย็น	ระบายความร้อนด้วยอากาศ 3.2-4.86 ระบายความร้อนด้วยน้ำ 4.45-6.2
คอมเพรสเซอร์แบบสกรู	70-600 ตันความเย็น	ระบายความร้อนด้วยอากาศ 2.9-4.15 ระบายความร้อนด้วยน้ำ 4.7-6.07
คอมเพรสเซอร์แบบดูดซึม	70-1400 ตันความเย็น	0.6-1.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จะเห็นได้ว่า เครื่องทำน้ำเย็นแบบใช้แรงเหวี่ยง มีขนาดช่วงการใช้งานและประสิทธิภาพสูงมากกว่าชนิดอื่นๆ เพราะใช้คอมเพรสเซอร์หลายขั้นในการทำความเย็นได้ง่ายกว่าแบบอื่น ทำให้มีความสามารถในการทำความเย็นสูงกว่า

2.2.3.4 เครื่องสูบน้ำ

ระบบทำความเย็นในอาคารขนาดใหญ่ ใช้น้ำเย็นเป็นตัวดึงความร้อนจากในอาคาร ถ่ายเทไปสู่เครื่องทำน้ำเย็น ดังนั้นเครื่องสูบน้ำจึงจำเป็นต่อการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นอย่างมาก เครื่องสูบน้ำเหล่านี้เป็นเครื่องสูบน้ำที่นิยมใช้ภายในระบบทำความเย็นของอาคาร

1 เครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยง

เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ ใช้แรงหนีศูนย์กลางของน้ำในการทำให้น้ำไหล สามารถใช้งานได้นาน แรงเสียดทานต่ำ ทำให้พลังงานที่ใช้ลดลงได้มาก วัสดุมีราคาแพง และไม่ทนต่อภาระการทำงานที่กะทันหัน ใช้กับระบบที่ไม่ต้องการอัตราการไหลของน้ำคงที่ เช่น เครื่องสูบน้ำหอยโข่ง

2 เครื่องสูบน้ำแบบโรตารี

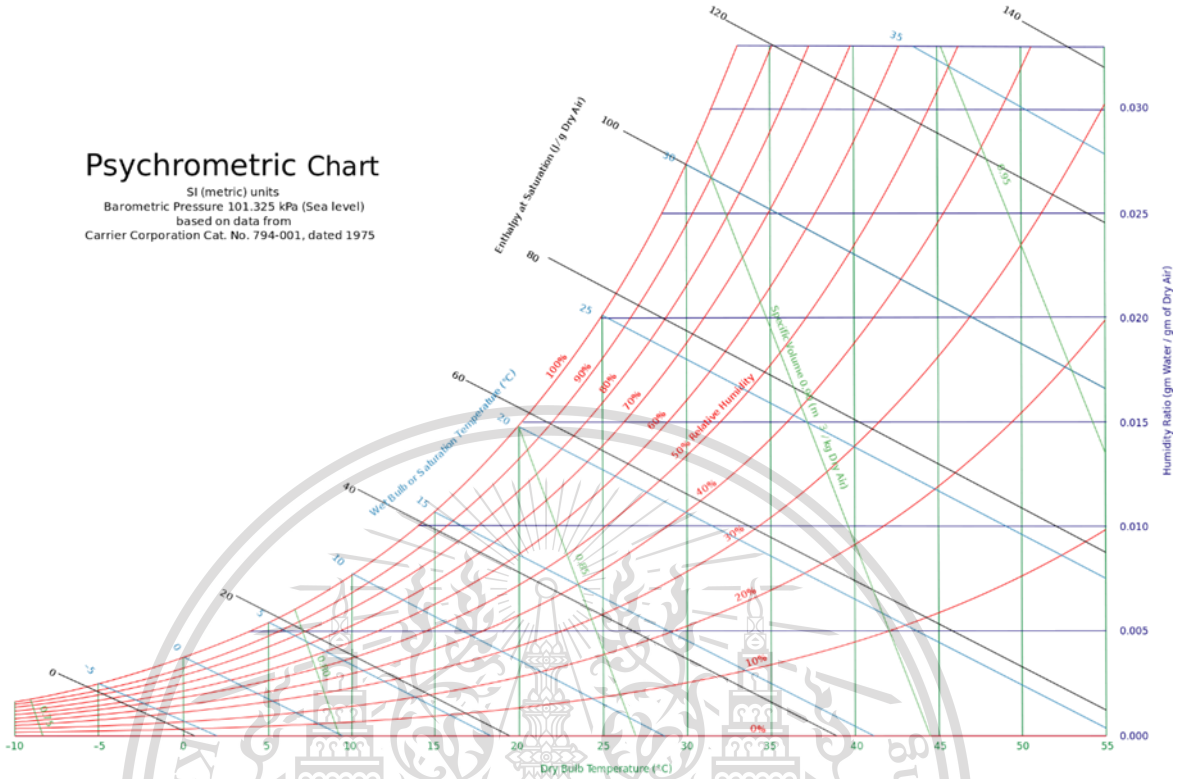
เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ ทำงานโดยแทนที่ของเหลวด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนเชิงกล มีหลายประเภท เหมาะกับการใช้งานหลายรูปแบบ และมีชิ้นส่วนที่เสียดสีกันมากกว่าเครื่องสูบน้ำแบบใช้แรงเหวี่ยง แต่ไม่เท่าเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ ราคาชิ้นส่วนขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องสูบน้ำ เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ เหมาะกับของเหลวที่มีความหนืด หรือสิ่งปนเปื้อนสูง เช่น เครื่องสูบน้ำพญานาค

3 เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ

เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ ทำงานโดยการดันลูกสูบไปมาเพื่อดูดของเหลวจากวาล์วด้านหนึ่ง และผลักของเหลวไปอีกด้านหนึ่ง ทำให้เกิดการไหลของของเหลว เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ มีราคาและชิ้นส่วนราคาถูก แต่กำลังการสูบน้ำต่ำ การไหลของน้ำไม่คงที่ และไหลเป็นจังหวะ รวมไปถึงมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานที่สูง จึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 สภาวะของอากาศและตารางไซโครเมตริก (Psychometric Chart)



รูปที่ 9 แผนภาพไซโครเมตริก [12]

การบอกคุณสมบัติของอากาศในอาคารที่อยู่อาศัย วิศวกรส่วนใหญ่เลือกใช้ตารางไซโคเมตริกในการช่วยคำนวณ

ค่าที่อยู่ในตารางจะมีอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ความชื้นสัมบูรณ์ ความชื้นสัมพัทธ์ เอนทาลปี และปริมาตรจำเพาะ หากมีข้อมูล 2 ชนิดขึ้นไป จะสามารถหาข้อมูลชนิดอื่นได้จากตารางนี้

2.4 สภาวะสบายของมนุษย์

ร่างกายมนุษย์มีการถ่ายเทหรือสูญเสียความร้อน 4 วิธี คือ

2.4.1 การนำความร้อน เกิดขึ้นกับของแข็งที่มาสัมผัสร่างกายของมนุษย์ โดยจะถ่ายเทความร้อนในเนื้อวัตถุโดยที่อนุภาคไม่เคลื่อนที่ วิธีนี้มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด

2.4.2 การพาความร้อน เกิดขึ้นกับของไหล ของเหลว และแก๊สที่มาสัมผัสร่างกาย เกิดการถ่ายเทความร้อนแล้วเคลื่อนที่ออกไป วิธีนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการนำความร้อน และเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการออกแบบระบบทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.3 การระเหย เกิดขึ้นมากตอนร่างกายมนุษย์มีการขับเหงื่อ โดยเมื่อเหงื่อระเหยออกจากร่างกาย จะนำความร้อนออกไปบางส่วน เรียกว่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Enthalpy of vaporization) ซึ่งเกิดขึ้นตลอดเวลาจากเหงื่อและความชื้นบนผิวหนัง ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

2.4.4 การแผ่รังสีความร้อน วิธีนี้มีประสิทธิภาพที่สุด เพราะไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางมาช่วยในการถ่ายเทความร้อน

สภาวะที่ทำให้มนุษย์รู้สึกสบายคือ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 50 ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามกิจกรรมที่ทำ ทำให้คนส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิอากาศมาเป็นตัวชี้วัด ซึ่งสามารถใช้ได้กับระบบปรับอากาศทั่วไปเท่านั้น แต่ในการคำนวณโดยละเอียดขึ้นมาระดับหนึ่ง อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกได้ คืออุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ (Operative Temperature) ซึ่งได้จากการคำนวณโดยอาศัย

หลักการถ่ายเทความร้อนของร่างกายมนุษย์ สมการที่ใช้คือ

$$T_o = \frac{h_c T_a + h_r T_{mrt}}{h_c + h_a} \tag{2.1}$$

โดยที่ h_c = ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวหนังมนุษย์

h_r = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีจากผิวหนังมนุษย์

T_a = อุณหภูมิอากาศรอบตัวมนุษย์

T_{mrt} = อุณหภูมิเฉลี่ยจากพื้นผิวในห้อง สามารถหาได้จากสมการ

$$T_{mrt} = \sum_{i}^{n} T_i f_i \tag{2.2}$$

T_i = อุณหภูมิบนพื้นผิว 1 จุด เช่น พื้น กำแพง เพดาน

f_i = ค่าสัดส่วนพื้นผิวที่หันเข้าหาผู้สัมผัส

ซึ่งค่า f_i สามารถกำหนดได้หลายวิธี วิธีที่นิยมที่สุดคือการนำพื้นที่ของพื้นผิว 1 จุด หารด้วยพื้นที่พื้นผิวทั้งหมด

วิธีนี้สามารถใช้คำนวณในระบบปรับอากาศด้วยการแผ่รังสีได้ดีที่สุด ทั้งการทำความร้อน และการทำความเย็น เพราะอุณหภูมิพื้นผิว ต่างกับอุณหภูมิอากาศมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ ก.ค. 2563

กระทรวงพลังงานได้กำหนดเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในครัวเรือนไว้ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพของระบบความเร็วคงที่ (Fixed speed)

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ค่าประสิทธิภาพ (BTU/hr/W)			
	เบอร์ 5	เบอร์ 5*	เบอร์ 5**	เบอร์ 5***
ไม่เกิน 8000 วัตต์ (≤27296 BTU/hr)	12.85 - 13.84	13.85 - 14.84	14.85 - 15.84	≥ 15.85
มากกว่า 8,000 - 12,000 วัตต์ (>27,296 - 40,944 BTU/hr)	12.40 - 13.39	13.40 - 14.39	14.40 - 15.39	≥ 15.40

ตารางที่ 4 แสดงประสิทธิภาพของระบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter หรือ Variable speed)

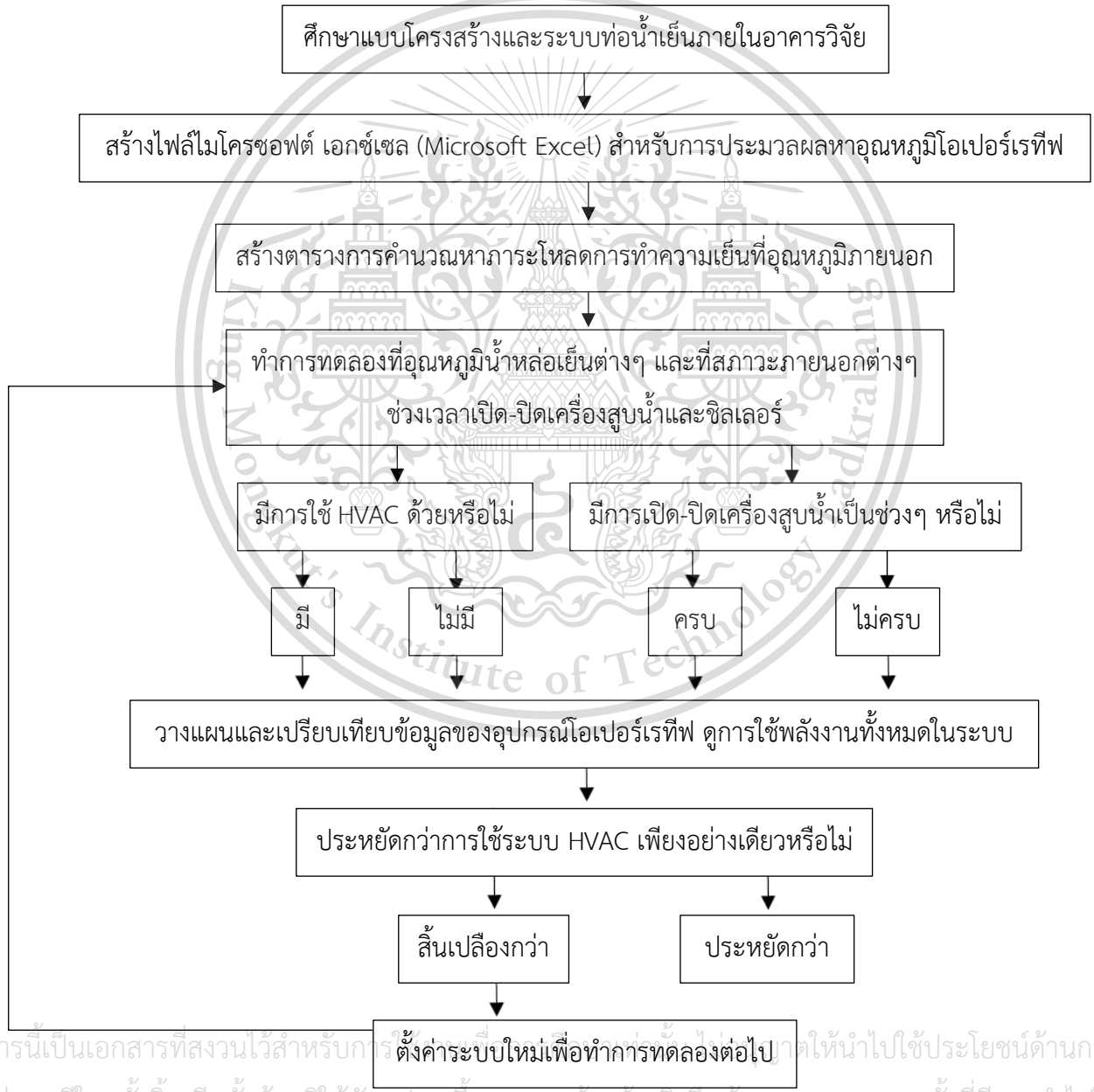
ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ค่าประสิทธิภาพ (BTU/hr/W)			
	เบอร์ 5	เบอร์ 5*	เบอร์ 5**	เบอร์ 5***
ไม่เกิน 8000 วัตต์ (≤27296 BTU/hr)	15.00 - 17.49	17.50 - 19.99	20.00 - 22.49	≥ 22.50
มากกว่า 8,000 - 12,000 วัตต์ (>27,296 – 40,944 BTU/hr)	14.00 - 16.49	16.50 - 18.99	19.00 - 21.49	≥ 21.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยที่มีเครื่องมือวัดและอุปกรณ์การทดลองเพียบพร้อมมาตั้งแต่แรก มีเพียงระบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface หรือ UI) ของระบบเก็บข้อมูลและการควบคุมระบบทำความเย็นทั้งหมด ซึ่งไม่สามารถควบคุมจากระยะไกลได้ การศึกษาทฤษฎีและเครื่องมือที่จะเกี่ยวข้องกับงานวิจัย จึงมีการปรับเปลี่ยนไปตามเวลา ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภาพการดำเนินการทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

ขั้นตอนการศึกษาเริ่มตั้งแต่การศึกษาสภาวะสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) [1] โดยสภาวะดังกล่าวมีความเกี่ยวข้องกับการพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนอย่างไร จากนั้นศึกษาว่ามีตัวแปรตัวใดที่ต้องคำนึงถึงในการทดลอง ต่อมาทำการศึกษาหลักการของระบบหล่อเย็นกำแพง แล้วศึกษาแบบแปลนของบ้านที่ทำการวิจัยอยู่ โดยดูการวางแปลนบ้าน พื้นที่ผิวของพื้นปูนและกระจก การวางแนวท่อน้ำภายในกำแพงและภายในพื้น ถัดมาทำการคำนวณหาภาระการทำความเย็นที่มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้โดยทำการคำนวณในไมโครซอฟต์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) แล้วใช้ไมโครซอฟต์ เอกซ์เซล สำหรับการทำนายอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ ที่อุณหภูมิพื้นผิวและอากาศต่างๆ

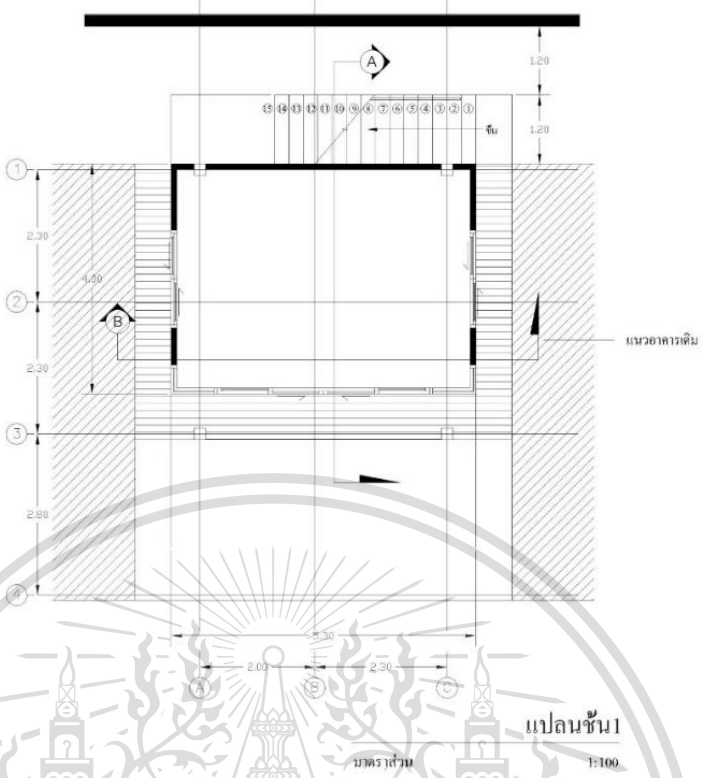
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะแบ่งเป็นสามส่วนคือ ข้อมูลอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ (Sensor) ข้อมูลปริมาณการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบทำความเย็นโดยรวม และข้อมูลที่รวบรวมโดยไม่มีเซ็นเซอร์ อาทิเช่น อุณหภูมิกำแพง ณ จุดที่ไม่มีเซ็นเซอร์การวัดอัตราการไหล ความรู้สึกสบายเมื่อได้อยู่ในห้องปรับอากาศ เป็นต้น ท้ายที่สุดผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสามส่วนจากหลายๆ การตั้งค่า แล้วตรวจสอบว่าจุดใดภายในระบบที่สามารถตั้งค่าใหม่เพื่อลดการสิ้นเปลืองไฟฟ้าได้

3.3 อุปกรณ์การทดลอง

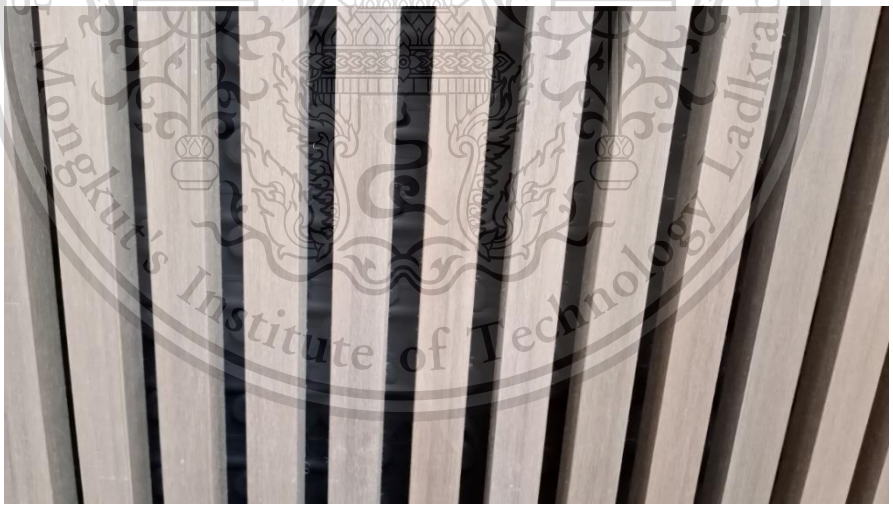
3.3.1 อาคารวิจัย เป็นอาคารสองชั้น โดยชั้นหนึ่งจะมีการติดตั้งท่อน้ำเย็นแบบเดินเปลือยบนคาน จำนวน 4 ชุด โดยไม่มีการโบกปูนทับ และติดตั้งฝ้าระแนงไม้ไว้ มีผนังกระจกเป็นครึ่งหนึ่งของกำแพงทั้งหมด หันไปทางทิศตะวันออก เช่นเดียวกับประตูกระจกขนาดใหญ่ที่หันไปทางทิศตะวันออกด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



