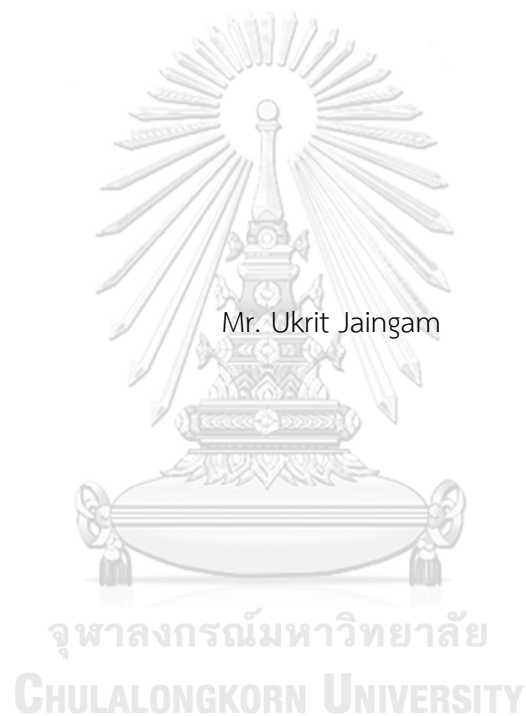


การจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันและแบบเครื่องทำน้ำเย็นที่ระบาย  
ความร้อนด้วยน้ำของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Energy simulation of Variable refrigerant flow and Water cooled chiller systems of  
Chaloem Rajakumari 60 Building



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2019  
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยา แปรผันและแบบเครื่องทำน้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ ของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา
โดย	นายเอกฤษฏ์ ใจงาม
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สร้อย ศาลากิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แดงเที่ยง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สร้อย ศาลากิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ วรรณโสภาคย์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(อาจารย์ ดร.ชัชชานนท์ โพธิคุณ)

อุกฤษฏ์ ใจงาม : การจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันและแบบเครื่องทำน้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา. ( Energy simulation of Variable refrigerant flow and Water cooled chiller systems of Chaloe Rajakumari 60 Building) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.สรล ศาลากิจ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีความหนาแน่นสูง ดังนั้นความต้องการในการใช้พลังงานอาคารจึงสูงเช่นกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับสภาพอากาศที่ร้อนชื้น ดังนั้นการเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับอาคารจึงเป็นสิ่งสำคัญในเรื่องการจัดการการใช้พลังงานของอาคาร งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการวิเคราะห์การใช้พลังงานระบบปรับอากาศในอาคารสูงที่อยู่ในสภาพอากาศร้อนชื้น โดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ซึ่งเป็นระบบปรับอากาศที่พบบ่อยบนอาคารสูง ในการคำนวณการทำงานของระบบปรับอากาศทั้งปีนั้นจะใช้โปรแกรม EnergyPlus และโปรแกรม Openstudio โดยจะทำการจำลองพลังงานระบบปรับอากาศของอาคารเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา อาคารแห่งนี้มีทั้งหมด 20 ชั้นติดตั้งระบบปรับอากาศ VRF ที่มีการใช้งานจริงและอีกทั้งอาคารแห่งนี้ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ในการสร้างโมเดลอาคารจำลองแห่งนี้จะทำการอ้างอิงมาจากแบบพิมพ์เขียวทางการของอาคารและสร้างโดยโปรแกรม SketchUp อีกทั้งในส่วนของข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้สำหรับการจำลองพลังงานจะใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบ ระบบปรับอากาศ VRF จะใช้ข้อมูลผ่านข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่อยู่ในระบบปรับอากาศที่มีการติดตั้งและใช้งานจริง ในขณะที่ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system จะเลือกผ่านข้อมูลจำเพาะจากบริษัท Trane ประเทศไทย โดยอ้างอิงขนาดของระบบปรับอากาศ VRF ที่มีการใช้งานอยู่แล้ว ผลการเปรียบเทียบพบว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ใช้พลังงานรวมทั้งปีแตกต่างจากระบบปรับอากาศ VRF ได้ตั้งแต่ -7.20% ถึง +19.33% ขึ้นกับลักษณะการทำงาน โดยระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ที่ทำงานแบบ Optimal และใช้ปั๊มแบบ variable flow จะใช้พลังงานน้อยที่สุดและน้อยกว่าระบบปรับอากาศ VRF แต่เมื่อเปิดใช้งานเพียงบางชั้นให้พื้นที่ปรับอากาศน้อยกว่า 8,870.04 ตารางเมตร ระบบปรับอากาศแบบ VRF จะใช้พลังงานน้อยกว่า จากการศึกษาการประหยัดพลังงานด้วยการปิดใช้ระหว่างวันพบว่าหากปิดการใช้งานเพียงแค่ 30 นาที ระบบปรับอากาศ VRF จะประหยัดพลังงานสูงสุดที่ 5.63% แต่เมื่อมีการปิดการใช้งานระหว่างวันตั้งแต่ 1 ชั่วโมงถึง 3 ชั่วโมง ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ที่ทำงานแบบ Uniform load และใช้ปั๊มแบบ Constant flow จะประหยัดพลังงานคิดเป็นร้อยละมากกว่าที่ 10.10% ถึง 25.43%