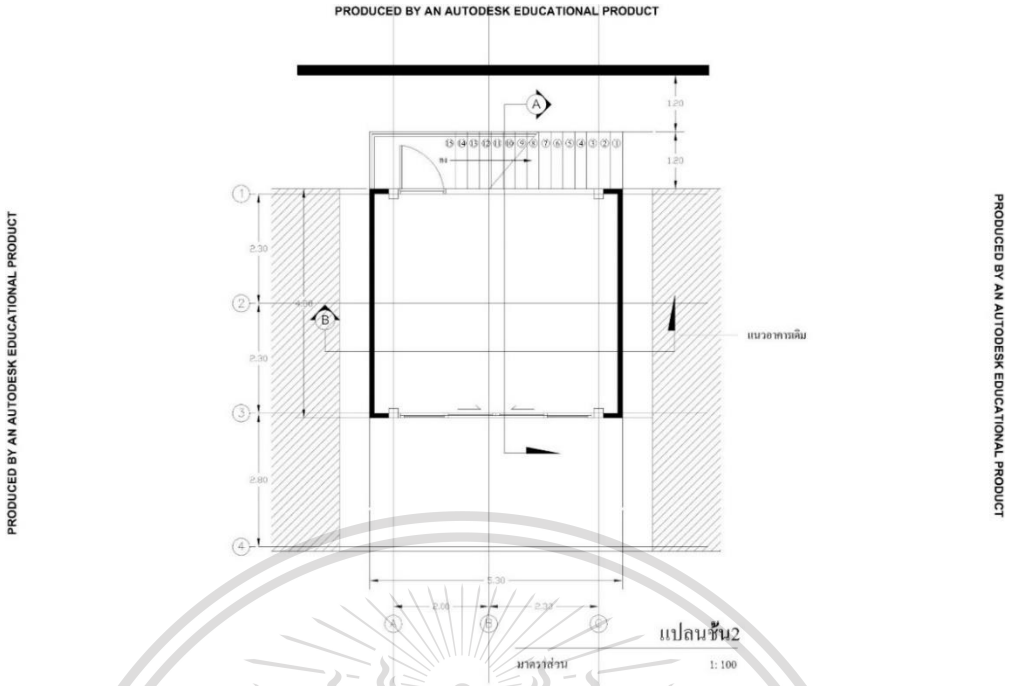
รูปที่ 11 แบบแปลนอาคารวิจัยชั้นที่ 1



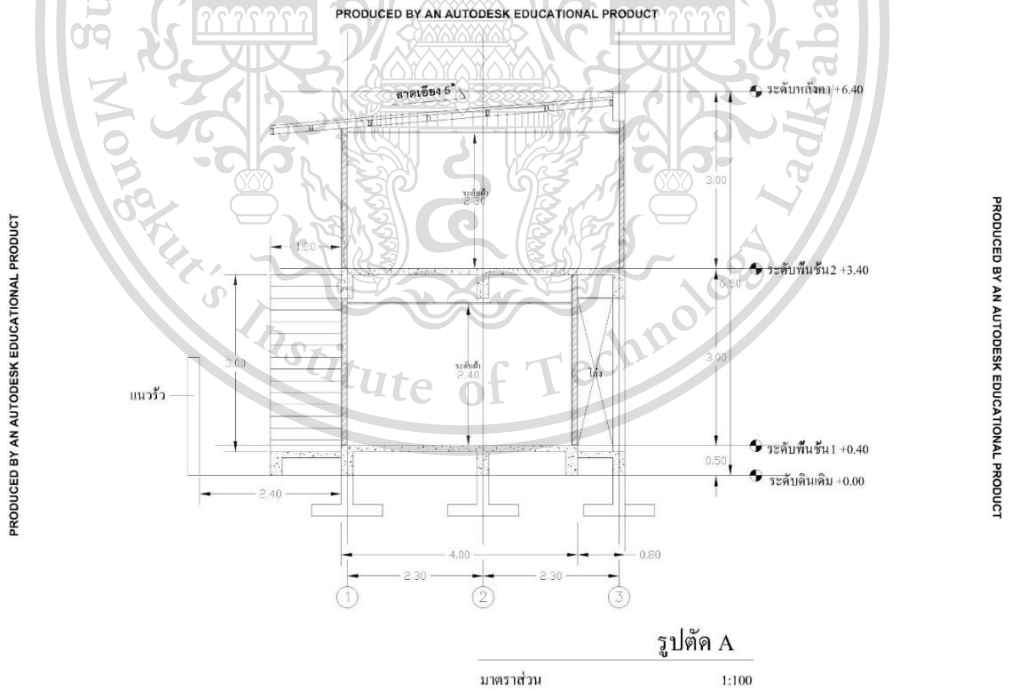
รูปที่ 12 ท่อน้ำถูกติดตั้งเหนือระแนงเพดานไม้ และติดกับผนังเพดานของชั้นที่ 1

ชั้นสองจะมีการติดตั้งท่อน้ำเย็นทั้งหมด 10 ขด โดยติดตั้งภายในพื้นปูนจำนวน 4 ขด ภายในกำแพงทิศเหนือจำนวน 2 ขด ภายในกำแพงทิศใต้จำนวน 2 ขด และบนกำแพงทิศตะวันตก ติดตั้งท่อเดินเปลือย โดยไม่มีการโบกปูนทับจำนวน 2 ขด กำแพงฝั่งตะวันออกมีกระจกขนาดใหญ่ และมู่ลี่ติดตั้งอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

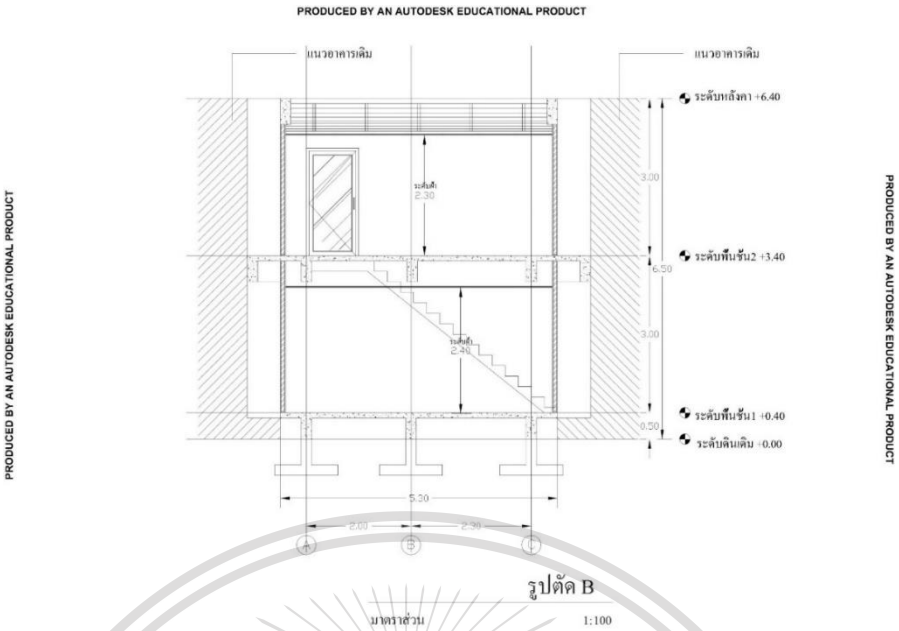


รูปที่ 13 แบบแปลนอาคารวิจัยชั้นที่ 2



รูปที่ 14 รูปตัดของอาคารวิจัย มองจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 15 รูปตัดของอาคารวิจัย มองจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก

3.3.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ

3.3.2.1 เครื่องวัดอุณหภูมิ ชนิด PT-100 (Resistance Temperature Detector) ซึ่งสั่งทำพิเศษสำหรับการวิจัยนี้ ได้ถูกติดตั้งไว้ทั้งหมด 5 บริเวณ ดังนี้

รูปที่ 16 เซนเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ

1 บนพื้นผิวภายนอกอาคาร 3 จุด

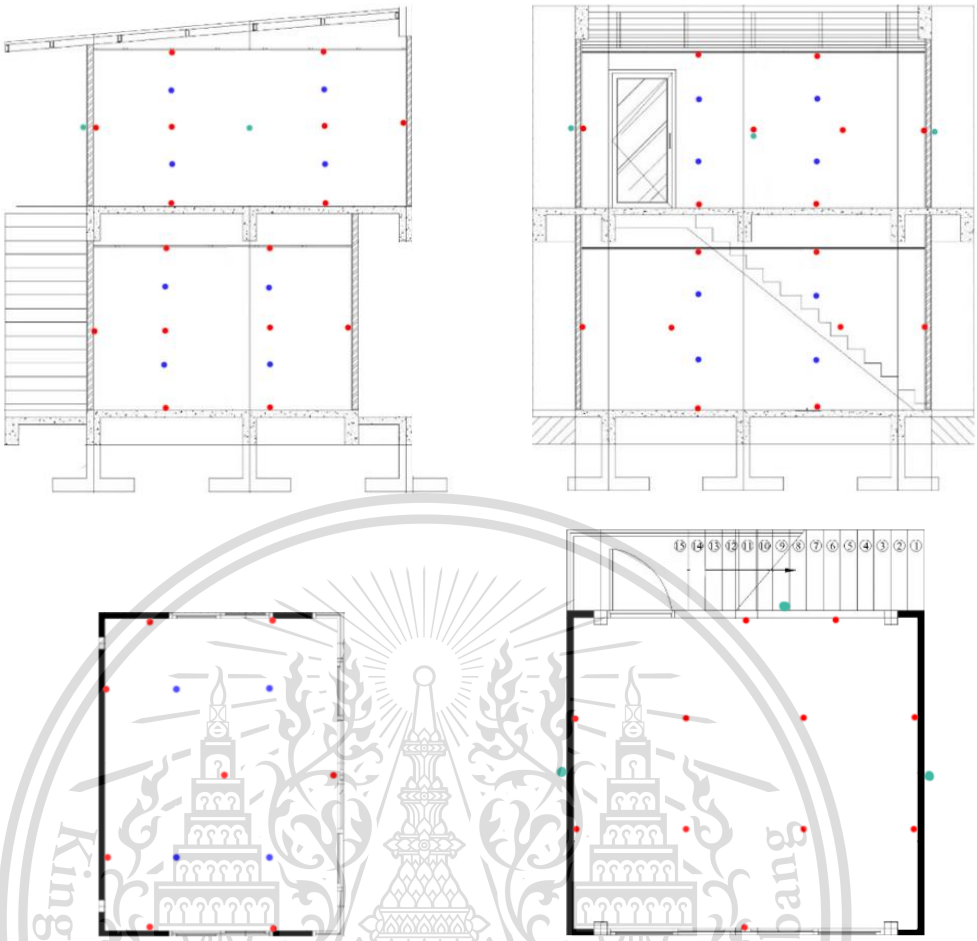
2 บนพื้นผิวกำแพงและพื้นภายในอาคารชั้นที่หนึ่ง 15 จุด

3 แขวนจากเพดานภายในอาคารชั้นที่หนึ่ง 8 จุด

4 บนพื้นผิวกำแพงและพื้นภายในอาคารชั้นที่สอง 15 จุด

5 แขวนจากเพดานภายในอาคารชั้นที่สอง 8 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 17 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิ แดง-บนกำแพงภายใน เขียว-กำแพงภายนอก น้ำเงิน-แขวนในอากาศ

3.3.2.2 เครื่องวัดอุณหภูมิ ชนิดอินฟราเรดแบบมือถือ รุ่น KENDO 35520 ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่อยู่ห่างจากเซนเซอร์และบริเวณที่ไม่ได้ติดตั้งเซนเซอร์ เพื่อดูการกระจายตัวของอุณหภูมิบนพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 18 เครื่องวัดอุณหภูมิด้วยอินฟราเรดรุ่น KENDO 35520

3.3.3 เครื่องดูดความชื้น รุ่น Energy Solution DS-50i ใช้สำหรับลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในอาคารที่ทำการวิจัย เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการทำความเย็นของกำแพง โดยการลดจุดน้ำค้าง (Dew point) ของกำแพงลง จะสามารถกดอุณหภูมิของกำแพงให้ต่ำลงได้โดยไม่เกิดการกลั่นตัวของน้ำที่พื้นผิวกำแพง ซึ่งจะส่งผลเสียต่อโครงสร้างของห้องทดลองในระยะยาวได้

รูปที่ 19 เครื่องปรับความชื้นในอากาศ Energy Solution DS-50i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.4 เครื่องวัดความชื่นสัมพัทธ์ในอากาศของบริษัท Dixell รุ่น XH20P-Range 0-99%RH-20mA สำหรับการวิจัยนี้ ได้ถูกติดตั้งไว้ทั้งหมด 3 จุดคือ ภายนอกอาคาร ภายในอาคารชั้นหนึ่ง และภายในอาคารชั้นสอง

รูปที่ 20 เซนเซอร์ตรวจจับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

3.3.5 ระบบน้ำหล่อเย็น มีหน้าที่นำพลังงานออกจากน้ำที่ไหลผ่านจากขดท่อภายในอาคาร

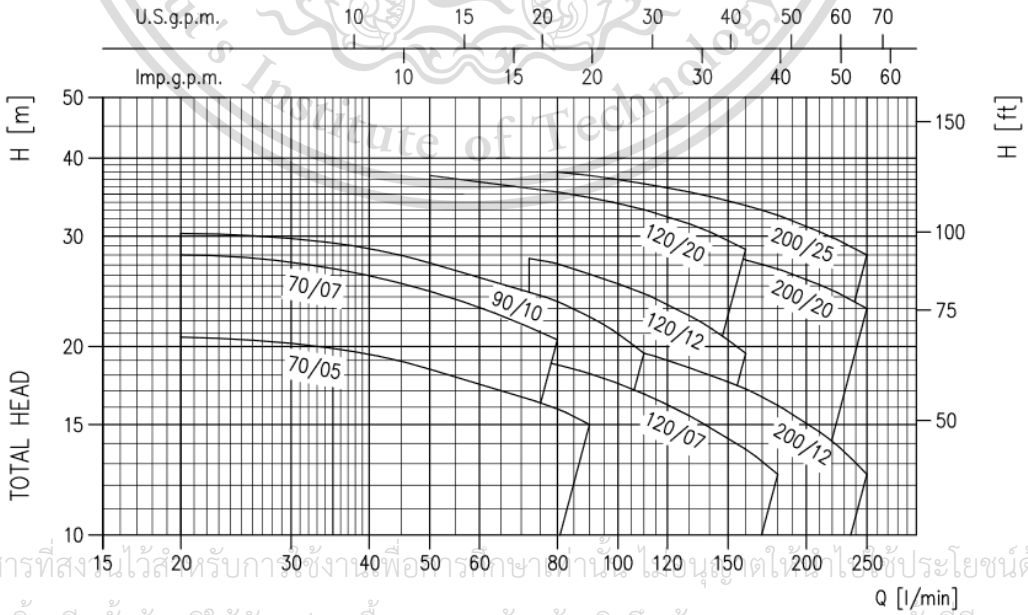
3.3.5.1 York YVAG-18 Reversible Heat Pump จำนวน 1 เครื่อง สามารถรับภาระได้สูงสุด 18 กิโลวัตต์ มีเครื่องสูบน้ำขนาดเล็กและถังพักน้ำในตัว น้ำจะออกจากชิลเลอร์ทั้งหมด 3 ท่อ สามารถควบคุมด้วยหน้าปัด หรือเชื่อมต่อเข้ากับแผงมินิคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมผ่านโปรแกรม IoTMQTT Panel ได้

รูปที่ 21 York YVAG-18 Heat pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5.2 เครื่องสูบน้ำ EBARA CMDX 90/10 IE3 มีกำลัง 1 แรงม้า ใช้ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส จำนวน 3 เครื่อง โดยแต่ละเครื่องจะส่งน้ำไปยังชุดแมนิโฟลด์ (Manifold) 3 ชุด เครื่องสูบน้ำสามารถควบคุมผ่านโปรแกรม IoTMQTT Panel เท่านั้น

รูปที่ 22 เครื่องสูบน้ำ EBARA CDX 90/10 IE3



รูปที่ 23 แผนภาพประสิทธิภาพของ EBARA CDX 90/10 IE3 [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5.3 ชุดแมนิโฟลด์ (Manifold) มีจำนวนทั้งหมด 3 ชุด โดยชุดแรกจะประกอบด้วยตัวกระจายน้ำทั้งหมด 6 ตัว โดยแต่ละชุดจะส่งน้ำเข้าท่อที่ฝังอยู่ภายในกำแพงของชั้นที่สอง ชุดที่สองจะมีตัวกระจายน้ำจำนวนทั้งหมด 4 ตัว สำหรับท่อที่ฝังอยู่ภายในพื้นของชั้นที่สอง ส่วนชุดสุดท้ายสำหรับท่อเดินเปลือยบนคานของชั้นที่หนึ่ง โดยแต่ละชุดจะมีวาล์วเพื่อปรับอัตราการไหลพร้อมกับมิเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Meter) ติดตั้งมาในชุดแมนิโฟลด์ โดยอัตราการไหลมากสุดของแต่ละตัวกระจายน้ำคือ 4 LPM ส่วนท่อน้ำขาออกจากอาคารจะรวบแยกเป็นของแต่ละชุด จำนวนทั้งหมดสามชุด น้ำจะรวบกลับเหลือเพียง 1 ชุดก่อนส่งกลับเข้าชิลเลอร์

รูปที่ 24 ชุด Manifold พร้อมกับมิเตอร์วัดอัตราการไหล (สีแดง) และวาล์วปรับอัตราการไหล (สีฟ้า)

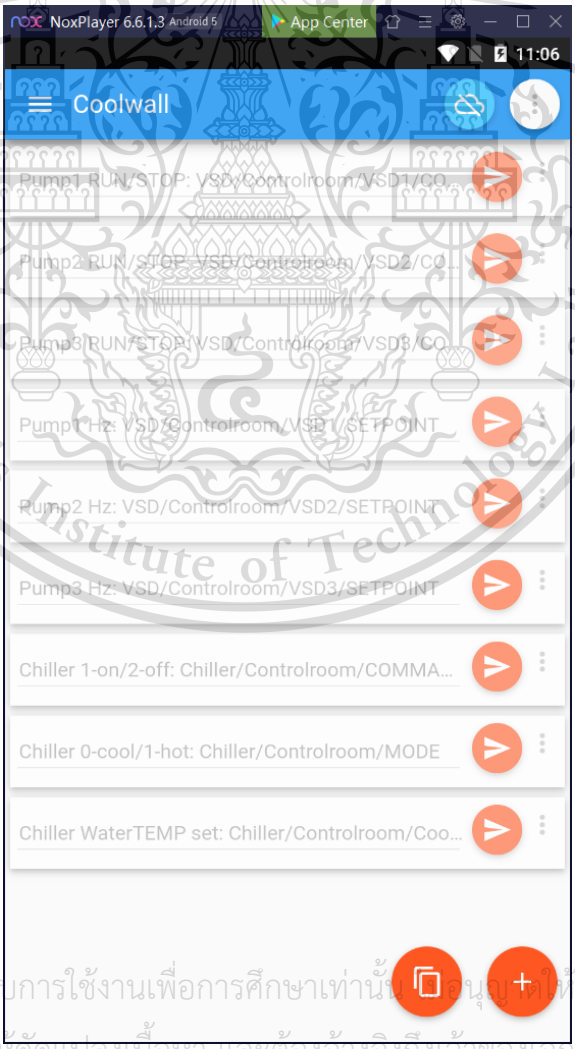
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.6 ระบบ HVAC แบบแยกส่วน

ใช้เครื่องปรับอากาศรุ่น Mitsubishi โดยหน้าที่หลักของระบบ HVAC ที่มีการใช้ระบบกำแพงเย็นร่วมด้วยคือการถ่ายเทและหมุนเวียนอากาศใหม่เข้ามาในระบบ และนำความร้อนแบบความร้อนแฝง (Latent heat) ออกไปจากระบบ

3.4 ระบบควบคุมการทำความเย็นและการจ่ายน้ำในระบบ

ผู้วิจัยสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องสูบความร้อน (Heat Pump) และเครื่องสูบน้ำ ผ่านโปรแกรมมือถือ IoTMQTT Panel โดยโปรแกรมนี้สามารถทำงานผ่านอีมูเลเตอร์ (Emulator) ได้ สำหรับกรณีที่ต้องการเชื่อมต่อด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หากจะทำการควบคุมระบบดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องเชื่อมต่อกับเราเตอร์ (Router) ของระบบที่อาคารวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถควบคุมจากระบบอินเตอร์เน็ตภายนอกได้



รูปที่ 25 หน้าต่างใช้งานของแอปพลิเคชัน IoTMQTT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 การเก็บข้อมูลและการเรียกดูข้อมูล

การเก็บข้อมูลจะมีอยู่ทั้งหมด 3 ส่วน

3.5.1 ระบบเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจากเซนเซอร์ โดยจะทำการเก็บข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ที่อาคารวิจัย การเรียกดูข้อมูล จะทำได้จากการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่เก็บข้อมูลผ่านโปรแกรมเอนี่เดสก์ (Anydesk) รันคำสั่งเพื่อสร้างไฟล์ .csv จากนั้นดาวน์โหลดลงมาที่คอมพิวเตอร์ของผู้ที่เชื่อมต่อได้

3.5.2 ระบบเก็บข้อมูลการสิ้นเปลืองพลังงานโดยรวมระบบ ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกเก็บไว้บนคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (Cloud server) ของผู้จัดจำหน่ายมิเตอร์ไฟฟ้า และสามารถดึงจากคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องผ่านคอมพิวเตอร์ที่อาคารวิจัย

3.5.3 ระบบการไหลของน้ำ การเก็บข้อมูลในส่วนนี้จะไม่มีระบบการเก็บข้อมูลแบบดิจิตอลหรือเซนเซอร์ใดๆ จำเป็นที่จะต้องให้ผู้วิจัยสังเกตและจดข้อมูลด้วยตนเอง และเนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้ใช้งานเครื่องสูบความร้อนในโหมดการทำงานแบบอินเวอร์เตอร์ การไหลของน้ำโดยรวมจะคงที่ตลอดเวลา แต่อาจจะมีอัตราการไหลบางขดท่อหายไป แล้วไปเพิ่มอัตราการไหลที่อีกขดท่อแทน โดยการเปลี่ยนแปลงที่ว่านี้ใช้เวลานานมากถึงจะสังเกตเห็นได้ ผู้วิจัยจึงทำการจดข้อมูลส่วนนี้ในทุกๆ ชั่วโมง

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทั้งหมด 2 โปรแกรมมาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ไมโครซอฟต์ เอกซ์เซล และมินิแทบ (Minitab) โดยได้ใช้ไมโครซอฟต์ เอกซ์เซลในการหาอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ จากอุณหภูมิพื้นผิวต่างๆ โดยขั้นตอนแรกเริ่มจากการหาอุณหภูมิเฉลี่ยจากพื้นผิวในห้อง หรือ MRT (Mean Radiant Temperature) โดยการตั้งสมมติฐานการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยจากพื้นผิวในห้องให้เป็นแบบเนื้อเดียวกันหรือโฮโมจีเนียส (Homogenous) [14] เนื่องจากห้องในอาคารวิจัยมีขนาดเล็ก และมีการติดตั้งมู่ลี่รวมถึงกันสาด และการมีต้นไม้ขนาดใหญ่ปกคลุมหน้าต่าง จึงทำให้มีแสงผ่านทะลุเข้ามาทางหน้าต่างน้อยมาก สมมติฐานนี้จะทำให้ค่าวิวแฟกเตอร์ (View Factor) ของพื้นผิวทุกส่วนมีค่าเท่ากัน สมการการคำนวณจึงกลายเป็น

$$T_{mrt} = \frac{\sum_i^n T_i A_i}{A_{total}} \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากนั้นนำข้อมูลที่เป็นตารางอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟและข้อมูลการใช้พลังงานของทั้งระบบเข้าสู่โปรแกรมมินิแทบ ทำการสร้างกราฟแบบ 2 แกน Y 1 แกน X โดยให้แกน Y เป็นอุณหภูมิ มีกราฟ 3 เส้นคืออุณหภูมิเฉลี่ยจากพื้นผิวในห้อง อุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ แกน Y อีกแกนคือการใช้พลังงานของระบบ โดยให้แกน X คือเวลา

เมื่อได้กราฟแล้ว ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยดูจากการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ ณ เวลาต่างๆ โดยผู้วิจัยได้แบ่ง 1 วันออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ 6 นาฬิกาถึง 13 นาฬิกา 13 นาฬิกาถึง 20 นาฬิกา และ 20 นาฬิกาถึง 6 นาฬิกาของวันต่อมา และดูการใช้พลังงานประกอบไปด้วย โดยผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์แบบนี้ซ้ำๆ ในการตั้งค่าที่แตกต่างกัน แล้วดูว่าในช่วงเวลาใด ที่มีการตั้งค่าได้ประหยัดไฟมากที่สุด และมีอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟอยู่ที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
วิธีการทดลองและผลลัพธ์

4.1 บทนำ

วิธีการทดลองของระบบทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี ทางผู้ทดลองจะทำการทดลองโดยการวิเคราะห์และคำนวณข้อมูลจากค่าและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบทำความเย็นด้วยโปรแกรมไมโครซอฟต์ เอกซ์เซล และนำข้อมูลที่ได้มาหาผลลัพธ์เพื่อนำไปสู่วิธีการควบคุมที่เหมาะสมที่สุด หลังจากเริ่มการทดลอง พบว่าระบบทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีบนเพดานที่ชั้น 1 มีปัญหาเรื่องการควบแน่นของน้ำ ทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินภายในห้องทดสอบ ทางทีมงานจึงตัดสินใจยกเลิกการทดสอบระบบทำความเย็นด้วยการแผ่รังสีบนเพดานของชั้น 1

4.2 วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ มีตัวแปรต้น คือ อุณหภูมิของน้ำที่เข้าสู่ขดท่อ และการทำงานของเครื่องสูบน้ำ ตัวแปรตามคือ พลังงานที่ใช้ภายในระบบ อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากขดท่อ อุณหภูมิพื้นผิว อุณหภูมิอากาศ ตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิภายนอกระบบ โดยจะเปรียบเทียบผลการทดลองจากการเปลี่ยนตัวแปรต้น และสภาพอากาศภายนอกที่คล้ายกัน ซึ่งสภาพอากาศภายนอก ทางผู้ทดลองได้แบ่งเวลาเป็น 4 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.) ช่วงเช้า (06.00 น. - 11.59 น.) ช่วงบ่าย (12.00 น. - 17.59 น.) และช่วงค่ำ (18.00 น. - 23.59 น.) เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ โดยเซนเซอร์ที่ใช้จะบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 1 นาทีโดยประมาณ ตารางการทดลองจะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5 ระบุตัวแปรที่ใช้เป็นหัวข้อของตารางข้อมูลต่างๆ

ตัวแปร	ความหมายของตัวแปร
Chiller T	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากชิลเลอร์
Floor water T	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากขดท่อในพื้นโดยเฉลี่ย
Wall water T	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากขดท่อในกำแพงโดยเฉลี่ย
Air T	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย
Operative T	อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ
Outside T	อุณหภูมิภายนอกระบบโดยเฉลี่ย
Tdiff	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกระบบกับอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟโดยเฉลี่ย
Power	พลังงานที่ใช้ภายในระบบโดยเฉลี่ย
P/Tdiff	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน

เนื่องจากห้องทดลองทุกกรณีเป็นห้องเดียวกัน ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจึงเท่ากัน หากคำนวณค่าอัตราสิ้นเปลืองพลังงานออกมาโดยตรงอาจจะมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย จึงคำนวณอัตราสิ้นเปลืองพลังงานโดยเทียบกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน

ตารางที่ 6 ระบุค่าตัวแปรต้นในการทดลองของระบบทำความเย็นด้วยการแผ่รังสี

ไม่เปิดเครื่องสูบน้ำบนกำแพง					เปิดเครื่องสูบน้ำบนกำแพง				
System	Pump	Chiller T	Time of day	Out T	System	Pump	Chiller T	Time of day	Out T
Radiant	off	10.00	04night	28.33	Radiant	wall	10.00	03afternoon	32.58
Radiant	off	12.00	02morning	27.52	Radiant	wall	10.00	03afternoon	31.97
Radiant	off	12.00	02morning	26.85	Radiant	wall	10.00	03afternoon	32.49
Radiant	off	12.00	01early morning	26.93	Radiant	wall	10.00	03afternoon	33.52
Radiant	off	13.00	01early morning	26.07	Radiant	wall	12.00	02morning	27.34
Radiant	off	13.00	01early morning	25.50	Radiant	wall	12.00	02morning	27.81
Radiant	off	13.00	03afternoon	30.85	Radiant	wall	13.00	01early morning	25.46
Radiant	off	15.00	01early morning	26.58	Radiant	wall	13.00	01early morning	26.05
Radiant	off	15.00	01early morning	29.47	Radiant	wall	13.00	02morning	27.36
Radiant	off	15.00	03afternoon	29.82	Radiant	wall	13	02morning	24.18
Radiant	off	15.00	02morning	29.80	Radiant	wall	13	01early morning	24.16
Radiant	off	15.00	04night	27.04	Radiant	wall	13.00	01early morning	26.64
Radiant	off	15.00	04night	28.88	Radiant	wall	13.00	04night	28.96
Radiant	off	15.00	02morning	29.96	Radiant	wall	13.00	04night	27.83
Radiant	off	15.00	03afternoon	29.19	Radiant	wall	13.00	04night	29.88
Radiant	off	18.00	01early morning	29.17	Radiant	wall	15	04night	28.00
Radiant	off	18.00	04night	32.09	Radiant	wall	18	03afternoon	31.03
Radiant	off	18.00	03afternoon	36.17					

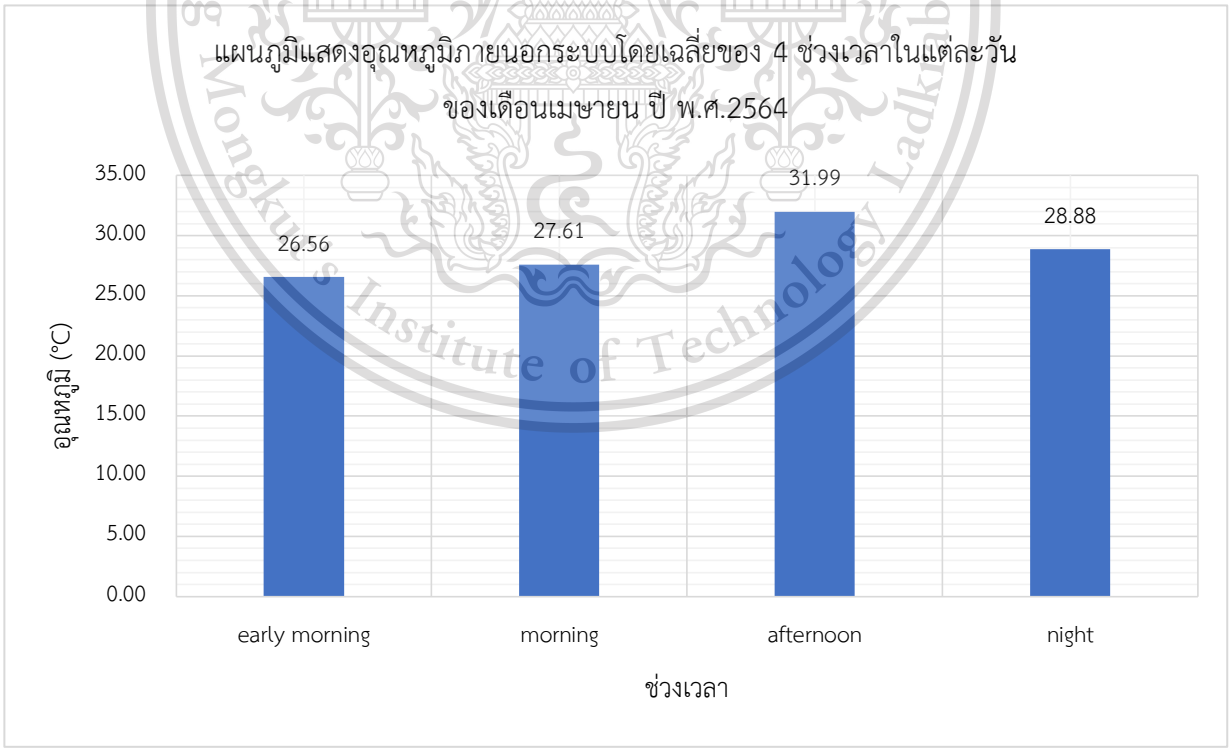
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 7 ระบุค่าตัวแปรต้นในการทดลองของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
System	Time of day	Out T
split	01 early morning	26.11
split	02 morning	27.41
split	04night	27.55
split	02 morning	27.88
split	04night	29.23
split	03 afternoon	31.75
split	03 afternoon	32.54

4.3 ผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เป็นข้อมูลตัวอักษรและตัวเลขซึ่งทั้งหมดมีขนาดรวมประมาณ 70 เมกะไบต์ จึงไม่สามารถนำมาใส่ในรายงานได้ทั้งหมด ทำให้ผู้ทดลองได้สรุปข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละช่วงเวลา และนำกราฟที่เกี่ยวข้องมาใช้ประกอบรายงาน เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ



รูปที่ 26 แผนภูมิแสดงข้อมูลอุณหภูมิภายนอกระบบโดยเฉลี่ยของ 4 ช่วงเวลาในแต่ละวันของเดือนเมษายน ปี พ.ศ.2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 8 แสดงข้อมูลของระบบเมื่อไม่มีการเปิดใช้งานเครื่องสูบน้ำแยกแต่ละขดท่อ

Time of day	Chiller T	Floor Water T	Wall Water T	Surface T	Air T	T oper	Out T	T diff	Power	P/Tdiff
03afternoon	13.00	15.04	20.74	22.14	24.23	23.02	30.85	7.83	1188.03	151.73
04night	10.00	14.93	20.52	21.20	22.91	21.92	28.33	6.41	1088.06	169.78
03afternoon	15.00	15.07	20.12	21.67	23.75	22.54	29.19	6.65	1204.00	180.96
02morning	12.00	15.01	19.75	20.71	22.48	21.46	26.85	5.40	1016.54	188.32
03afternoon	18.00	15.39	26.90	27.60	28.80	28.12	36.17	8.06	1522.40	189.00
01early morning	13.00	17.61	18.47	20.04	21.42	20.62	25.50	4.88	968.11	198.23
01early morning	12.00	14.86	19.04	20.35	22.62	21.30	26.93	5.63	1187.12	210.94
02morning	12.00	14.98	19.60	21.29	23.65	22.28	27.52	5.24	1137.78	217.13
02morning	15.00	15.50	25.55	24.34	25.39	24.78	29.96	5.18	1205.12	232.62
04night	18.00	15.47	27.08	27.60	27.45	26.65	32.09	5.44	1320.10	242.62
04night	15.00	15.02	20.12	21.47	23.87	22.47	27.04	4.57	1155.74	252.82
01early morning	13.00	15.12	20.14	21.12	23.15	21.97	26.07	4.10	1089.77	265.85
01early morning	18.00	15.16	25.22	24.20	25.27	24.65	29.17	4.52	1238.00	274.14
04night	15.00	17.77	20.74	23.37	24.49	23.84	28.88	5.04	1402.10	278.08
01early morning	15.00	19.69	21.81	22.95	24.60	23.64	26.58	2.94	846.54	288.39
03afternoon	15.00	15.50	27.41	25.37	26.80	25.97	29.82	3.85	1181.36	306.77
01early morning	15.00	15.73	26.16	25.13	26.40	25.67	29.47	3.80	1190.20	312.88
02morning	15.00	15.53	24.80	25.30	26.60	25.84	29.80	3.96	1298.00	327.78

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลของระบบ เมื่อเปิดเครื่องสูบน้ำเข้าสู่อาคารทดสอบที่ความถี่ไฟฟ้า 30 เฮิรตซ์

Time of day	Chiller T	Floor Water T	Wall Water T	Surface T	Air T	T oper	Out T	T diff	Power	P/Tdiff
02morning	13.00	15.80	12.39	16.46	18.31	17.24	24.18	6.94	1226.63	176.71
03afternoon	10.00	17.74	16.51	22.76	24.21	23.37	32.49	9.12	1629.74	178.66
03afternoon	10.00	17.68	16.95	22.69	24.22	23.33	33.52	10.18	1901.16	186.72
03afternoon	10.00	17.95	16.84	22.48	24.05	23.14	31.97	8.84	1654.97	187.28
04night	13.00	17.67	16.86	20.92	22.23	21.47	29.88	8.41	1656.79	197.00
01early morning	13.00	16.88	16.06	19.12	20.17	19.56	26.64	7.07	1394.08	197.10
01early morning	13.00	16.07	11.91	16.40	18.07	17.10	24.16	7.06	1409.08	199.69
01early morning	13.00	17.08	15.75	19.23	20.26	19.66	26.05	6.38	1335.56	209.20
04night	13.00	17.28	15.96	19.86	21.06	20.37	27.83	7.46	1570.85	210.44
02morning	13.00	16.73	15.77	19.86	21.19	20.42	27.36	6.94	1461.16	210.55
03afternoon	10.00	18.39	18.39	23.16	24.87	23.87	32.58	8.71	1883.30	216.28
02morning	12.00	17.04	15.81	20.28	21.57	20.82	27.34	6.52	1425.34	218.57
02morning	12.00	17.02	16.19	20.52	22.01	21.14	27.81	6.66	1484.55	222.75
04night	13.00	17.80	16.50	21.19	22.57	21.77	28.96	7.19	1602.96	222.80
01early morning	13.00	16.64	15.56	18.89	20.16	19.42	25.46	6.05	1373.00	227.12
03afternoon	18.00	20.31	21.85	24.69	27.86	26.02	31.03	5.00	1162.07	232.32
04night	15.00	19.78	22.00	23.42	25.40	24.25	28.00	3.74	969.65	259.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only. Not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลขณะเริ่มเปิดระบบ เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองของระบบ

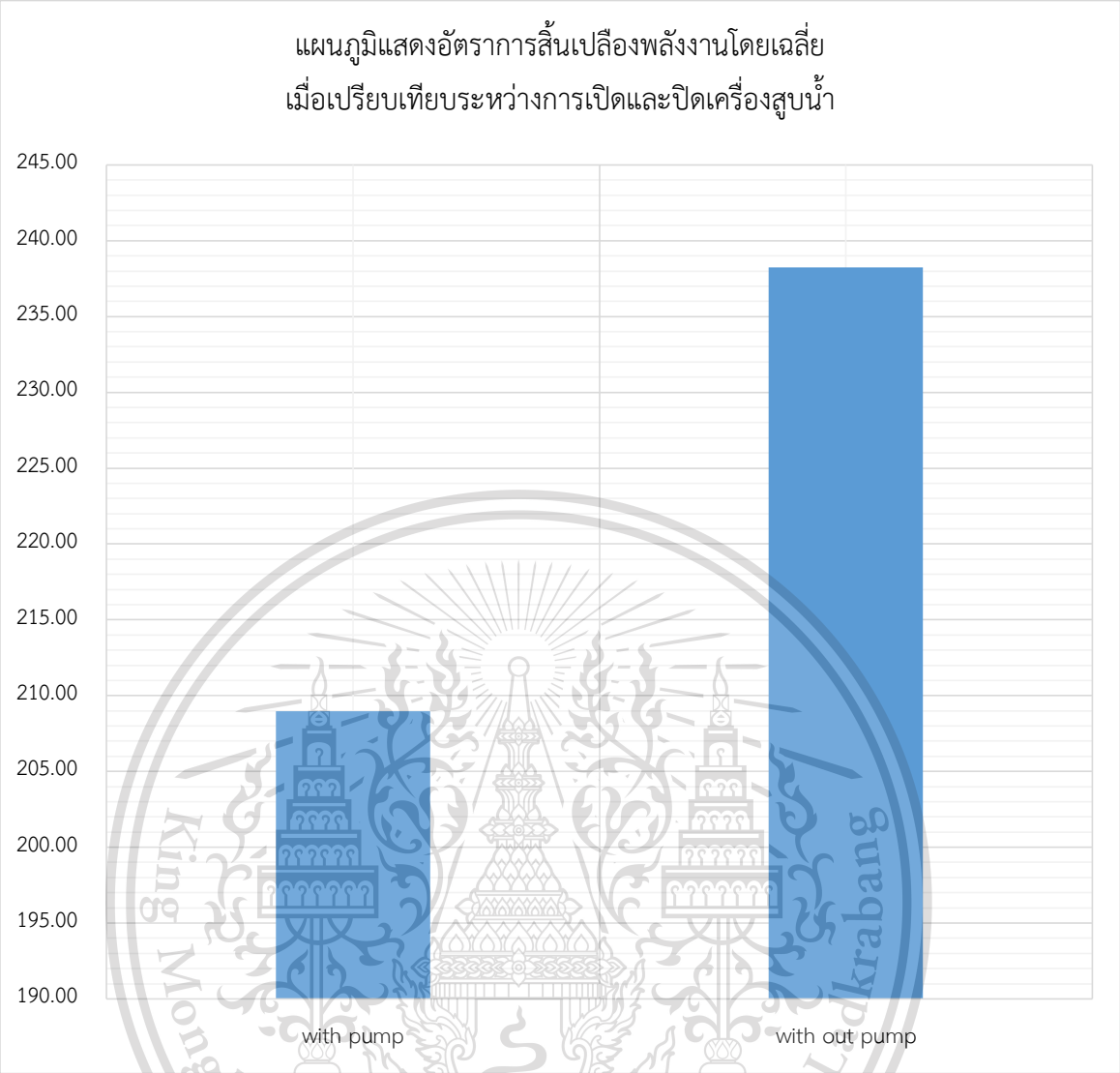
Date	02 April 2021	07 April 2021	07 April 2021	12 April 2021	12 April 2021	14 April 2021	14 April 2021
Time of day	afternoon	morning	afternoon	afternoon	afternoon	afternoon	afternoon
System	Radiant	Radiant	Radiant	Radiant	Radiant	Radiant	Radiant
Chiller T	12.20	14.00	14.60	16.50	15.30	15.60	13.10
Position	Wall & Floor	Wall & Floor	Wall & Floor	Wall & Floor	Wall & Floor	Wall & Floor	Wall & Floor
Pump	off	off	wall	wall	off	off	off
Type	start	start	start	start	start	start	start
Respond time (hr)	13.41	3.28	2.92	1.00	1.50	2.00	4.13
Power	1910.00	1762.59	2169.08	3238.50	1918.17	2264.16	1759.87
Start up energy (KWhr)	25.61	5.78	6.33	3.24	2.88	4.53	7.27
Floor Water T		27.85	16.98	28.78	24.45	31.55	22.38
Floor Water T after		17.55	18.38	24.50	19.70	22.28	18.45
Wall Water T		27.87	25.30	29.87	19.08	31.67	22.47
Wall Water Tafter		24.90	16.92	18.75	23.02	22.48	21.32
Surface T	31.39	30.84	27.85	31.41	29.55	32.90	28.90
Surface T after		27.89	24.29	29.55	27.77	28.88	25.09
Air T	31.98	30.88	28.59	31.76	30.28	33.13	30.24
Air T after		28.79	26.30	30.23	28.76	30.15	26.56
Air T Deviation C/m	0.98	0.55	0.63	0.67	0.65	0.50	0.62
Air T Deviation C/m after		0.52	0.80	0.75	0.63	0.60	0.28
Out T	35.82	29.03	31.57	31.63	31.77	31.30	32.37
Out T after		31.37	33.37	31.73	34.53	32.33	30.53
T oper	31.64	30.85	28.16	31.56	29.86	32.99	29.46
T oper after		28.27	25.14	29.84	28.19	29.41	25.71
T diff	4.18	1.82	3.41	0.07	1.91	1.69	2.91
T diff after		3.10	8.23	1.90	6.34	2.92	4.83
Remarks		1st phase floor cooling more effective due to higher flow	2nd phase increased wall cooling efficiency				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 11 แสดงข้อมูลขณะปิดระบบ เพื่อเปรียบเทียบการคงสภาวะสบายด้วยอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟของระบบ