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 6070489421 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD: VRF, Water cooled chiller system, Air conditioning, High-rise building, EnergyPlus,  
Openstudio

Ukrit Jaingam : Energy simulation of Variable refrigerant flow and Water cooled chiller systems of Chaloem Rajakumari 60 Building. Advisor: Asst. Prof. Saran Salakij, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. Tul Manewattana, Ph.D.

Bangkok is a city with a crowded population, so there is a high demand for buildings. Energy consumption in high-rise buildings, especially in cities with tropical climates, mostly comes from air conditioning. Therefore, choosing the right air conditioning system for high-rise buildings are important in the energy management of the building. This research aims to analyze energy use in air conditioning in high-rise buildings located in tropical climates. By comparing between VRF systems and the water cooled chiller water system, which are centralized air conditioning systems often used in high-rise buildings. Based on the calculation of the whole year of operation from the EnergyPlus and OpenStudio energy simulation program. The program simulates the air conditioning system of the Chaloem Rajakumari 60 Building, which is a 20-storey building equipped with VRF air conditioning systems and located in Bangkok. The geometric model of the building, simplified from the official blueprint of the building, is constructed using the SketchUp program. Weather data, used for simulation, is based on the database from Meteorological of Thailand. For comparison purposes, the VRF air conditioning system is modeled based on the specifications of the real air conditioning system installed in the building, while water cooled chiller system is chosen based on specification from the Trane (Thailand) LTD. according to the design capacity of the actual VRF system used in the building. The comparison results show that the total annual energy consumption used by the water cooled chiller system varies from that of the VRF system by -7.20% to +19.33% depended on the setup of the water chiller system. The water chiller system operated in optimal mode with variable flow pumps consumes the least energy and even less than the VRF system. However, for part load condition, when the air-conditioned area of the building is less than 8,870.04 square meters, the VRF system consumes the least energy. Based on the study of energy saving by having a break period of air conditioning systems during days, when the break period is 30 minutes, the VRF system has the largest energy saving at 5.63%. When the break periods are varied from 1 hour to 3 hours, the water chiller system operated in uniform load mode with constant flow pumps has the largest energy saving from 10.10% to 25.43%.

Field of Study: Mechanical Engineering

Academic Year: 2019

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจาก บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเฉลิมฉลองในโอกาสที่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงเจริญพระชนมายุ 60 พรรษา (The Scholarship from the Graduate School, Chulalongkorn University to commemorate The Celebrations on the Auspicious of Her Royal Highness Princess Maha Chakri Sirinhorn's 5th Cycle (60th) Birthday และ ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ก อ ง ทุ น รั ช ต า ภิ เษ ก ส ม โภ ช [The 90 th Anniversary Chulalongkorn University Fund (Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund)]

อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรัล ศาลากิจ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ทางวิชาการ คำปรึกษา คำแนะนำจากประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยตั้งแต่เริ่มต้นเข้าศึกษาอีกทั้งยังให้ข้อคิดในการดำรงชีวิตและกำลังใจมาโดยตลอด จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จิตติน แดงเที่ยง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิพนธ์ วรรณโสภาคย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์และ อาจารย์ ดร. ชัชชานนท์ โพธิคุณ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำที่ดี ทั้งยังสละเวลาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณ รัชชานนท์ ขาวขำและทีมงานช่างประจำอาคารเฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษาที่ช่วยให้ข้อมูลอาคารและอำนวยความสะดวกในระหว่างที่มีการเก็บค่าและข้อมูลที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ต่างๆ ขอขอบคุณ คุณตุน พี่ออดและน้องที่พนักงานประจำที่สำนักกายภาพที่ช่วยให้ข้อมูลแบบของอาคารเพื่อการทำวิจัยครั้งนี้

และในท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งอบรมสั่งสอนและครอบครัวซึ่งคอยเป็นกำลังใจและให้ความสนับสนุนในด้านต่างๆเป็นอย่างดีรวมถึงเพื่อนนิสิต รุ่นพี่ รุ่นน้องที่ได้ร่วมกันให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆจนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

อุกฤษฏ์ ใจงาม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ .....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ .....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	4
2.1 ระบบปรับอากาศ VRF.....	4
2.1.1 ลักษณะการทำงานของระบบปรับอากาศ VRF [1] .....	4
2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ VRF .....	5
2.2 ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system .....	11
2.2.1 อุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศระบบ Water cooled chiller system.....	11
2.2.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system [1] .....	11
2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system .....	13
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	15

3.1 โปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio.....	15
3.1.1 โครงสร้างของโปรแกรม EnergyPlus [15].....	15
3.1.2 โปรแกรม Openstudio [16] .....	17
3.2 กราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve) ของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้กับโปรแกรม EnergyPlus [17].....	18
3.3 การออกแบบขนาดท่อในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system [10] .....	19
บทที่ 4 การสร้างแบบจำลองและระบบปรับอากาศภายในอาคาร .....	21
4.1 ลักษณะของอาคาร.....	21
4.1.1 สถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของอาคาร .....	21
4.1.2 อาคารตัวอย่าง.....	21
4.1.3 ส่วนประกอบและวัสดุต่าง ๆ ภายในพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา .....	23
4.2 การใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาการใช้พลังงานของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา .....	25
4.2.1 การกำหนดภาระความร้อนภายในพื้นที่การใช้งานภายในอาคาร (Internal Load)....	25
4.2.1.1 ภาระความร้อนจากผู้ใช้งานภายในอาคาร.....	25
4.2.1.2 ภาระความร้อนจากการระบายอากาศ.....	25
4.2.1.3 ภาระความร้อนจากแสงสว่าง .....	25
4.2.1.4 ภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น .....	25
4.2.2 ระบบปรับอากาศที่นำไปใช้ในการจำลองพลังงาน.....	25
4.2.2.1 ระบบปรับอากาศ VRF ที่ติดตั้งในอาคาร.....	26
4.2.2.2 การเลือกระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system เพื่อการเปรียบเทียบ.....	30
4.2.2.2.1 การเลือกขนาดเครื่องทำน้ำเย็น.....	30
4.2.2.2.2 การเลือกขนาดเครื่องส่งลมเย็น.....	30
4.2.2.2.3 การเลือกขนาดหอทำความเย็น .....	31



4.2.2.2.4 การเลือกขนาดปั๊มน้ำ.....	32
4.2.2.2.5 ระบบการทำงานของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system.....	37
4.2.3 การตรวจสอบความถูกต้องในการตั้งค่าโปรแกรมก่อนนำไปจำลองการใช้พลังงาน.....	38
บทที่ 5 ลักษณะการใช้งานภายในอาคารเพื่อใช้ในเปรียบเทียบการจำลองพลังงาน .....	40
5.1 กำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา .....	40
5.2 กำหนดรูปแบบการใช้งานเพียงบางชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....	41
5.3 กำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นโดยปิดการใช้งานระหว่างวัน .....	42
บทที่ 6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารของ VRF และ Water cooled chiller system .....	43
6.1 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....	43
6.2 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานเพียงบางชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....	46
6.3 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นโดยปิดการใช้งานระหว่างวันของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....	48
บทที่ 7 สรุปผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารของ VRF และ Water cooled chiller system .....	51
บรรณานุกรม .....	53
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก. ข้อมูล Technical data สำหรับคอยล์ร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ VRF.....	57
ก.1 Technical data สำหรับคอยล์ร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ VRF .....	58
ภาคผนวก ข. แรงเสียดทานท่อเหล็ก Schedule 40 รูปแบบ close system และ open system .....	59
ข.1 แรงเสียดทานท่อเหล็ก Schedule 40 รูปแบบ close system [29].....	60