Date	04 April 2021	10 April 2021	10 April 2021
Time of day	night	afternoon	night
System	Radiant	Radiant	Radiant
Chiller T			
Position	Wall & Floor	Wall & Floor	Wall & Floor
Pump	off	wall	wall
Type	hang	hang	hang
Respond time (hr)	7.50	4.27	4.07
Power			
Start up energy (KWhr)			
Floor Water T	15.68	17.70	27.23
Floor Water T after	25.88	27.15	27.60
Wall Water T	25.22	17.20	30.25
Wall Water Tafter	28.25	30.27	29.90
Surface T	24.53	23.32	26.22
Surface T after	24.53	26.23	26.42
Air T	25.71	24.66	27.11
Air T after	24.94	27.13	26.80
Air T Deviation C/m	0.32	1.03	0.78
Air T Deviation C/m after	0.23	0.80	0.25
Out T	27.57	33.63	29.93
Out T after	26.30	29.77	28.60
T oper	25.03	23.88	26.59
T oper after	24.70	26.61	26.58
T diff	2.54	9.75	3.34
T diff after	1.60	3.16	2.02
Remarks			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

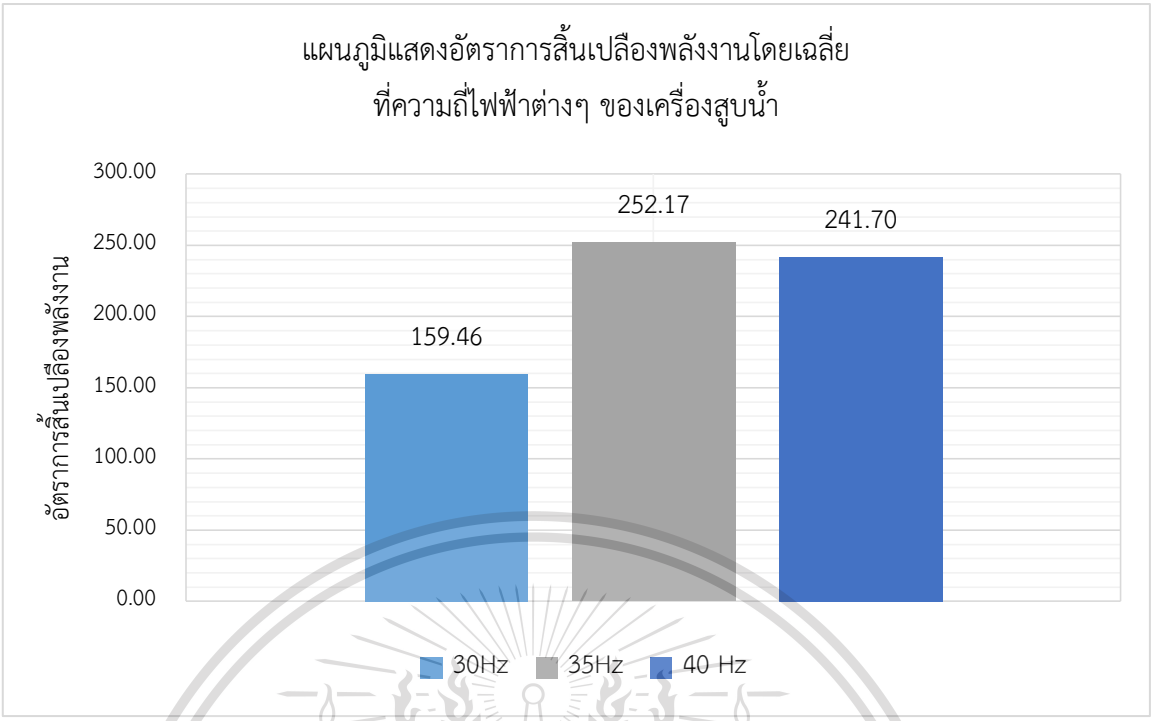


รูปที่ 27 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเปิดและปิดใช้งานเครื่องสูบน้ำ

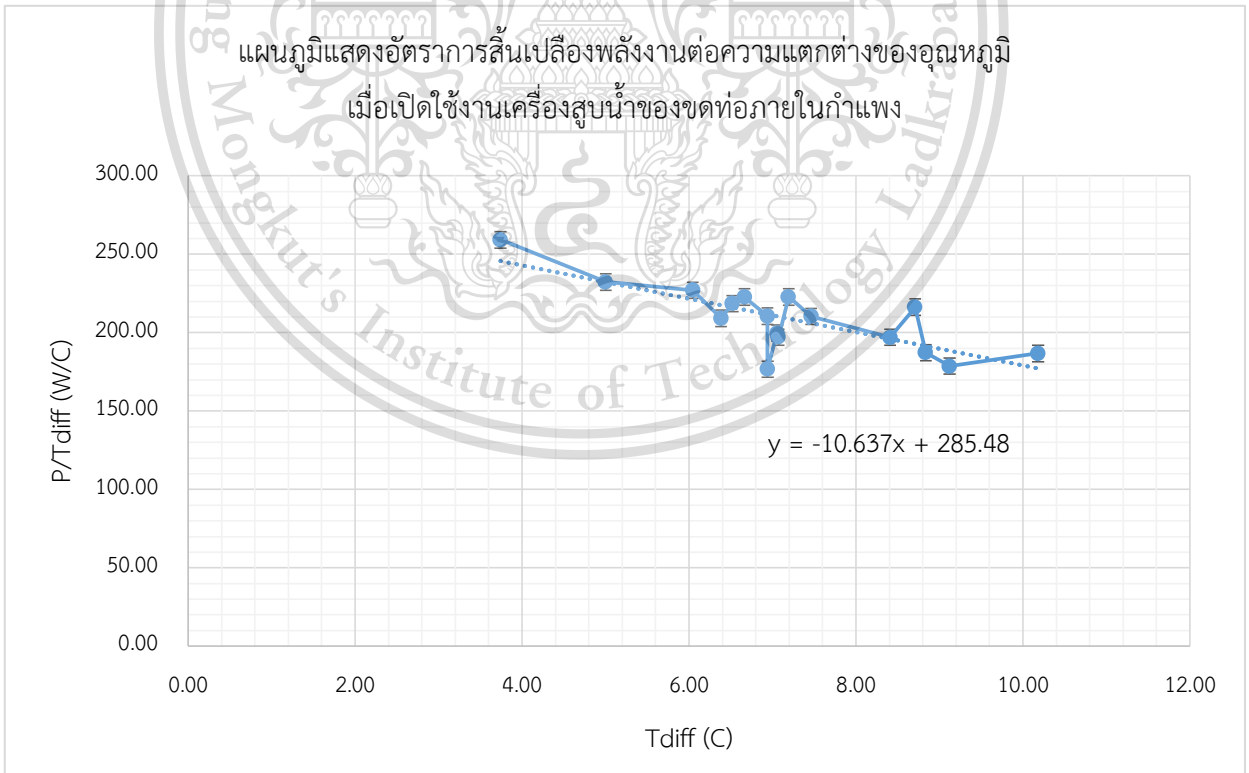
ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลของระบบเมื่อคงอุณหภูมิน้ำไว้ที่ 15 องศาเซลเซียส และเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยเทียบกับความถี่ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ

Pump Frequency (hz)	Outside T	Operative T	T diff	Pow	P/Tdiff
40	30	23.1	6.9	1667.73	241.70
35	29	27.5	1.5	526.12	350.75
35	31	25.93	5.07	1046.67	206.44
35	29	23.9	5.1	1016.47	199.31
30	30	23.5	6.5	909.04	139.85
30	33	25.445	7.555	1352.80	179.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

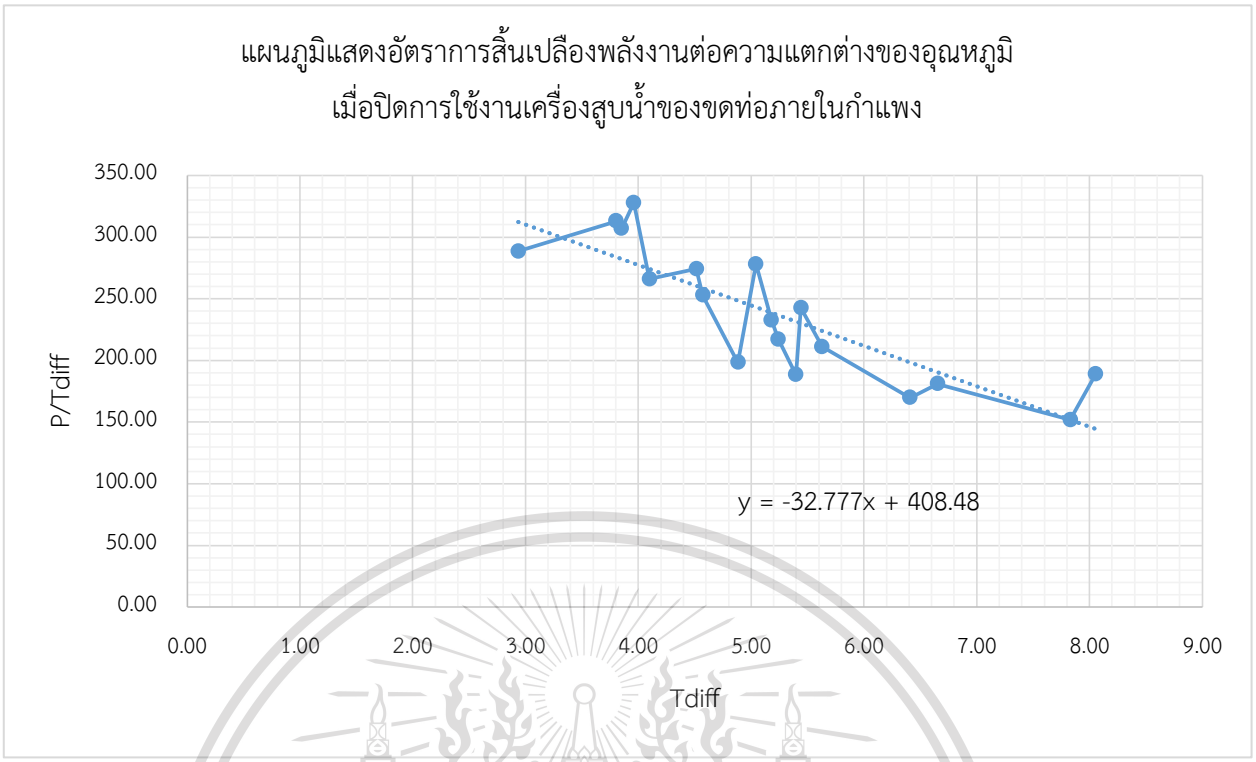


รูปที่ 28 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อปรับความถี่ไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ เท่ากับ 30 35 และ 40 เฮิรตซ์

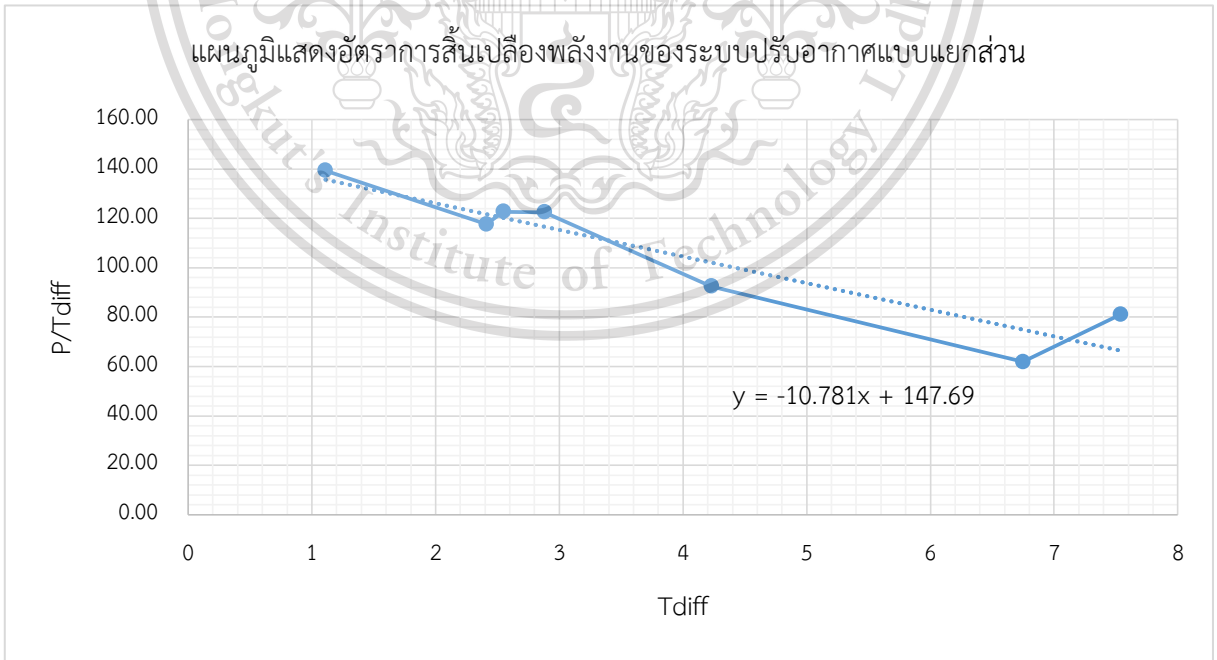


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 29 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อเปิดการใช้งานเครื่องสูบน้ำของขดท่อภายในกำแพงโดยมีค่าความชันของกราฟประมาณ -10.637 $W/°C^2$

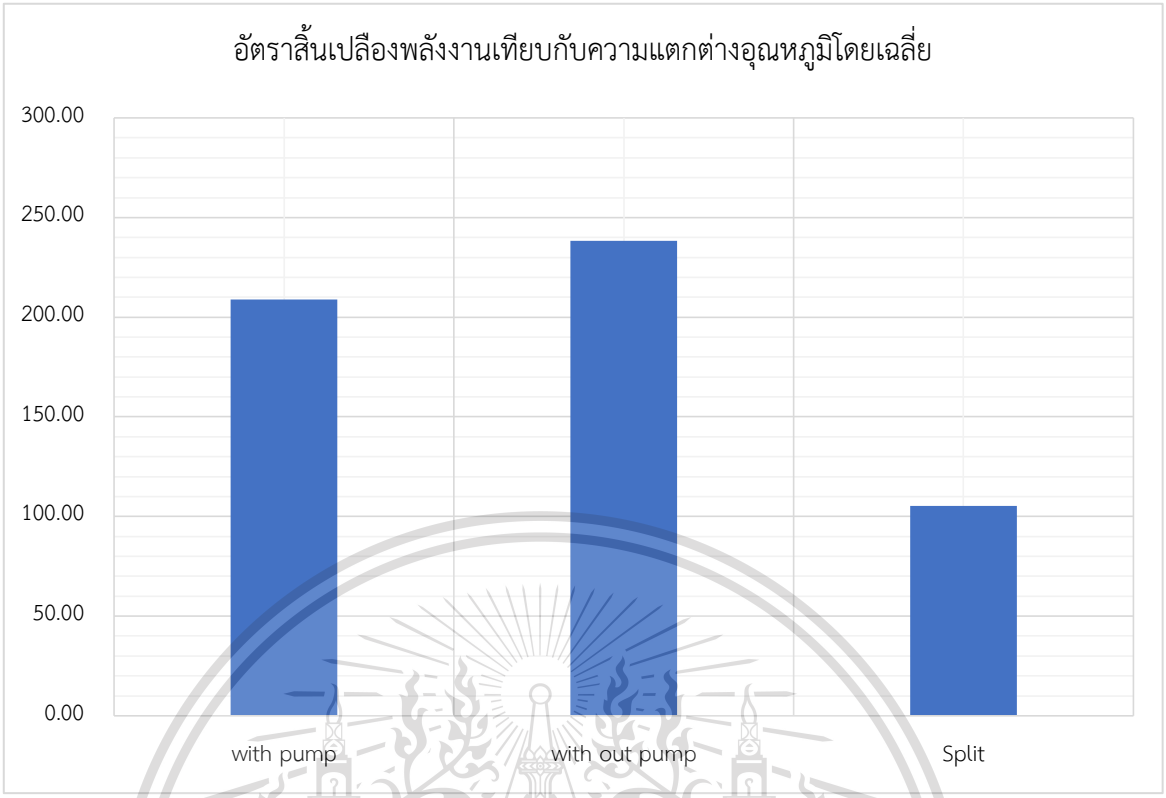


รูปที่ 30 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อความแตกต่างของอุณหภูมิ เมื่อปิดการใช้งานเครื่องสูบน้ำของขดท่อภายในกำแพง โดยมีค่าความชันของกราฟประมาณ -32.78 $W/°C^2$



รูปที่ 31 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยมีค่าความชันของกราฟประมาณ -10.781 $W/°C^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

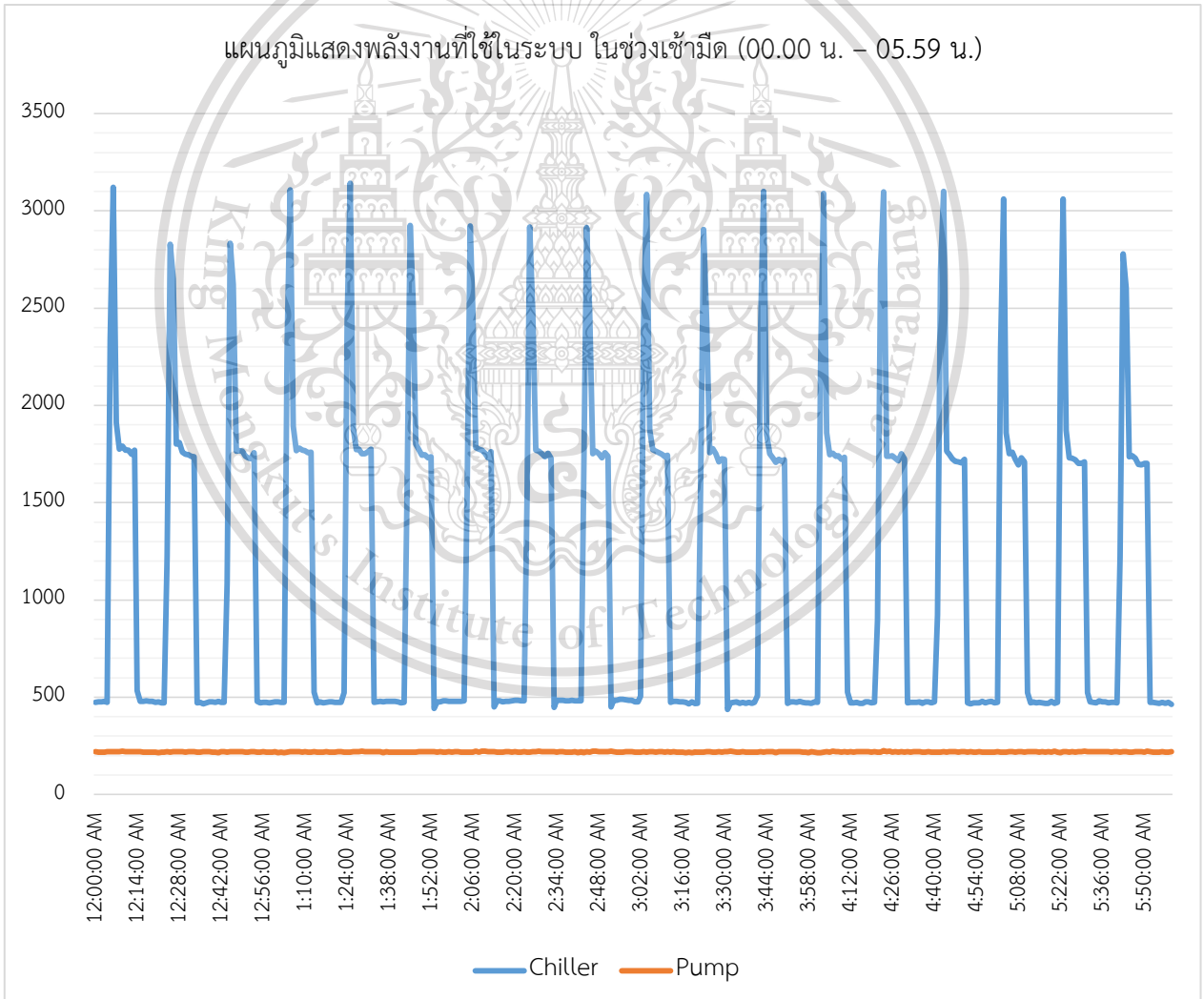


รูปที่ 32 แผนภูมิแสดงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานโดยเฉลี่ยของระบบปรับอากาศทั้ง 3 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