ข.2 แรงเสียดทานท่อเหล็ก Schedule 40 รูปแบบ open system [29].....	61
ภาคผนวก ค. แรงเสียดทานสำหรับวาล์ว, ข้องอและข้อต่อต่าง ๆ ในรูปแบบ Equivalent length .....	62
ค.1 แรงเสียดทานสำหรับวาล์ว, ข้องอและข้อต่อต่าง ๆ ในรูปแบบ Equivalent length [11] .....	63
ภาคผนวก ง. ภาระความร้อนของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา และ Specification ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system .....	64
ง.1 ตารางรายละเอียดพื้นปรับอากาศการคำนวณภาระความร้อนที่การใช้งานภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในแต่ละชั้น .....	65
ง.2 Specification เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 ตัน จากบริษัท Trane Thailand [22].....	67
ง.3 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับชั้นลอย 2 ถึงชั้นที่ 3, ชั้นที่ 10-15 และชั้นที่ 17 จากบริษัท Trane Thailand [24] .....	68
ง.4 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับชั้นที่ 4-6 จากบริษัท Trane Thailand [25] ....	69
ง.5 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับชั้นที่ 7-8 และชั้นที่ 16 จากบริษัท Trane Thailand [23].....	70
ง.6 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับชั้นที่ 18-19 จากบริษัท Trane Thailand [26] 71	
ง.7 Specification หอทำความเย็นขนาด 450 ตัน จากบริษัท Super tower industries [27].....	72
ง.8 Specification ปั๊มน้ำของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 17.13 kW จากบริษัท GRUNDFOS [28] .....	74
ง.9 Specification ปั๊มน้ำของหอทำความเย็นขนาด 20.67 kW จากบริษัท GRUNDFOS [28] .....	75
ง.10 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลเฮดปั๊มและอัตราการไหลเพื่อเลือกปั๊มในส่วนของเครื่องทำน้ำเย็นในเว็บไซต์ทางการของ GRUNDFOS [26] .....	76
ง.11 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลเฮดปั๊มและอัตราการไหลเพื่อเลือกปั๊มในส่วนของเครื่องทำความเย็นในเว็บไซต์ทางการของ GRUNDFOS [26] .....	76



ภาคผนวกตาราง.....	92
ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณขนาดปั๊มของเครื่องทำน้ำเย็น .....	93
ตารางที่ ก.2 รายการคำนวณขนาดปั๊มของหอทำความเย็น .....	98
ตารางที่ ก.3 ค่าแสงสว่างและการระบายอากาศที่ใช้งานจริงภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในแต่ละชั้น .....	100
ตารางที่ ก.4 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราช กุมารี 60 พรรษา.....	101
ตารางที่ ก.5 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีรายเดือนภายใน อาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร .....	102
ตารางที่ ก.6 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานเพียงบางชั้นของอาคารเฉลิม ราชกุมารี 60 พรรษา.....	105
ตารางที่ ก.7 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นโดยปิดการใช้งาน ระหว่างวัน.....	106
ประวัติผู้เขียน.....	108

**สารบัญตาราง**

**หน้า**

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดส่วนประกอบของโครงสร้างพื้นที่ปรับอากาศ.....24

ตารางที่ 4.2 Specification ของ Outdoor unit ในระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....27

ตารางที่ 4.3 Specification ของคอยล์เย็นหรือเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็กของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....27

ตารางที่ 4.4 พื้นที่ปรับอากาศและขนาดของระบบปรับอากาศ VRF ที่การใช้งานจริงในแต่ละชั้นภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....29

ตารางที่ 4.5 ขนาดและอัตราการไหลของน้ำเย็นสำหรับเครื่องส่งลมเย็นที่ใช้ในแบบจำลอง.....31

ตารางที่ 4.6 จำนวนและขนาดของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system..37

ตารางที่ 5.1 จำนวนชั้นและขนาดของพื้นที่ที่มีการเปิดใช้งานในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา สำหรับการศึกษามวลของขนาดพื้นที่ต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ.....42

ตารางที่ 5.2 ช่วงระยะเวลาในการปิดการใช้งานในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา สำหรับการศึกษามวลของการปิดการใช้งานระหว่างวัน.....42

## สารบัญภาพ

## หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบปรับอากาศ VRF [1].....	5
รูปที่ 2.2 แผนภาพระบบปรับอากาศระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system [1].....	12
รูปที่ 3.1 ตัวอย่างโปรแกรม EnergyPlus ที่มีการใช้งานจริง.....	17
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างโปรแกรม Openstudio ที่มีการใช้งานจริง.....	18
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการนำตัวแปรไปสร้าง Curve ในโปรแกรม EnergyPlus ในการใช้งานจริง.....	19
รูปที่ 4.1 รูปถ่ายลักษณะของอาคาร (ก) ด้านหน้า, (ข) ด้านหลัง, (ค) ด้านฝั่งขวา, (ง) ด้านฝั่งซ้าย...22	
รูปที่ 4.2 แบบจำลองของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษาที่สร้างขึ้นในโปรแกรม SketchUp (ก) ด้านหลังของอาคาร, (ข) ด้านหน้าของอาคาร.....	23
รูปที่ 4.3 รูปถ่ายลักษณะของตัว Outdoor units ของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....	26
รูปที่ 4.4 ลักษณะของตัว Indoor Units ของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....	28
รูปที่ 4.5 การเลือกขนาดของหอทำความเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในแบบจำลอง [27].....	32
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการไหลของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็นและหอทำความเย็น.....	33
รูปที่ 4.7 แผนภาพทิศทางการไหลของน้ำเย็นและน้ำอุ่นจากบิ๊มน้ำสำหรับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในแบบจำลอง.....	34
รูปที่ 4.8 ลักษณะการติดตั้งวาล์วของเครื่องส่งลมเย็น [11].....	35
รูปที่ 4.9 ลักษณะท่อและวาล์วของเครื่องทำความเย็น, หอทำความเย็นและบิ๊มน้ำสำหรับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในแบบจำลอง.....	36
รูปที่ 4.10 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายวันของห้องสมุดในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษาในช่วงวันที่ 18 มิถุนายน 2562 ถึง 2 กรกฎาคม 2562.....	39
รูปที่ 5.1 ตารางการใช้งานของระบบปรับอากาศ, ผู้ใช้งานในอาคาร, แสงสว่าง, การระบายอากาศภายในและอุปกรณ์ไฟฟ้าในรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา.....	41

รูปที่ 6.1 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร.....	44
รูปที่ 6.2 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีรายเดือนภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร.....	45
รูปที่ 6.3 ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานครในปี 2561.....	46
รูปที่ 6.4 ผลการจำลองพลังงานรวมของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา เพียงบางชั้นของอาคาร.....	47
รูปที่ 6.5 ผลการจำลองพลังงานจากการลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีโดยปิดใช้งานระหว่างวัน.....	49
รูปที่ 6.6 กราฟเปอร์เซ็นต์การลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละชนิดกับเวลาปิดการใช้งานระหว่างวันทุก 30 นาที.....	50

## บทที่ 1 บทนำ

ในบทนำนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์และประโยชน์ที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

การออกแบบระบบปรับอากาศภายในอาคารซึ่งได้แก่อาคารสำนักงาน โรงแรม โรงพยาบาล สถานศึกษา เป็นต้น ถือว่ามีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าที่สูง ดังนั้นการออกแบบที่ดีไม่ว่าจะเป็นการเลือกวัสดุ ป้องกันความร้อนต่างๆที่นำมาใช้ในการประกอบอาคาร ระบบควบคุมที่ดีและถูกต้องจะช่วยทำให้ประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่สูงขึ้น

ประเภทระบบปรับอากาศที่พบบ่อยภายในอาคารเช่นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type Air Conditioning Unit), ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน (VRF, Variable Refrigerant Flow) เครื่องปรับอากาศแบบครบชุดในตัว (Package Unit) ซึ่งระบบหมุนเวียนนี้สามารถระบายความร้อนได้ทั้งน้ำและอากาศ, ระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็นที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water cooled chiller system) และอากาศ (Air cooled chiller system), ระบบการทำความเย็นระบบดูดซับ เช่น หอระบายความร้อน (Cooling tower), ระบบ VAV (Variable Air Volume) เป็นต้น

ในการเลือกระบบปรับอากาศที่จะนำไปใช้กับอาคารมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งระบบต่างๆ นั้นจะการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการออกแบบระบบปรับอากาศที่จะใช้ภายในอาคารควรมีความเหมาะสมกับลักษณะของอาคารไม่ว่าจะเป็นขนาดพื้นที่การใช้งาน ความสูงของอาคาร ลักษณะการใช้งานของอาคาร ที่ตั้งของอาคาร เป็นต้น