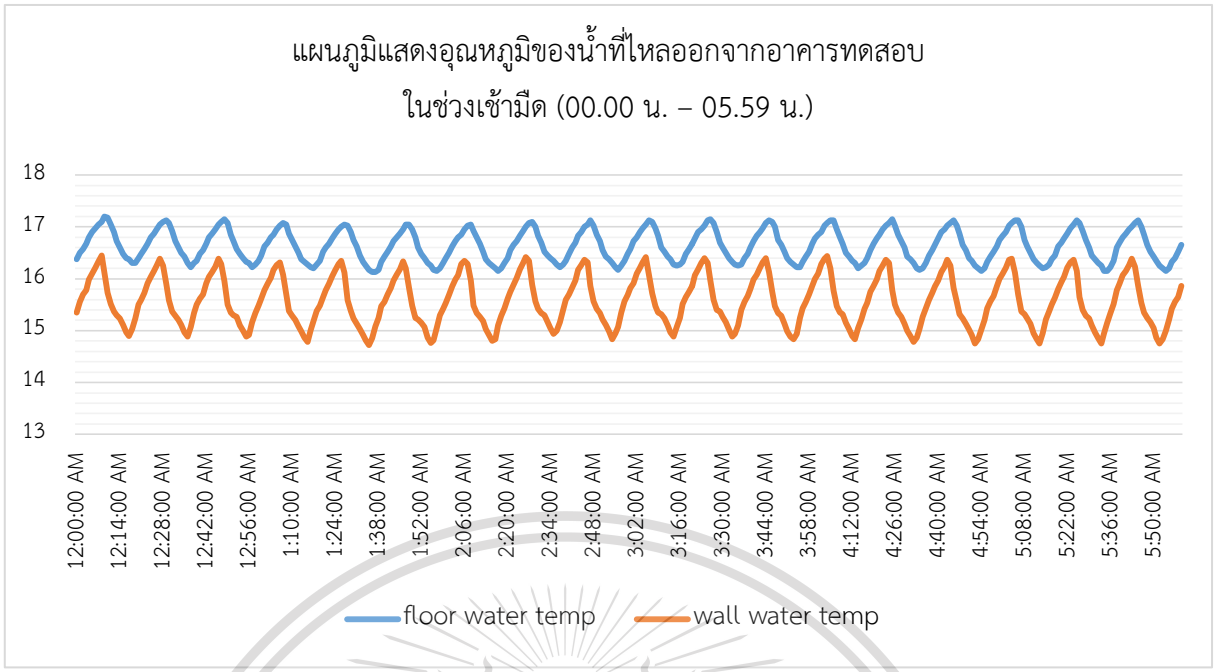
4.4 ตัวอย่างแผนภูมิ

เพื่อให้เห็นตัวอย่างข้อมูลก่อนจะถูกนำมาสรุป เห็นถึงภาพการทำงาน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบที่ผ่านมา โดยจะแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.) ช่วงเช้า (06.00 น. - 11.59 น.) ช่วงบ่าย (12.00 น. - 17.59 น.) และช่วงค่ำ (18.00 น. - 23.59 น.) ซึ่งในแต่ละช่วงของวันก็จำเป็นที่จะต้องใช้อุณหภูมิน้ำเข้าสู่อาคารทดสอบที่แตกต่างกัน เพื่อรักษาอุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟให้คงสภาวะความสบายต่อไป โดยใช้พลังงานน้อยที่สุด และในแต่ละช่วงจะมี 3 แผนภูมิ คือ แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ และแผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิพื้นผิว อุณหภูมิโอเปอร์เรทีฟ และอุณหภูมิภายนอก

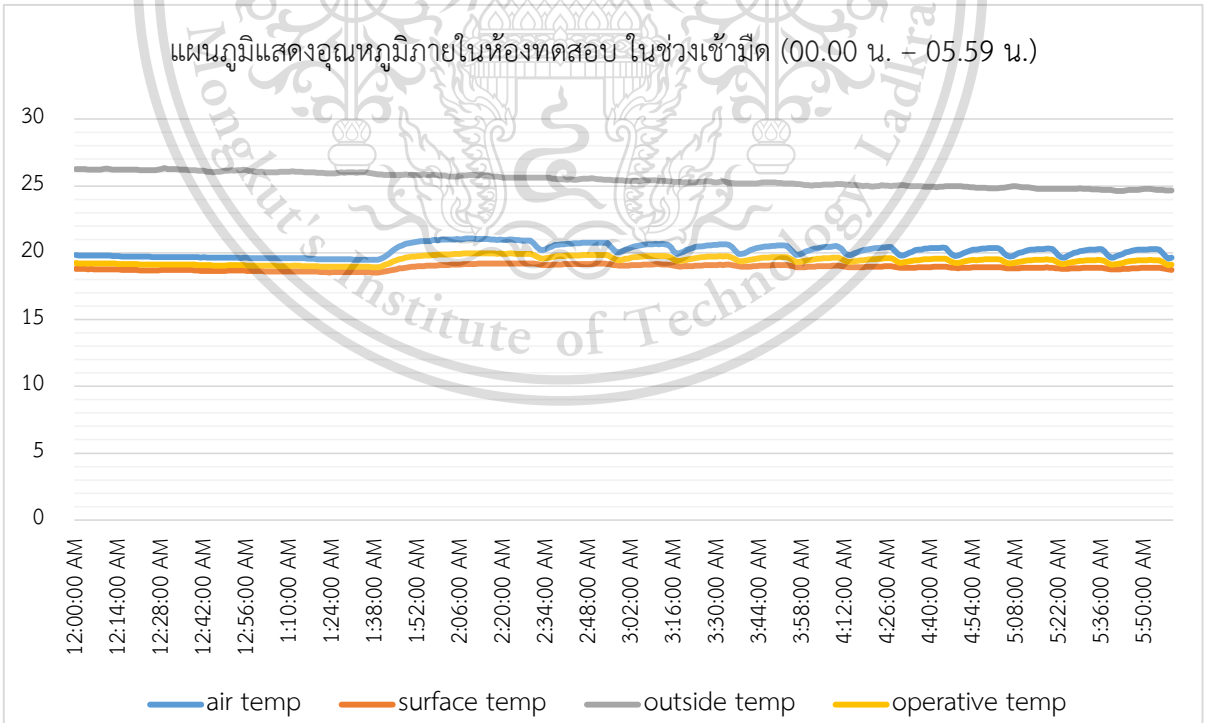


รูปที่ 33 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 18 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

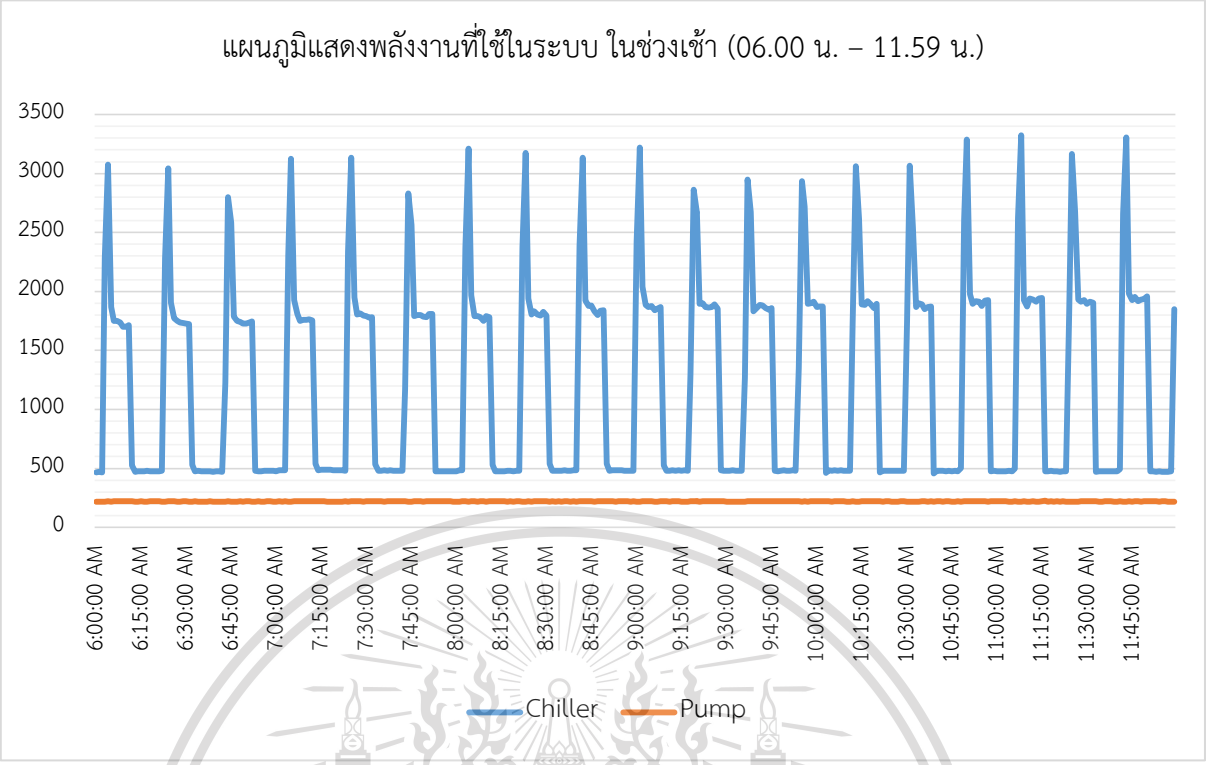


รูปที่ 34 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ
ในช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 18 องศาเซลเซียส

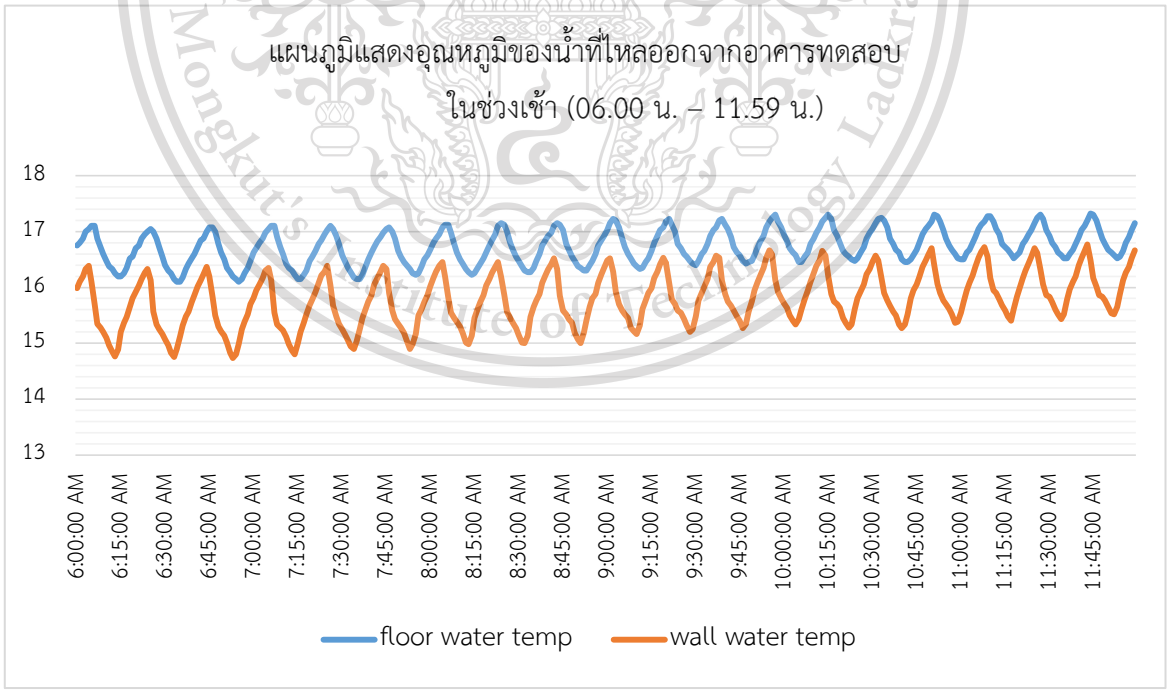


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 35 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงเช้ามืด (00.00 น. – 05.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 18 องศาเซลเซียส

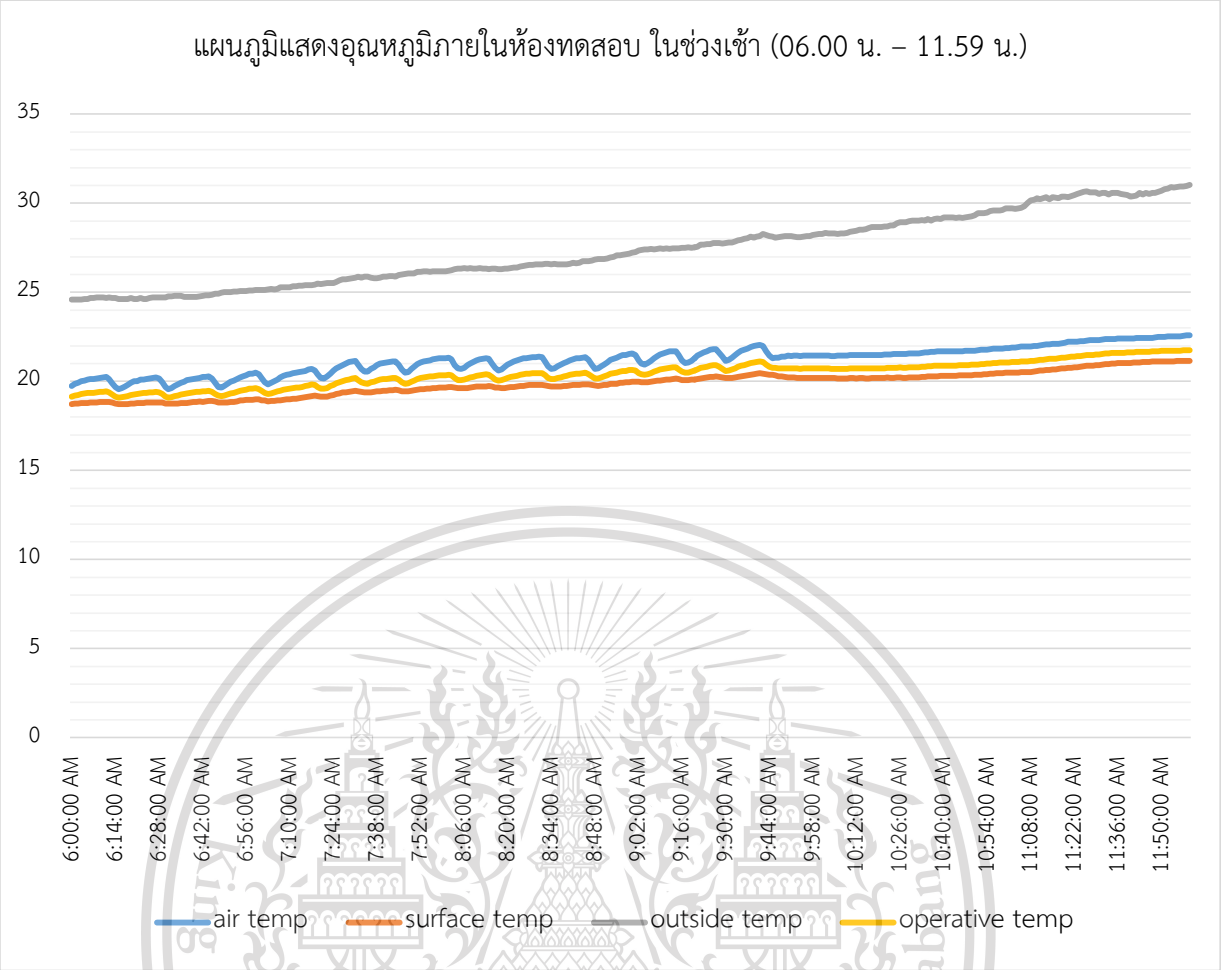


รูปที่ 36 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงเช้า (06.00 น. – 11.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส



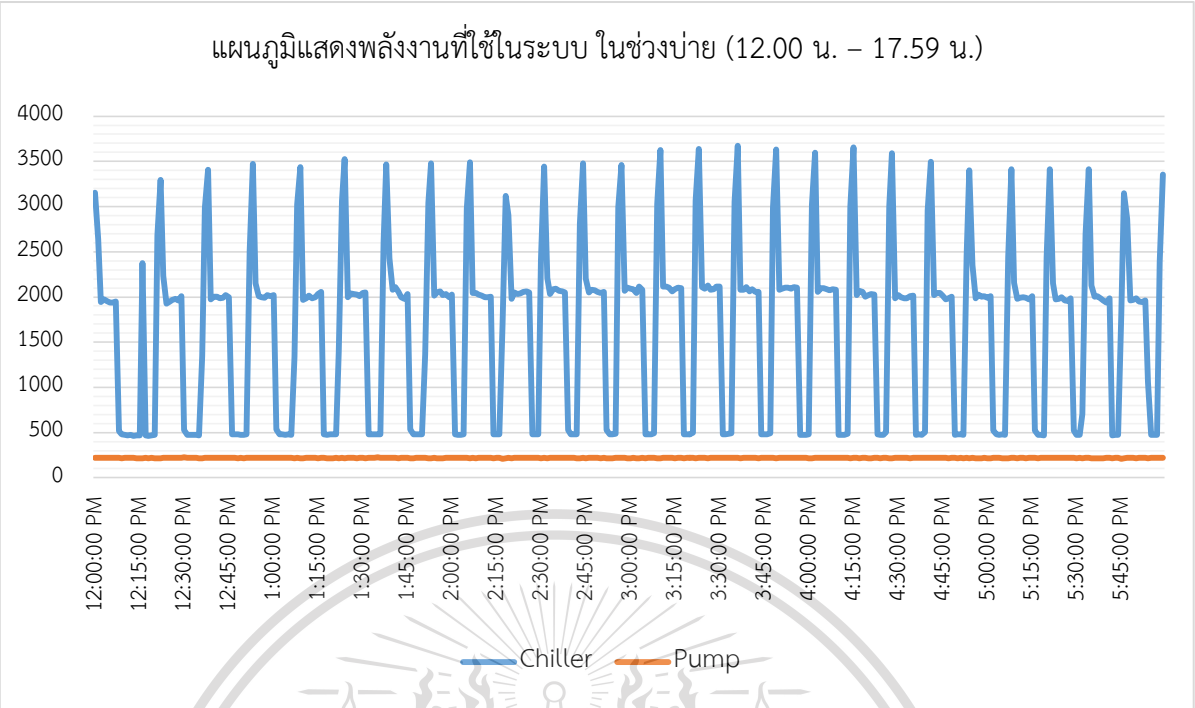
รูปที่ 37 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ
ในช่วงเช้า (06.00 น. – 11.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

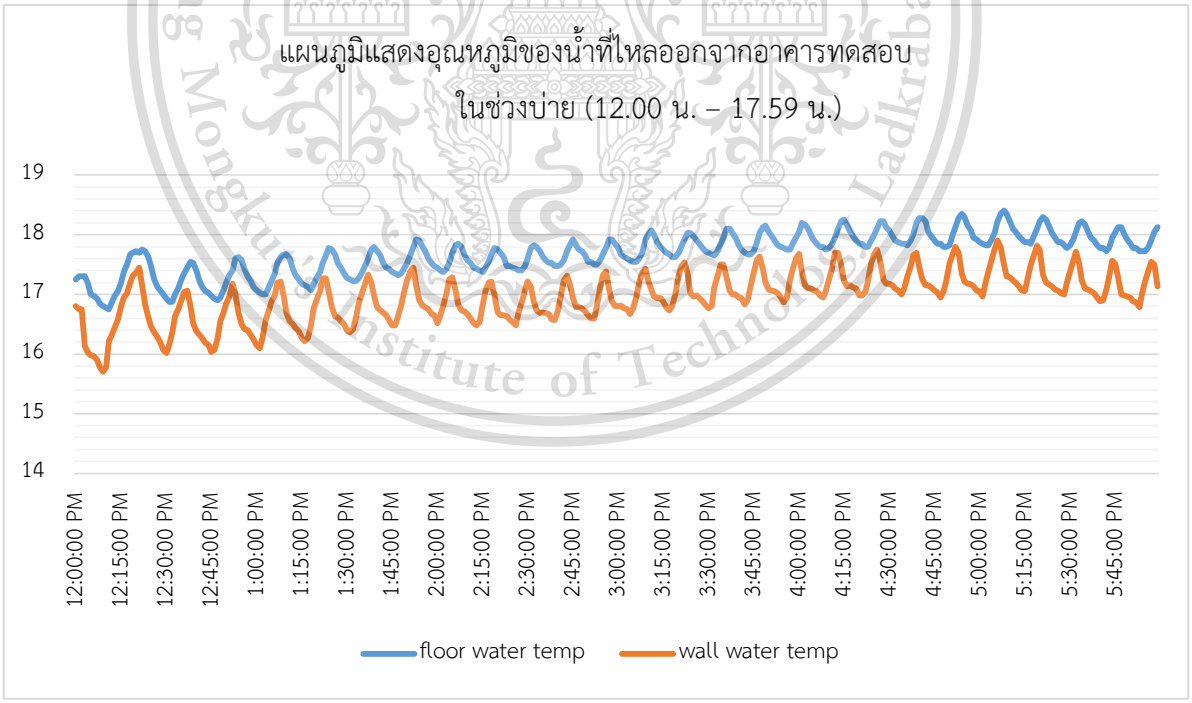


รูปที่ 38 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงเช้า (06.00 น. – 11.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 15 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

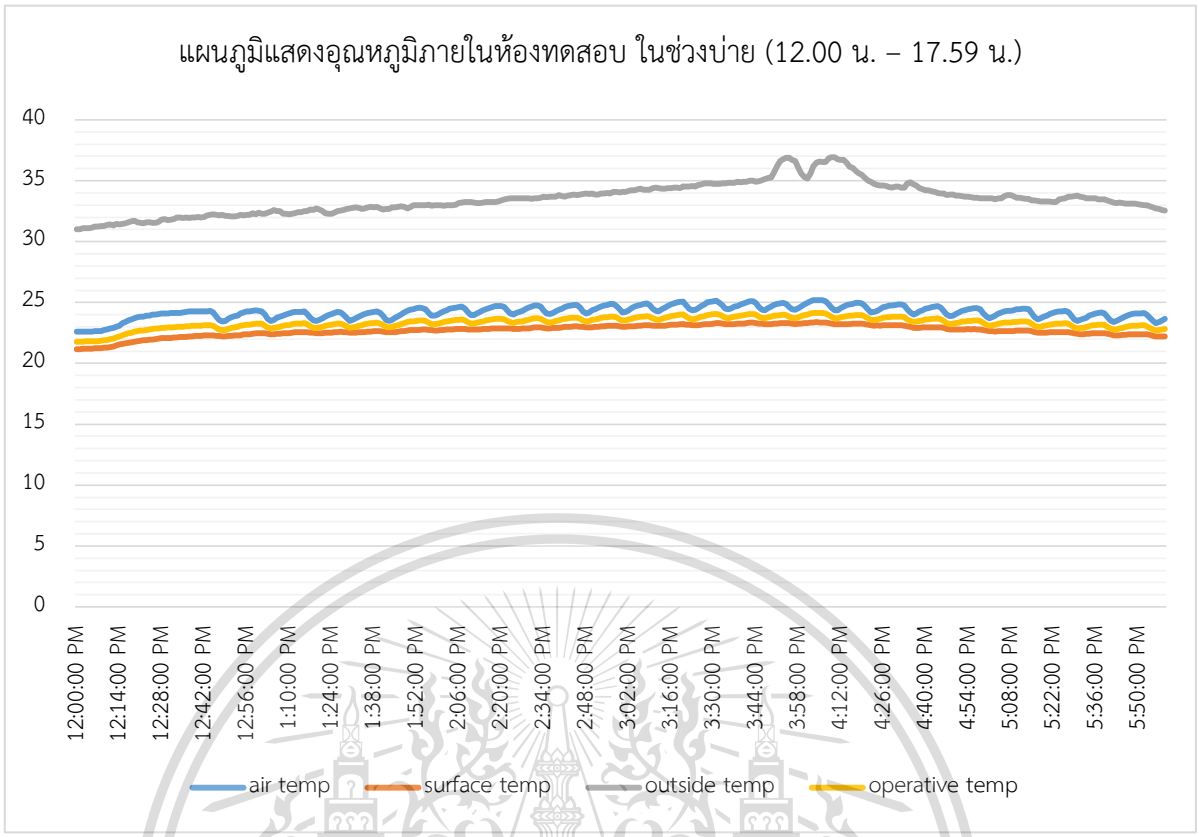


รูปที่ 39 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงบ่าย (12.00 น. – 17.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส



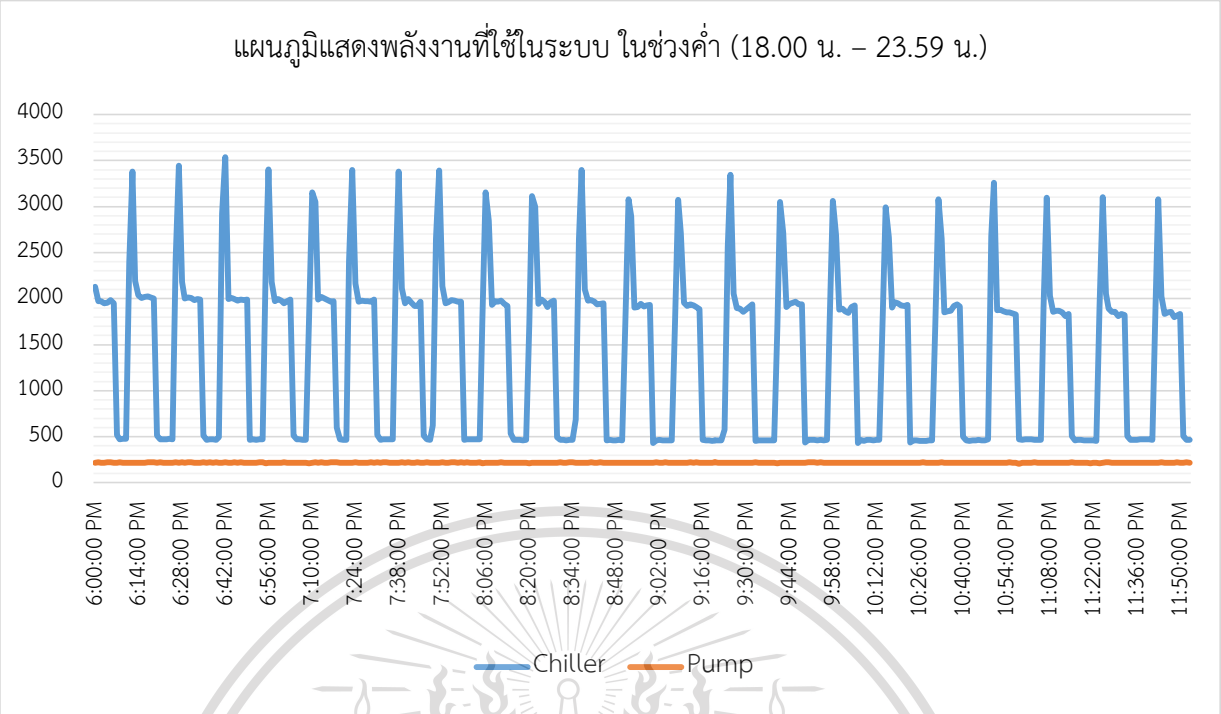
รูปที่ 40 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ
ในช่วงบ่าย (12.00 น. – 17.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

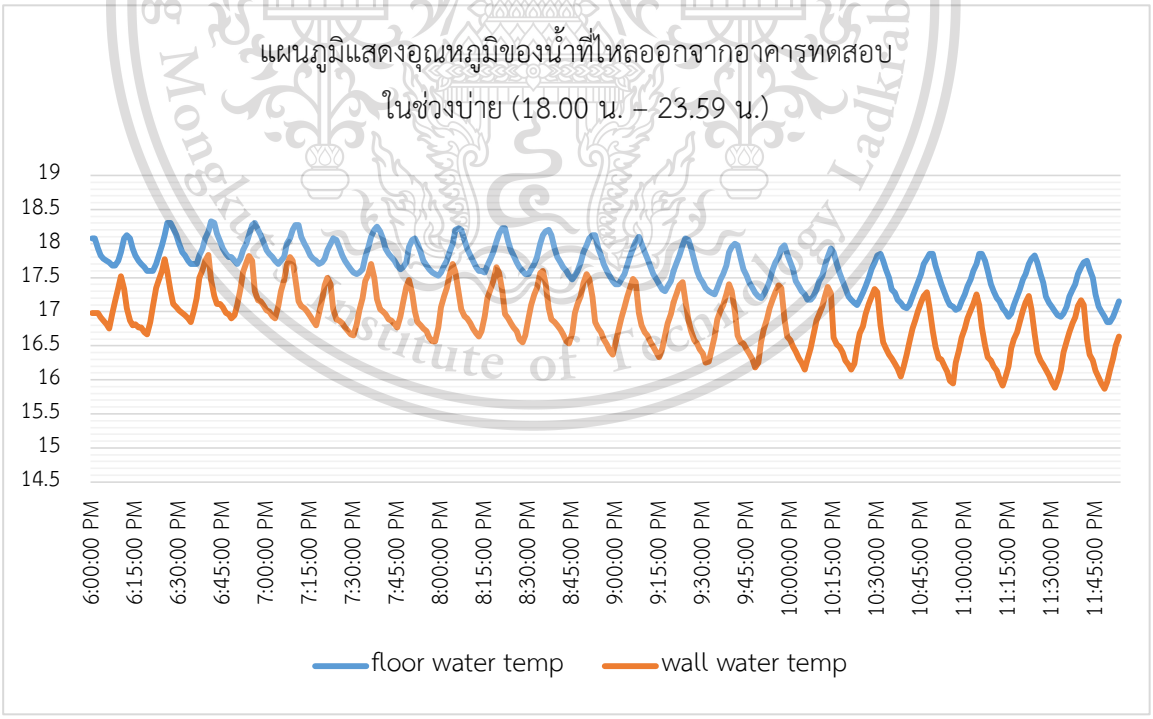


รูปที่ 41 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงบ่าย (12.00 น. – 17.59 น.) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

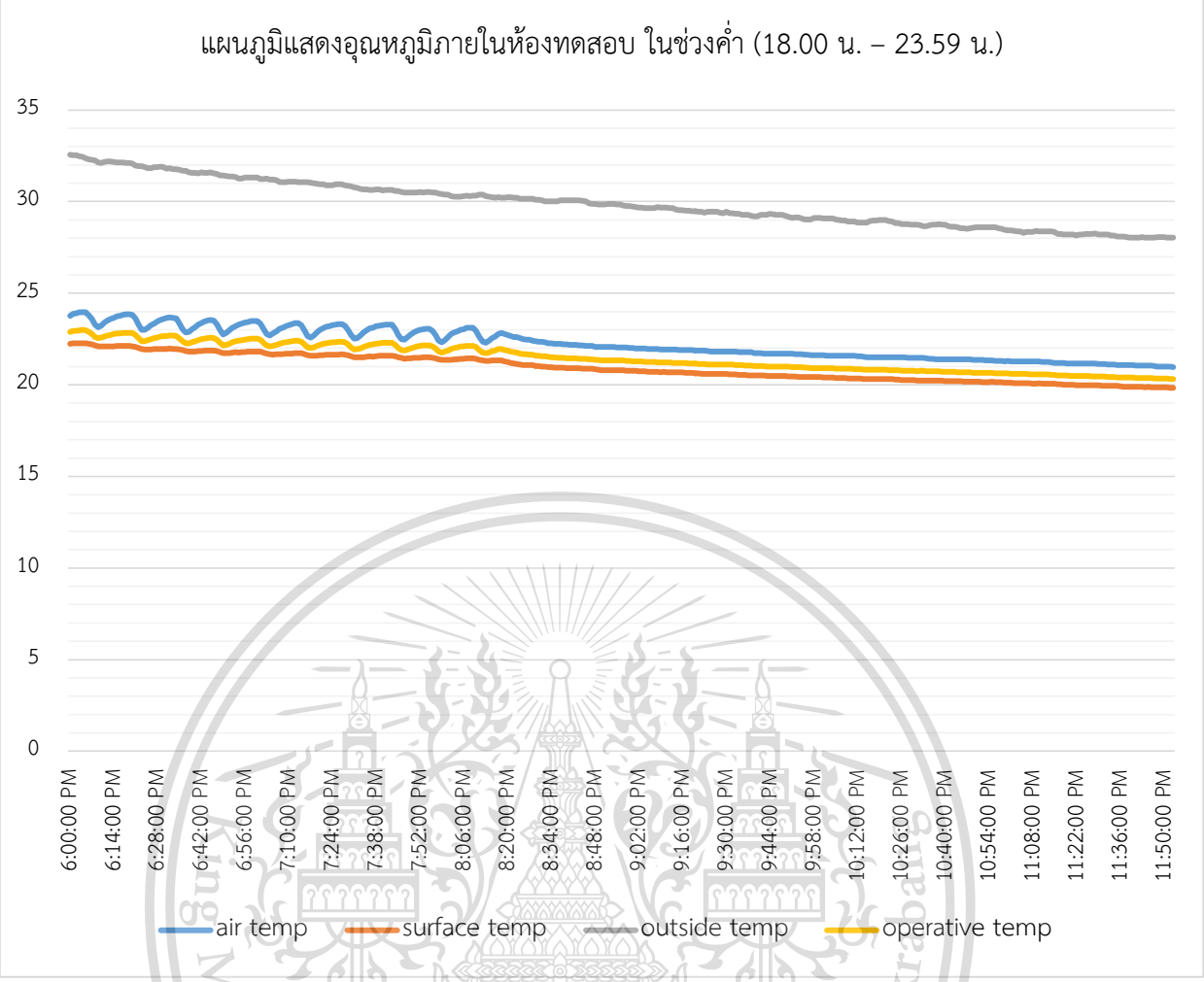


รูปที่ 42 แผนภูมิแสดงพลังงานที่ใช้ในระบบ ในช่วงค่ำ (18.00 น. – 23.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส



รูปที่ 43 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิของน้ำที่ไหลออกจากอาคารทดสอบ
ในช่วงค่ำ (18.00 น. – 23.59 น.)
เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 44 แผนภูมิแสดงอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ ในช่วงค่ำ (18.00 น. – 23.59 น.) เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับ 13 องศาเซลเซียส

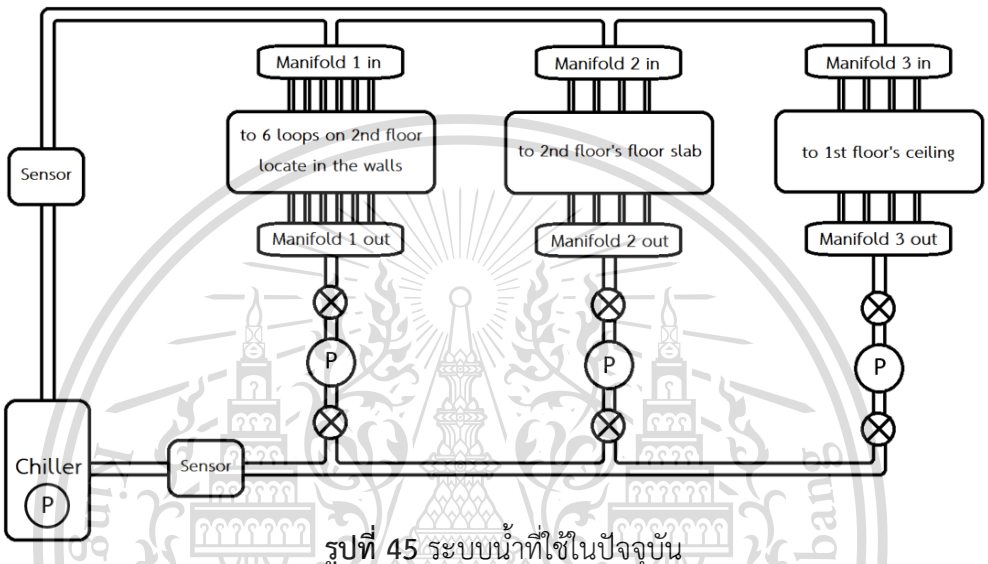
ตารางที่ 13 แสดงอุณหภูมิที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาของวันในฤดูร้อน

ช่วงเวลา (นาฬิกา)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
00.00 – 05.59	18
06.00 – 11.59	15
12.00 – 17.59	10
18.00 – 23.59	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

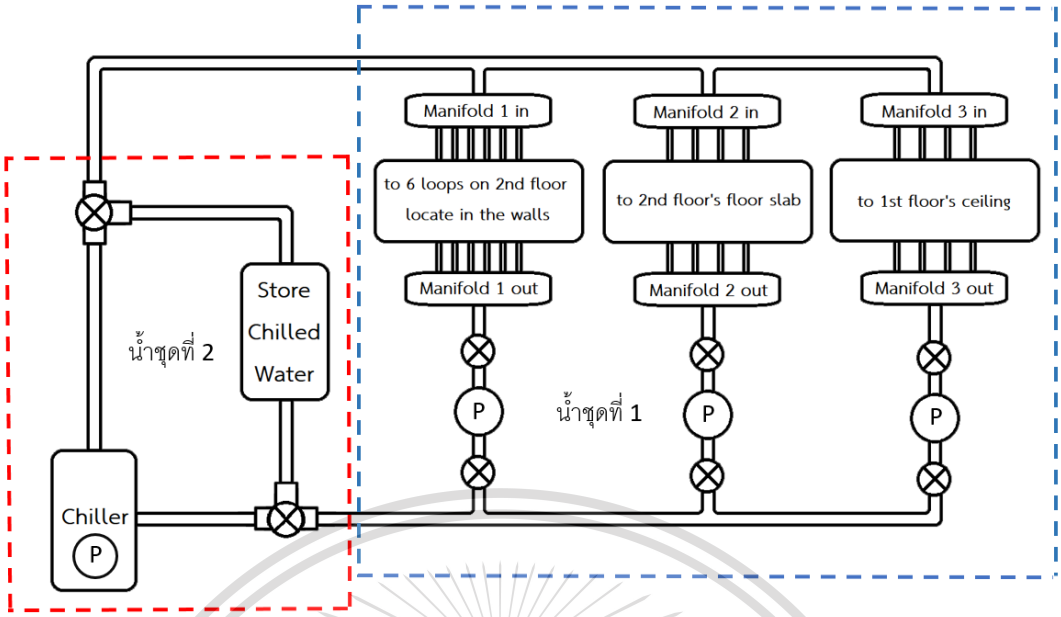
ทางทีมงานเห็นว่าควรเพิ่มระบบถังเก็บน้ำ ทางผู้ทดลองคิดว่าหากทำการเปลี่ยนรูปแบบการทำงานของน้ำในระบบทำความเย็น จากการปล่อยน้ำจากชิลเลอร์ให้ไหลเข้าสู่อาคารทดสอบโดยตรง เป็นการปล่อยน้ำให้ไหลแยกเป็น 2 ชุด โดยปล่อยน้ำชุดแรกไหลเข้าสู่อาคารทดสอบ แล้วปล่อยให้น้ำชุดดังกล่าวดูดซับพลังงานความร้อนในห้อง



รูปที่ 45 ระบบน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน

ระบบที่ใช้ในปัจจุบัน จะทำงานอาศัยการทำงานของชิลเลอร์ตลอดเวลา ซึ่งจะมีการใช้พลังงานอยู่สองช่วงการทำงานคือ ช่วงเริ่มต้นการทำงานหรือสตาร์ทอัพ (Startup) และช่วงเสถียร (Steady state) โดยช่วงสตาร์ทอัพ ชิลเลอร์จะทำงานแบบเต็มที่ เป็นเวลาหนึ่งชั่วโมง หลังจากผ่านพ้นช่วงสตาร์ทอัพไปแล้ว จะเข้าสู่ช่วงเสถียร ซึ่งชิลเลอร์จะพยายามปรับระดับอุณหภูมิน้ำเข้าและออกอยู่ตลอดเวลา โดยมีการทำงานแบบนอนอินเวอร์เตอร์ และในช่วงเสถียร จำเป็นต้องเปิดเครื่องสูบน้ำ EBARA CMDX 90/10 IE3 หรือเครื่องสูบน้ำภายนอกควบคู่ไปด้วย ซึ่งจะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานสูงขึ้น เป็นผลทำให้ค่าไฟสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 46 ระบบที่ผู้ทดลองได้ทำการออกแบบใหม่

ในรูปแบบการทำงานที่ผู้ทดลองได้นำเสนอ คือการปิดการทำงานของชิลเลอร์เมื่อเข้าสู่ช่วงเสถียร แล้วปล่อยน้ำชุดแรกไหลเข้ามาที่ขดท่อในกำแพงเพื่อดูดซับความร้อน โดยไม่มีการไหลเวียนของน้ำภายในห้องทดสอบ ส่วนน้ำชุดที่สองจะปล่อยให้ไหลเวียนอยู่ภายในถังน้ำสำรอง โดยให้ชิลเลอร์ทำความเย็นกับน้ำภายในถัง ซึ่งในระหว่างการทำความเย็น ไม่จำเป็นต้องอาศัยเครื่องสูบน้ำภายนอกเข้ามาช่วยในการไหลเวียนน้ำ และให้ชิลเลอร์ทำงานแบบเต็มที่ในรอบเดียว โดยไม่ต้องมีการทำงานแบบนอนอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะสามารถลดการอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานได้ เมื่อน้ำในถังน้ำสำรองมีอุณหภูมิตามที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการสับเปลี่ยนน้ำชุดที่สองเข้ามาแทนที่น้ำชุดแรกในทันที เพื่อให้น้ำชุดที่สองได้รับพลังงานความร้อนจากความร้อนที่ซึมเข้ามารอบถังเก็บน้ำได้น้อยที่สุด ส่วนน้ำชุดแรกจะถูกสับเปลี่ยนไปแทนที่น้ำชุดที่สองเพื่อให้ชิลเลอร์ทำความเย็นกับน้ำภายในถังต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานและค่า COP ที่ได้ของชิลเลอร์ หากต้องเริ่มทำความเย็นในช่วงเช้า (07.00 น. - 10.00 น.) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิน้ำ 13 องศาเซลเซียส และไม่คิดพลังงานของเครื่องสูบน้ำภายนอก รวมทั้งมีค่า Cooling energy ซึ่งได้มาจากภาคผนวก จ

1 การทำงานแบบไม่มีถังน้ำสำรองและให้ชิลเลอร์ทำงานตลอดเวลา

Cooling energy required (100% peak) = 19182 * 1 * 3 ชั่วโมง

= 57546 BTU

= 60714.244 กิโลจูล

Chiller Start up power (1 ชั่วโมง) ≈ 2240 W * 1 ชั่วโมง

= 2240 วัตต์-ชั่วโมง

Chiller Steady power (2 ชั่วโมง) ≈ 1500 W * 2h

= 3000 วัตต์-ชั่วโมง

Total Chiller energy (3 ชั่วโมง) ≈ 5240 วัตต์-ชั่วโมง

= 18864 กิโลจูล

COP before tank = Cooling energy/ Total Chiller energy

= 3.218

2 การทำงานแบบมีถังน้ำสำรองและให้ชิลเลอร์ทำงานแบบสตาร์ทอัพ 2 รอบ

Chiller Startup power (รอบแรก) (1 ชั่วโมง) ≈ 2240 วัตต์ * 1 ชั่วโมง

= 2240 วัตต์-ชั่วโมง*

Chiller Startup power (รอบที่ 2) (1h) ≈ 2240.6 วัตต์-ชั่วโมง**

Startup Energy = 4481.2 วัตต์-ชั่วโมง

= 16132.32 กิโลจูล

COP after using tank = Cooling energy/Start up energy

= 3.764

* หยุดการทำงานของชิลเลอร์ และทำการพักน้ำที่พึ่งออกจากอาคารไว้ในถังน้ำสำรองเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงเริ่มทำความเย็นให้น้ำชุดดังกล่าว แล้วปล่อยให้น้ำอีกชุดดูดซับพลังงานในอาคารทดสอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

** สตาร์ทอัพรอบที่ 2 อาจจะใช้พลังงานน้อยลง เพราะมีโอกาสที่น้ำชุดที่ไหลออกจากอาคารทดสอบจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นไม่มาก เมื่อเทียบกับตอนปล่อยน้ำเข้าอาคารทดสอบครั้งก่อนหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานและค่า COP ที่ได้ของชิลเลอร์ หากต้องเริ่มทำความเย็นในช่วงเช้า (07.00 น. – 17.00 น.) เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยมีอุณหภูมิน้ำ 13 องศาเซลเซียส และไม่คิดพลังงานของเครื่องสูบน้ำภายนอก