ในส่วนใหญ่ระบบปรับอากาศในอาคารสูงที่ใช้ในประเทศไทยในอดีตถึงปัจจุบันส่วนใหญ่มักใช้ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการปรับอากาศที่สูง เนื่องจากมีการระบายความร้อนด้วยน้ำทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีกว่าการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ ในปัจจุบันอาคารสูงในประเทศไทยมีอาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศ VRF ที่แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอากาศและในอาคารสูงบางแห่งก็มีการใช้ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system เช่นกันจึงทำให้เกิดความสนใจที่จะศึกษาว่าลักษณะการใช้งานของอาคารกับความเหมาะสมในการใช้ระบบปรับอากาศแบบใดจึงเหมาะสม

วิทยานิพนธ์นี้ได้้นำโปรแกรมจำลองพลังงาน Openstudio และ EnergyPlus มาใช้ในการจำลองการใช้พลังงานระหว่างระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system และระบบ VRF ซึ่งโปรแกรมจำลองการใช้พลังงานในอาคารจะช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณด้วยวิธีคณิตศาสตร์หรือ



สมารถทฤษฎีต่างๆ และแสดงให้เห็นผลของการใช้พลังงานในอาคารได้ชัดเจนมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังสามารถนำไปขยายผลในการตัดสินใจเลือกระบบปรับอากาศภายในอาคารเพื่อให้ความคุ้มค่าทางพลังงานมากที่สุด โดยอาคารที่จะทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบระบบปรับอากาศทั้งสองระบบนั้น อาคารที่สนใจที่จะเปรียบเทียบคืออาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา (อาคารจามจุรี10) เนื่องจากอาคารแห่งนี้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้งานจริงอีกทั้งอาคารแห่งนี้มีตำแหน่งสถานที่อยู่ภายในพื้นที่ภายในของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมีข้อมูลทางด้านกายภาพของอาคาร ทำให้เกิดความสะดวกที่จะทำการศึกษาลองการใช้พลังงาน

## 1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในกรุงเทพมหานคร โดยใช้โปรแกรมจำลองพลังงานสำเร็จรูป

## 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ศึกษาการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศรายปีของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา เปรียบเทียบกันระหว่างระบบ VRF กับระบบ Water cooled chiller system ที่ทำงานในลักษณะ Optimal และ Uniform load ที่มีป้อนทำงานแบบ Constant flow และ Variable flow

1.3.2 วิเคราะห์ผลของขนาดของพื้นที่ปรับอากาศต่อการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศรายปีของทั้งสองระบบ

1.3.3 วิเคราะห์ผลของการปิดการใช้งานระบบปรับอากาศระหว่างวันต่อการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศรายปีของทั้งสองระบบ

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้แบบจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ด้วยโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus สำหรับการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในรูปแบบการใช้งานต่างๆ

1.4.2 สามารถทราบความแตกต่างของการใช้พลังงานของ 2 ระบบ

1.4.3 สามารถทราบความเหมาะสมและความคุ้มค่าของระบบปรับอากาศในรูปแบบกิจกรรมของอาคารที่แตกต่างกัน

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 รวบรวมข้อมูลลักษณะกายภาพของอาคารเพื่อนำไปกำหนดตัวแปรในการจำลองการใช้พลังงาน

1.5.2 ขึ้นรูปจำลองลักษณะของอาคารโดยใช้โปรแกรม SketchUp 2017 โดยอ้างอิงจากแปลนอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

1.5.3 ใช้ข้อมูลวัสดุของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในการจำลองพลังงานผ่านโปรแกรมจากข้อมูลทางกายภาพ

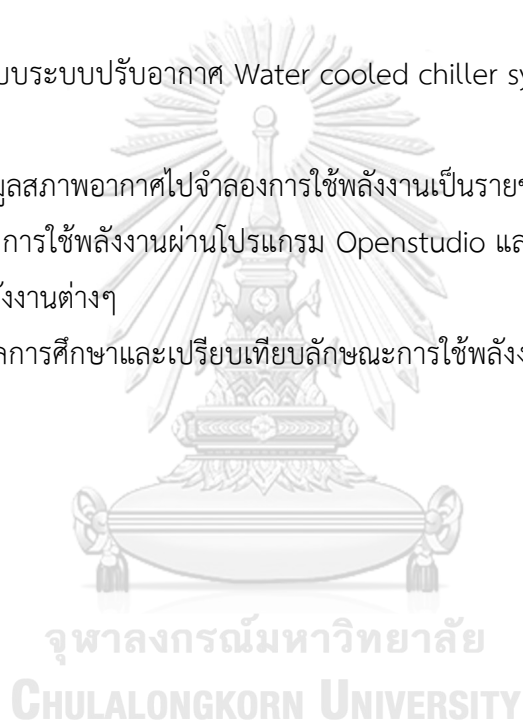
1.5.4 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Validation) โดยใช้ข้อมูลระบบปรับอากาศ VRF