1 การทำงานแบบไม่มีถังน้ำสำรองและให้ชิลเลอร์ทำงานตลอดเวลา

Cooling energy required (100% peak) = 19182 * 1 * 10 ชั่วโมง

= 191820 BTU

= 202380.814 กิโลจูล

Chiller Startup power (1 ชั่วโมง) ≈ 2240 วัตต์ * 1 ชั่วโมง

= 2240 วัตต์-ชั่วโมง

Chiller Steady power (9 ชั่วโมง) ≈ 1500 วัตต์ * 9 ชั่วโมง

= 13500 วัตต์-ชั่วโมง

Total Chiller energy (10 ชั่วโมง) ≈ 15740 วัตต์-ชั่วโมง

= 56664 กิโลจูล

COP before tank = Cooling energy/ Total Chiller energy

= 3.57

2 การทำงานแบบมีถังน้ำสำรองและให้ชิลเลอร์ทำงานแบบสตาร์ทอัพ แบ่งเป็น 5 รอบ รอบละ 2 ชั่วโมง

Chiller Startup power (5 รอบ) (รอบละ 1 ชั่วโมง)

≈ 2240 วัตต์ * 5 ชั่วโมง

= 11200 วัตต์-ชั่วโมง

Startup Energy ≈ 11200 วัตต์-ชั่วโมง

= 40320 กิโลจูล

COP after using tank = Cooling energy/Start up energy

= 5.01

สาเหตุที่ค่า COP ของระบบมีค่าสูงมาก แต่ยังคงมีการสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าระบบทำความเย็นแบบแยกส่วน เพราะค่าความร้อนที่สะสมในกำแพง จากสมการ $Q = mc\Delta T$ มีค่าสูง จากมวลกำแพงคอนกรีตและค่าความจุความร้อนประมาณ 40,000 กิโลจูล (37912.69 BTU)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากผลการทดลองที่เราได้ประมวลผลและวิเคราะห์ระหว่างระบบทำความเย็นทั้งสองระบบ ผู้ทดลองได้ทราบถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละระบบ และได้มองเห็นโอกาสที่จะพัฒนาระบบนี้ให้ประหยัดมากขึ้น จึงได้รวบรวมแนวทางการพัฒนาและปรับปรุงระบบมาใน ณ ที่นี้อีกด้วย

5.2 สรุปผลการทดลอง

5.2.1 ระบบทำความเย็นแบบ Radiant Cooling มีการใช้พลังงานโดยรวมมากกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ชนิดนอนอินเวอร์เตอร์ อย่างต่ำ 1.5 เท่า

5.2.2 บรรยากาศภายในห้องทดสอบ ให้ความรู้สึกสบายคล้ายกับการเปิดระบบควบคุมความชื้น (Dry mode) ผ่านเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่ใช้ในครัวเรือน แต่สามารถทำความเย็นในทุกบริเวณของห้องทดสอบได้ทั่วถึงมากกว่า โดยไม่มีลมมากระทบกับร่างกาย และทำงานได้เงียบกว่า

5.2.3 เนื่องจากระบบนี้ไม่มีการติดตั้งถังพักน้ำ ทำให้ชิลเลอร์จำเป็นต้องทำงานตลอดเวลา ซึ่งทางทฤษฎีแล้วหากติดตั้งถังน้ำจะสามารถประหยัดไฟฟ้าได้ร้อยละ 28.74 (ทำงาน 10 ชั่วโมง)

5.2.4 การเดินเครื่องชิลเลอร์ในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวันจะมีการสิ้นเปลืองพลังงานที่แตกต่างกันมาก จากตัวอย่างของวันที่ 8 และ 9 เมษายน พ.ศ. 2563 ในช่วงเวลา 19.00 น ของวันที่ 8 ถึง 9.00 น. ของวันถัดมา จะใช้พลังงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1514.5 วัตต์ และในช่วง 9.00 น. ถึง 14.00 น. ของวันที่ 9 ใช้พลังงานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1681.16 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 ปัญหาจากการศึกษา

5.3.1 ระบบเก็บข้อมูลมีการขัดข้องบ่อยครั้ง และบางครั้งไม่สามารถทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลานานได้ จึงทำให้ผู้ทดลองสูญเสียโอกาสเก็บข้อมูลในบางช่วงเวลาไป

5.3.2 ชิลเลอร์ขนาด 18 กิโลวัตต์ มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเกินความจำเป็น

5.3.3 มีหยดน้ำมาเกาะบนผนังห้องทดสอบจากการที่อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) ต่ำ ทำให้ซิลิโคนและกาวที่ติดตั้งบนเซนเซอร์เสียหาย

5.3.4 ระบบควบคุมระยะไกล (Online Control) ยังไม่สามารถใช้งานได้ การควบคุมระบบน้ำจึงจำเป็นที่จะต้องทำ ณ สถานที่ทดลองเท่านั้น

5.3.5 การทำงานคู่กันระหว่างระบบชิลเลอร์กับเครื่องสูบน้ำนอก มักจะมีปัญหาขัดข้องในช่วงเริ่มเดินเครื่อง

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรลดขนาดชิลเลอร์ของห้องทดสอบให้เล็กลง จากขนาด 18 กิโลวัตต์ ให้เหลือเพียง 12 กิโลวัตต์ เพื่อลดการใช้พลังงานเกินความจำเป็น

5.4.2 ควรเพิ่มขนาดความหนาของฉนวนโฟมที่ติดตั้งอยู่ภายในกำแพง เพื่อลดการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายนอกเข้าภายในสู่ห้องทดสอบ

5.4.3 ควรเปลี่ยนรูปแบบการติดตั้งเซนเซอร์จากการใช้ซิลิโคนและเทปใส เป็นเทปนำความร้อนเพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเซนเซอร์กับผนังห้องทดสอบ

5.4.3 ระบบทำความเย็นแบบ Radiant Cooling ควรใช้ในอาคารขนาดใหญ่หรืออาคารระฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติของชิลเลอร์รุ่น York YVAG-18 Reversible Heat Pump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของชิลเลอร์รุ่น York YVAG-18 Reversible Heat Pump

Technical features

Model			YVAG 012	YVAG 014	YVAG 016	YVAG 018	YVAG 020RSE	YVAG 022RSE	YVAG 025RSE	YVAG 028RSE	YVAG 033RSE	YVAG 040RSE
Performance	Nominal Cooling Capacity	kW	11.2	14	15.5	18	20	22	25	28	32	40
	Cooling Power Input	kW	3.8	4.7	5.2	6.5	5.5	6.4	7.8	8.4	10.6	13.3
	EER		2.95	2.98	2.98	2.77	3.63	3.43	3.2	3.33	3.01	3
	Nominal Heating Capacity	kW	12.6	16.1	18	19.5	22	24	27	30	34	42
	Heating Power Input	kW	3.8	4.9	5.4	6.5	5.9	6.5	7.6	8.5	10.3	12.7
	COP		3.32	3.29	3.33	3.00	3.73	3.69	3.55	3.53	3.30	3.3
	Sound Pressure Level	dB(A)	54	55	55	57	56	56.5	57	57	59	62
Compressor	Type		Rotary DC Inverter				EVI DC Inverter					
	Quantity	#	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Air side heat exchanger	Fan motor type		Brushless DC Fan Motor									
	Fans quantity	#	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Airflow	m³/h	2500~6600	2500~6600	2500~6600	2500~6600	2500~10500	2500~10500	2500~10500	2500~10500	2500~10500	2500~15000
Water side heat exchanger	Type		Brazed Plate Heat Exchanger									
	Pump Type		Multiple-stage centrifugal pump									
	Nominal water flow	m³/h	1.93	2.41	2.67	3.10	3.44	3.78	4.30	4.82	5.50	6.88
	Unit external head	m	15	13	12	11	22	21	19	18	14	14
Dimensions & Weight	Height	mm	1320						1588			1700
	Width	mm	995						1100			1300
	Depth	mm	360						400			760
	Operating weight	kg	126	128	141	141	210	210	210	215	215	350
Electrical	Power supply	V/ph/Hz	220/1/50 230/1/50						380/3/50 400/3/50			

Nominal conditions:
Cooling capacities in kW given for 12/7 °C water leaving temperature and 35 °C ambient temperature
Heating capacities in kW given for 40/45°C water leaving temperature and 7°C ambient temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข
คุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำ EBARA CMDX 90/10 IE3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

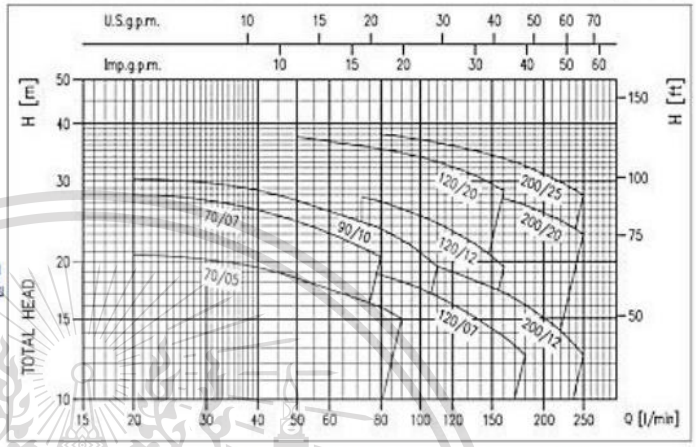
คุณสมบัติของเครื่องสูบน้ำ EBARA CMDX 90/10 IE3

"EBARA" Pump CDX Series

ชิ้นส่วนสัมผัสน้ำผลิตจากสแตนเลส สูบน้ำสะอาดทั่วไปที่ต้องการปริมาณน้ำปานกลางถึงมาก หรือ น้ำที่มีกรดเจือจางอยู่เพียงเล็กน้อย เหมาะสำหรับ งานอุตสาหกรรม งานเพิ่มแรงดันในที่พักอาศัย สูบน้ำในระบบหล่อเย็น ระบบเปลี่ยนถ่ายความร้อน สูบน้ำในสวนหย่อมหรือสวนผัก

เรือนปั๊ม ผลิตจาก สแตนเลส AISI 304
ใบพัด ผลิตจาก สแตนเลส AISI 304
เพลา ผลิตจาก สแตนเลส AISI 303
ซีลกันรั่ว แบบ Mechanical Seal ผลิตจาก Ceramic/Carbon/NBR

PERFORMANCE CURVE 2900 rpm 50 Hz



" Ebara " ปั๊มน้ำ ชนิดหอยโข่ง รุ่น CDX , CDXM (" Ebara " Single Impeller Centrifugal Stainless Steel Pump)

Model		แรงม้า	ท่อ	L/min	20	50	80	90	110	130	160	180	210	250	ราคา	
220V	380V	(HP)		m3/h	1.2	3	4.8	5.4	6.6	7.8	9.6	10.8	12.6	15	220V	380V
CDXM 70/05	CDX 70/05	0.5			20.7	18.4	15.9	15	-	-	-	-	-	-	xxx	xxx
CDXM 70/07	CDX 70/07	0.75			28	24.5	20.5	-	-	-	-	-	-	-	xxx	xxx
CDXM 90/10	CDX 90/10	1	1 1/4" x 1"		30.3	27.2	23.6	22.3	19.5	-	-	-	-	-	xxx	xxx
CDXM 120/07	CDX 120/07	0.75			-	20.5	18.7	18.1	16.8	15.5	13.7	12.5	-	-	xxx	xxx
CDXM 120/12	CDX 120/12	1.2		ส่งสูง (เมตร)	-	29.5	27.1	26.1	24.3	22.4	19.5	-	-	-	xxx	xxx
CDXM 120/20	CDX 120/20	2			-	37.5	35.3	34.6	33.1	31.4	28.6	-	-	-	xxx	xxx
CDXM 200/12	CDX 200/12	1.2			-	-	20.6	20.2	19.5	18.5	17.1	16.1	14.6	12.5	xxx	xxx
CDXM 200/20	CDX 200/20	2	1 1/2" x 1"		-	-	31	30.6	29.7	28.9	27.5	26.6	25.1	23	xxx	xxx
-	CDX 200/25	2.5			-	-	38	37.5	36.4	35.3	33.6	32.4	30.5	28	-	xxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

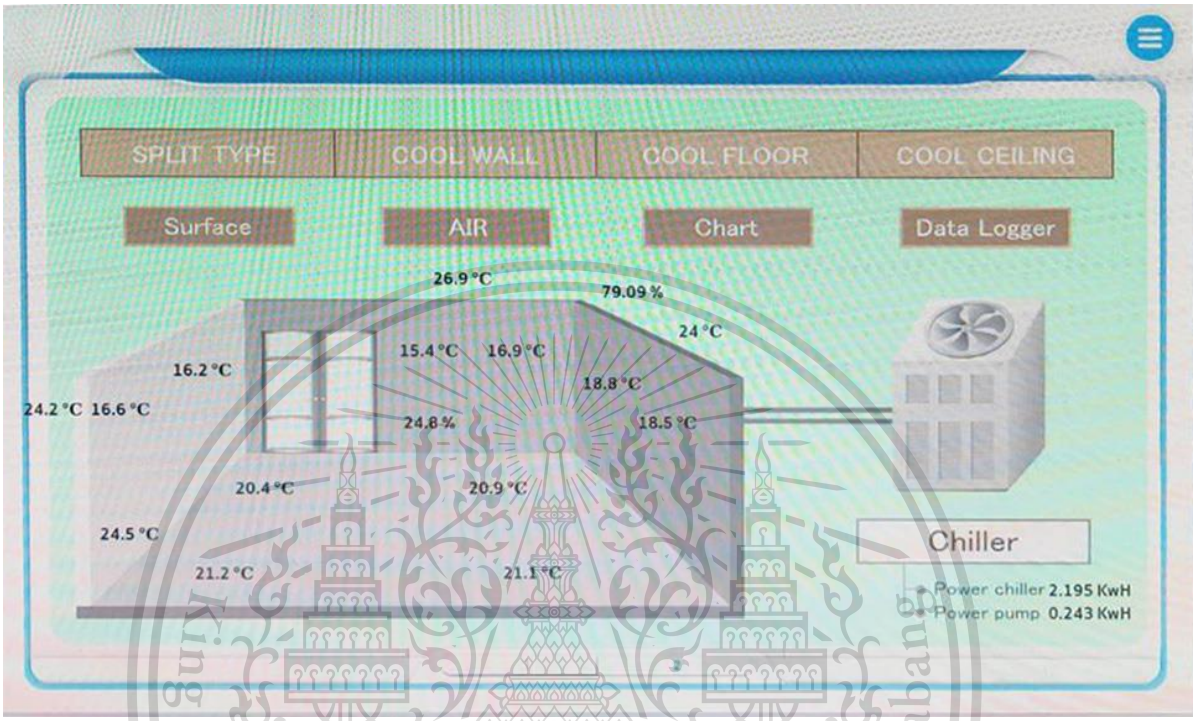
ภาคผนวก ค

ระบบเก็บ และแสดงผลข้อมูลของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ค

ระบบเก็บ และแสดงผลข้อมูลของอุณหภูมิ




```
(53 rows)
bemoss@cqlsh:bemossspace> select * from bplc2st ;

 agent_id | date_id    | time                      | c150a | c150b | c150c | c150d | c1stout | c2ndin | c50a | c50b | c50c | c50d | cceiling15
| cceiling16 | cceiling17 | cceiling18 | cfloor15 | cfloor7 | cfloor8 | cfloor9 | cleftwall1 | cleftwall2 | coutletfwall | coutrearwall | cout
rightwall | crearwall1 | crearwall2 | crightwall1 | crightwall2 | cwindow2 | status
----------+------------+---------------------------+-------+-------+-------+-------+---------+--------+------+------+------+------+-----------
----------+------------+------------+----------+---------+---------+---------+------------+------------+--------------+--------------+-----
----------+------------+------------+-------------+-------------+----------+--------
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:50:36+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.6 |   19985 |     29 |  32.3 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.4 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.3 |          29.1 |          28.2 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.8 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:50:47+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19992 |  16608 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.5 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.2 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.8 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:50:53+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19992 |  16608 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.5 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.2 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.7 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:50:58+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19992 |     29 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.5 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.2 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.7 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:51:03+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19988 |     29 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.5 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.2 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.8 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:51:09+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19988 |  16612 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.5 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.2 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.8 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:51:14+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19988 |   28.9 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.4 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.2 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.8 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:51:20+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19988 |   28.9 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.4 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.1 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.7 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:51:25+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19990 |     29 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.4 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29.1 |          28.1 |
|      29.9 |         32.4 |         32.2 |         32.6 |          32.6 |          29.7 |          null
  PLC2st | 2020-09-07 | 2020-09-08 21:51:31+0700 |  32.3 |  32.3 |  32.5 |  32.5 |   19990 |     29 |  32.2 |  32.4 |  32.3 |  32.3 |      30.2
|      30.2 |         32 |         31.9 |         32.7 |          32.4 |          32.7 |          32.9 |          32.5 |          32.2 |          29 |          28.1 |
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ง
โปรแกรมควบคุมระบบหมุนเวียนของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ง
โปรแกรมควบคุมระบบหมุนเวียนของน้ำ

DEVICE COMMAND

DEVICE	MQTT TOPIC	MQTT METHOD	MQTT DATA	UNIT
VSD1	VSD/Controlroom/VSD1/COMMAND	PUBLISH TO SEND COOMAND	ENABLE/RUN/STOP/RESET	
VSD1	VSD/Controlroom/VSD1/SETPOINT	PUBLISH TO SEND COOMAND	0~50	Hz
VSD1	VSD/Controlroom/VSD1/REF2	PUBLISH TO SEND COOMAND		
VSD2	VSD/Controlroom/VSD2/COMMAND	PUBLISH TO SEND COOMAND	ENABLE/RUN/STOP/RESET	
VSD2	VSD/Controlroom/VSD2/SETPOINT	PUBLISH TO SEND COOMAND	0~50	Hz
VSD2	VSD/Controlroom/VSD2/REF2	PUBLISH TO SEND COOMAND		
VSD3	VSD/Controlroom/VSD3/COMMAND	PUBLISH TO SEND COOMAND	ENABLE/RUN/STOP/RESET	1150/1151/1150/1278
VSD3	VSD/Controlroom/VSD3/SETPOINT	PUBLISH TO SEND COOMAND	0~50	Hz
VSD3	VSD/Controlroom/VSD3/REF2	PUBLISH TO SEND COOMAND		
CHILLER	Chiller/Controlroom/COMMAND	PUBLISH TO SEND COOMAND	0-Invalid, 1-On, 2-Off	
CHILLER	Chiller/Controlroom/MODE	PUBLISH TO SEND COOMAND	0-Cooling, 1-Heating, 8-Only Pump	
CHILLER	Chiller/Controlroom/CoolReturnWTSETPOINT	PUBLISH TO SEND COOMAND	10~30	
CHILLER	Chiller/Controlroom/HeatReturnWTSETPOINT	PUBLISH TO SEND COOMAND	25~50	
CHILLER	Chiller/Controlroom/CoolLeavingWTSETPOINT	PUBLISH TO SEND COOMAND	5~25	
CHILLER	Chiller/Controlroom/HeatLeavingWTSETPOINT	PUBLISH TO SEND COOMAND	30~55	
CHILLER	Chiller/Controlroom/LowSoundMODE	PUBLISH TO SEND COOMAND	1-Enabled	
CHILLER	Chiller/Controlroom/FaultRESET	PUBLISH TO SEND COOMAND	1-Reset	
CHILLER	Chiller/Controlroom/CoolingControlSELECT	PUBLISH TO SEND COOMAND	0-Fixed RT, 1-Fixed LT	
CHILLER	Chiller/Controlroom/HeatingControlSELECT	PUBLISH TO SEND COOMAND	0-Fixed RT, 1-Fixed LT	
CHILLER	Chiller/Controlroom/TemperatureControlCYCLE	PUBLISH TO SEND COOMAND	20~120, Unit: s	
CHILLER	Chiller/Controlroom/WaterTempControlDIFF	PUBLISH TO SEND COOMAND	1~3	

เอกสารนี้ [illegible] การใช้งาน [illegible] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณี [illegible] ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก จ

โปรแกรมคำนวณ Cooling Load แบบมีฉนวนภายในกำแพง

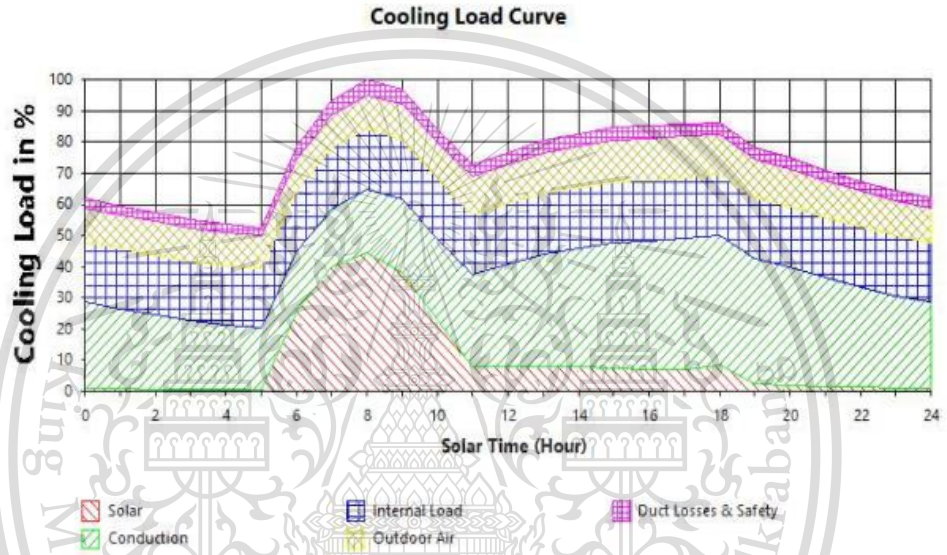
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก จ

โปรแกรมคำนวณ Cooling Load แบบมีฉนวนภายในกำแพง

TMW-CL1 Summary of Cooling Load Calculations

Project : My House
Zone : Living room
Calculated by : Prom Vongpanit
Date : 9-02-2564



Total Cooling Load & Peak Hour		Load Components in Btu/h		Total Load Components in Btu/h	
Total Cooling Load (Btu/h)	19,182	Roof	352	Total Conduction Heat Gain	3,932
Sensible Heat Ratio	0.89	Walls	968	Total Solar Heat Gain	8,513
Peak HR	8	Glass	424	Total Internal Heat Gain	3,710
Check Figures		Partitions	0	Total Outdoor Air Load	2,115
Total Btu/h/sq.ft.	73	Ceilings	393	Total Duct Loss & Safety	913
External Btu/h/sq.ft.	47	Floors	1,794	**Important Input Parameters**	
Internal Btu/h/sq.ft.	14	Solar	8,513	Latitude (Degree-N)	13.73
Outdoor Air Btu/h/sq.ft.	8	Lighting	2,291	DB Range (F)	12.8
Loss & Safety Btu/h/sq.ft.	3	People - Sensible	510	Outside DB (F)	96.3
Supply Air		People - Latent	510	Outside WB (F)	79.5
Supply Air (cfm)	761	Appliance - Sensible	0	Inside DB (F)	77.0
Cfm/Ton	476	Appliance - Latent	0	Inside RH %	50
Cfm/sq.ft.	2.9	FCU/AHU Fan Motor	399	Floor Area (sq.ft.)	262.43
Input Filename & Type of Area		Outdoor Air - Sensible	589	Height (ft.)	7.55
Room Filename	room2.zon	Outdoor Air - Latent	1,526	No. of People	2
Type of Area	Hotel / Apts	Duct Losses	0	Max. Ventilation Rate (cfm)	40

TMW-CL1 AI Edition Version 1.2 Copyright (c) 2000-2017 by Dr. Tul Manewattana.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ฉ

โปรแกรมคำนวณ Cooling Load แบบไม่มีฉนวนภายในกำแพง

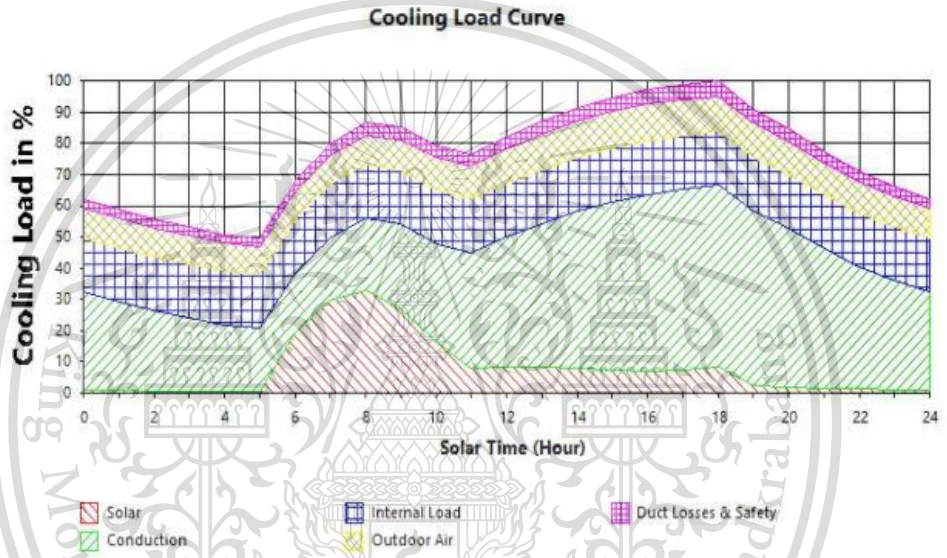
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ฉ

โปรแกรมคำนวณ Cooling Load แบบไม่มีฉนวนภายในกำแพง

TMW-CL1 Summary of Cooling Load Calculations

Project : My House
Zone : Living room
Calculated by : Prom Vongpanit
Date : 9-02-2564



Total Cooling Load & Peak Hour		Load Components in Btu/h		Total Load Components in Btu/h	
Total Cooling Load (Btu/h)	21,967	Roof	1,181	Total Conduction Heat Gain	12,828
Sensible Heat Ratio	0.90	Walls	8,170	Total Solar Heat Gain	1,859
Peak HR	18	Glass	1,290	Total Internal Heat Gain	3,764
Check Figures		Partitions	0	Total Outdoor Air Load	2,469
Total Btu/h/sq.ft.	84	Ceilings	393	Total Duct Loss & Safety	1,046
External Btu/h/sq.ft.	56	Floors	1,794	**Important Input Parameters**	
Internal Btu/h/sq.ft.	14	Solar	1,859	Latitude (Degree-N)	13.73
Outdoor Air Btu/h/sq.ft.	9	Lighting	2,291	DB Range (F)	12.8
Loss & Safety Btu/h/sq.ft.	4	People - Sensible	510	Outside DB (F)	96.3
Supply Air		People - Latent	510	Outside WB (F)	79.5
Supply Air (cfm)	876	Appliance - Sensible	0	Inside DB (F)	77.0
Cfm/Ton	478	Appliance - Latent	0	Inside RH %	50
Cfm/sq.ft.	3.3	FCU/AHU Fan Motor	453	Floor Area (sq.ft.)	262.43
Input Filename & Type of Area		Outdoor Air - Sensible	944	Height (ft.)	7.55
Room Filename	room2.zon	Outdoor Air - Latent	1,526	No. of People	2
Type of Area	Hotel / Apts	Duct Losses	0	Max. Ventilation Rate (cfm)	40

TMW-CL1 AI Edition Version 1.2 Copyright (c) 2000-2017 by Dr. Tul Manewattana.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ช

ใบรับรองผลการสอบเทียบของเครื่องวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ช

ใบรับรองผลการสอบเทียบของเครื่องวัดอุณหภูมิ

Technology Instruments Co., Ltd.
549/9 Onnut Road., Pravet, Bangkok 10250 Thailand.
Tel : 0-2743-8888 Fax : 0-2743-8880

Calibration Laboratory

Calibration Report

Cert No. : H-2011009

Equipment :	Humidity Sensor
Model :	XH20P-Range 0-99%RH-4-20MA
Serial No :	-
ID No. :	H20085
Manufacturer :	Dixell
Customer :	JIRAYUT (THAILAND) COMPANY LIMITED
Address :	Number8/69 Village No.16 Sub-district Klongnueng District Klongluang Pathumthani Province
Location of Calibration :	TIC
Ambient Temperature :	23 °C ± 3 °C
Relative Humidity :	55 %RH ± 15 %RH

Calibrated By : Phoowadol Auttarachon
Engineer

Approved By : _____
(Khanyarat Jantakhao)
Approved Signatory

Received Date :	06-Nov-20
Calibration Date :	06-Nov-20
Date of Issue :	06-Nov-20
Due Date :	06-Nov-21

The Certificate may not be reproduced other than in full, without written approval of the director of Technology Instruments Co.,Ltd. Calibration Laboratory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Calibration Laboratory

Continuation of Calibration Report

Cert. No.: H-2011009

Page 2 of 2

Job No.: 3521-208234

Calibration Procedure: WI-HTCN

Calibration Method:

This instrument was calibrated by comparison with standard temperature probe for temperature measurement function into temperature chamber

Condition of this result of calibration:

1. Reference Standard Instruments Used:

Instrument	Model	Serial No.	Cal. Report No.	Due date	Ref. STD Lab.	Traceability
Hygro Log	HL-NT3-DP	60947089	20H1262	29-May-21	TPA	NIMT
Documenting Process Calibrator	754	4128023	E-2002010	05-Feb-21	TIC	NIMT

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only.

3. This result of calibration was found accurate for this equipment only.

4. This calibration report documents the traceability to national standards, with realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

Result of Calibration: without adjustment

Humidity @ 25 °C

STD Value	Nominal Value	UUC Reading	Error	Uncertainty(±)
(%RH)	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
50.00	12.081	12.290	0.209	0.33
60.00	13.697	13.702	0.005	0.34
70.00	15.313	15.190	-0.123	0.34

Humidity Input Range of UUC : 0-99 %RH, Output Range of UUC : 4-20 mA

UUC = Unit Under Calibration

The reported expanded uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k = 2, providing a level of confidence of approximately 95%

End of Calibration Report

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

WR&W ENGINEERING CO., LTD.
599/5 Moo 2 Senthakit 1 Rd., Omnoi, Krathumbaen, Samutsakhon 74130 Thailand
Tel: (+66) 0-2808-5422 - 26 Fax: (+66) 0-2808-5427 - 28 E-mail: info@wrw.co.th

Calibration Report

Certificate No. : TS20-0969

Page : 2 of 2

Condition of this result of calibration :

1. Reference Standard Instruments

	Instruments	Model / Type	Serial No.	Certificate No.	Due. Date
1)	Digital Thermometer with RTD Probe	ST501-1 / PT-100	239.09.12 / WR-T118-10	QR20-1275	24 Aug 2021
2)	Electrical Calibrator	MC2	20670	WK2009-152-65	23 Sep 2021

2. This result of calibration was found accurate as shown on date and place of calibration only.

3. This Certification is traceable to the International System of Unit maintained at

- Quality Reborn Reference Standard Laboratory, NSC-TISI-IIS 17025 Calibration No.0292
- WK Electric Reference Standard Laboratory, Accreditation from ANAB Calibration Laboratory No. AC-2487

Measurement Results : Resistance Temperature Detector (RTD)

Cal. Points °C	STD. Reading °C	UUC. Reading °C	Correction °C	Uncertainty ± °C
0	0.072	0.09	-0.018	0.84
20	19.922	19.99	-0.068	0.84
40	40.003	40.11	-0.107	0.76

Remark : STD. = Standard, UUC. = Unit Under Calibration

*** End of Certificate ***

This certificate may not be reproduced except in full unless permission for the reproduction has been obtained in writing from the laboratory.
The report uncertainty is based on standard uncertainty multiplied by a coverang factor k = 2, providing a level of confidence of approximately 95%
and the result of measurement have traceability to SI Unit.

WR&W

L M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

WR&W ENGINEERING CO., LTD.
599/5 Moo 2 Setthakit 1 Rd., Omnoi, Krathumbaen, Samutsakhon 74130 Thailand
Tel: (+66) 0-2808-5422 - 26 Fax: (+66) 0-2808-5427 - 28 E-mail: info@wrw.co.th

Certificate of Calibration

Certificate No. : TS20-0969

Customer	: JIRAYUT (THAILAND) COMPANY LIMITED.		
Address	: Number 8/69 Village No.16 Sub-district Klongnueng District Klongluang Pathumthani Province		
Equipment Name	: Resistance Temperature Detector (RTD)		
Model / Type	: PT-100	Reference No	: S289/20
Serial No.	: N/A	Date of Receipt	: 03 November 2020
Manufacturer	: N/A	Date of Calibration	: 03 November 2020
Made in	: N/A	Environment Condition	
ID. No	: N/A	Temperature	: (23±5) °C
Dimension	: Dia.4.8 x L 150 mm	Humidity	: (60±15)%RH
		Calibrated Location	: In Lab (Temperature Laboratory)

Procedure used : Calibration were conducted using in-house calibration procedure WR&W-CP-CAL-01 according to comparison with Platinum Resistance Thermometer (PRT) into heat source temperature controller the temperature scale used was based on ITS-90

Date of Issue : 03 November 2020

Approved by:

M.L.Thamrongrit Khunsiri
Laboratory Manager

WR & W L M

This certificate may not be reproduced except in full unless permission for the reproduction has been obtained in writing from the laboratory

The report uncertainty is based on standard uncertainty multiplied by a coverage factor k =2, providing a level of confidence of approximately 95% and the result of measurement have traceability to SI Unit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

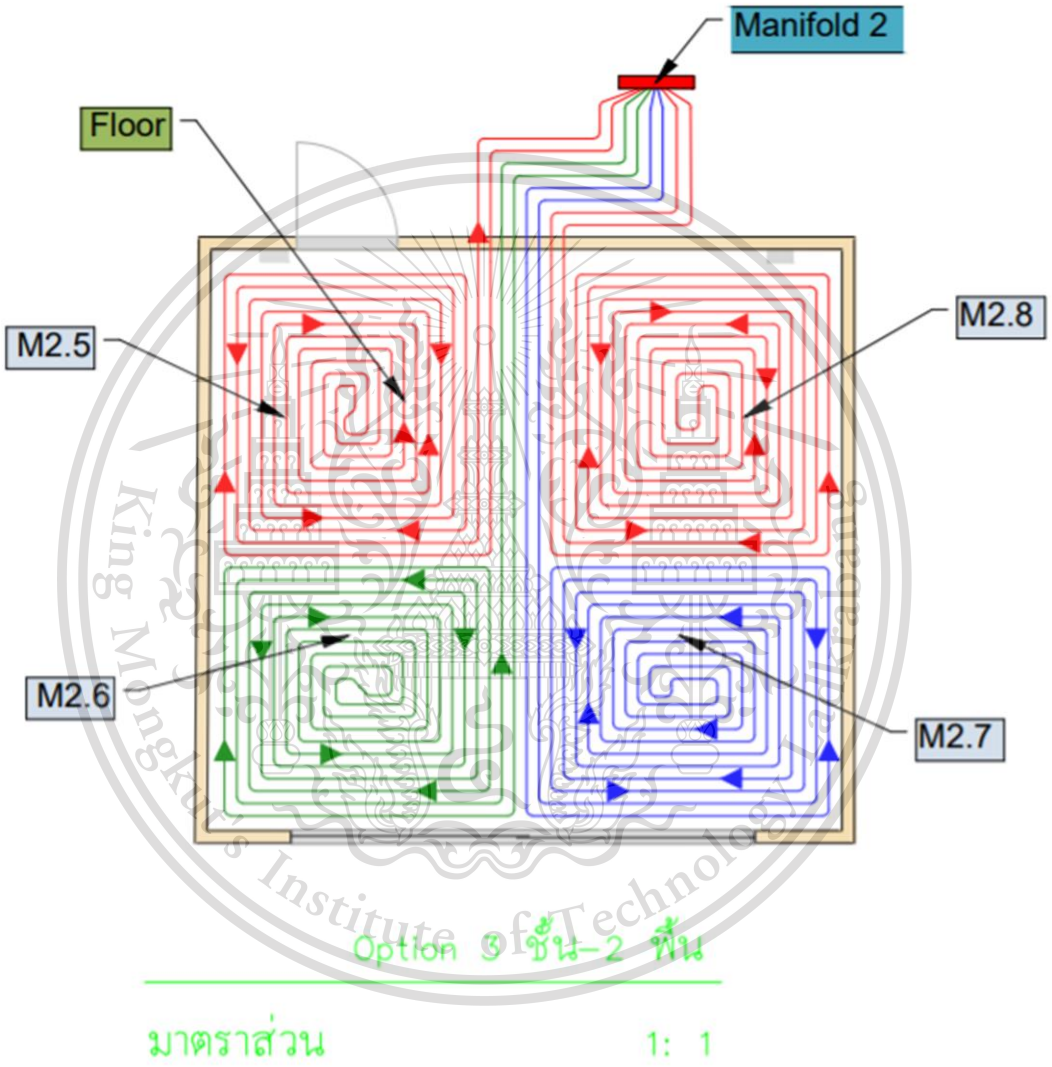
ภาคผนวก ซ

แผนภาพแสดงระบบท่อน้ำภายในพื้นชั้นสองของอาคารทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ซ

แผนภาพแสดงระบบท่อน้ำภายในพื้นชั้นสองของอาคารทดสอบ



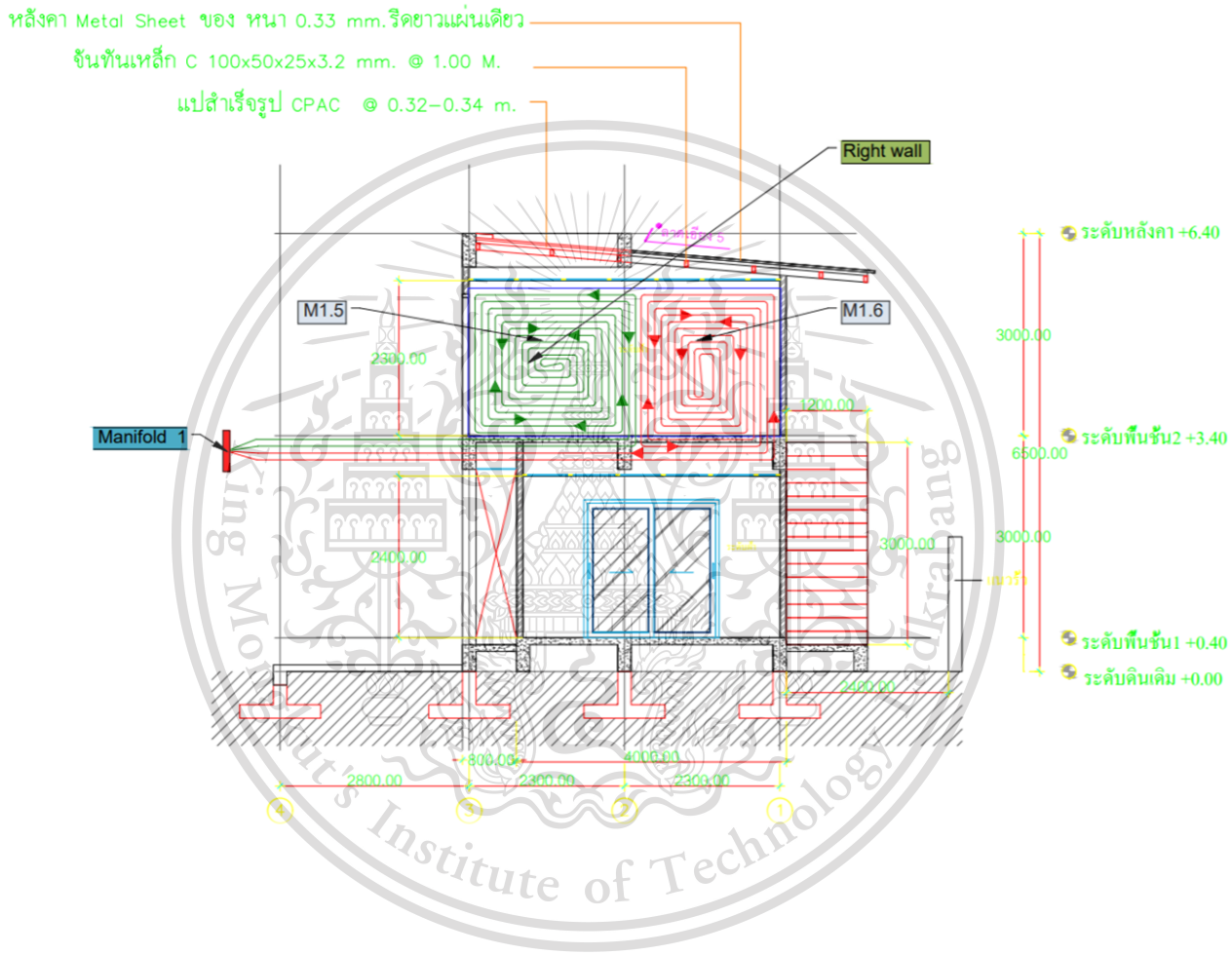
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ฌ

แผนภาพแสดงระบบท่อน้ำภายในกำแพงชั้นสองของอาคารทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ฌ
แผนภาพแสดงระบบท่อน้ำภายในกำแพงชั้นสอง ของอาคารทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

[1] **“ASHRAE 55-2013 Standard 55-2013 -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”**. 2013, 1st ed. ASHRAE.

[2] G. F Hundy, A. R. Trott, T. C. Welch. 2008. **Refrigeration and Air Conditioning**. 4th ed. Butterworth-Heinemann.

[3] Edward G. Pita. 2001. **Air Conditioning Principles and Systems: An Energy Approach**. 4th ed. Pearson.

[4] **“Refrigeration Compressors and Air Conditioning Compressors Information”**. n.d.. Retrieved November 1, 2020, from https://www.globalspec.com/learnmore/building_construction/hvac/ventilation/refrigeration_compressors_air_conditioning_compressors

[5] Bryan Orr. (2019). **HVAC/R REFRIGERANT CYCLE BASICS**. Retrieved November 1, 2020, from https://www.hvacrschool.com/hvacr-refrigerant-cycle-basics/

[6] Hamza. (2019). **Understand the basics of HVAC System**. Retrieved November 3, 2020, from https://bms-system.com/understand-the-basics-of-hvac-system/

[7] Johnson Controls Inc.. (2019). **York: Centrifugal Chiller**. Retrieved November 3, 2020, from https://www.achrnews.com/articles/140561-york-centrifugal-chiller

[8] Priya Airconditioner. (n.d.). **Water Cooled Reciprocating Chiller**. Retrieved November 3, 2020, from https://www.indiamart.com/proddetail/water-cooled-reciprocating-chiller-11604134130.html

[9] EXTRA COOLING SYSTEM. (2016). **Water Cooled Scroll Chiller Application: Industrial Use**. Retrieved November 6, 2020, from https://www.tradeindia.com/products/water-cooled-scroll-chiller-c3471987.html

[10] Johnson Controls Inc.. (2017). **YGWS Water-Cooled Screw Chiller**. Retrieved November 8, 2004, from http://prodcms.york.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[11] Yujing Lin. (2019). **How Absorption Chillers Work**. Retrieved November 8, 2020, from https://goenergylink.com/blog/how-absorption-chillers-work/

[12] Carrier Global Corporation. (1975). **Psychrometrics**. Retrieved November 9, 2020, from https://www.conservationphysics.org/crinklepic/psychrometric-chart-cotton-sorption.pdf

[13] EBARA Pumps Europe S.p.A.. (1975). **EBARA**. Retrieved October 28, 2020, from http://www.ebara.com.ua/docs/DataBook_cdx.pdf

[14] Robert Bean. (2010). **Mean Radiant Temperature (MRT) - Part I**. Retrieved October 23, 2020, from http://www.healthyheating.com

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.