1.5.5 ออกแบบระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system สำหรับอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

1.5.6 นำข้อมูลสภาพอากาศไปจำลองการใช้พลังงานเป็นรายชั่วโมงตลอดปี

1.5.7 จำลองการใช้พลังงานผ่านโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus ของอาคารเพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานต่างๆ

1.5.8 สรุปผลการศึกษาและเปรียบเทียบลักษณะการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท



## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ดังนั้นการปรับอากาศมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อชีวิตประจำวัน ภายในอาคารจึงจำเป็นต้องมีการปรับอากาศเพื่อให้เจ้าหน้าที่หรือบุคลากรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับว่าการปรับอากาศโดยระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่สูง โดยหน้าที่หลักของระบบปรับอากาศคือ การทำความเย็นหรือการถ่ายเทความร้อนออกจากพื้นที่ด้วยวิธีการดึงอากาศออกไปโดยตรงหรือด้วยการหมุนเวียนอากาศภายในห้องผ่านคอยล์เย็นโดยใช้พัดลม สารทำความเย็นที่อยู่ในระบบปรับอากาศจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการขนถ่ายความร้อนเพื่อออกไประบายทิ้งภายนอกผ่านคอยล์ร้อนซึ่งระบบปรับอากาศประกอบด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์จำนวนมาก อุปกรณ์เหล่านี้หลายส่วนสามารถปรับปรุงเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นซึ่งจะช่วยให้ประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายสืบเนื่องจากระบบปรับอากาศลงได้

สำหรับระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system มีระบบการทำงานและมีจุดเด่นที่แตกต่างกันดังนั้นการที่จะทำการศึกษาคว่าควรใช้ระบบปรับอากาศชนิดไหนจึงจะเหมาะกับลักษณะการใช้งานของอาคารจึงจำเป็นต้องเข้าใจหลักการทำงานของระบบปรับอากาศในแต่ละระบบด้วย

ในบทที่ 2 เป็นการอธิบายลักษณะการทำงานและอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system และศึกษางานวิจัยในอดีตที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

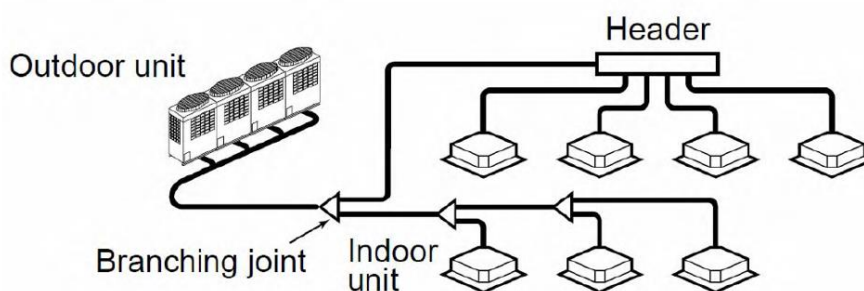
### 2.1 ระบบปรับอากาศ VRF

ระบบปรับอากาศ VRF เป็นระบบปรับอากาศที่ได้มีการพัฒนามาจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีการใช้งานระบบปรับอากาศ VRF ทั้งในอาคารพาณิชย์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยลักษณะของระบบปรับอากาศ VRF นั้นมีลักษณะคอยล์เย็นหลายตัวในพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศต่อกับคอนเดนเซอร์เพียงตัวเดียว

#### 2.1.1 ลักษณะการทำงานของระบบปรับอากาศ VRF [1]

เป็นระบบของเครื่องปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศที่มีลักษณะการทำงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณสารทำความเย็นตามภาระของโหลดและเครื่องปรับอากาศ โดยการทำงานของระบบจะมีการควบคุมในเรื่องการจ่ายปริมาณน้ำยาให้เพียงพอกับภาระโหลดภายในห้องซึ่งเป็นการทำงานควบคู่กับคอนเดนเซอร์และคอยล์เย็นหรือเครื่องส่งลมเย็นของระบบโดยการปรับการไหลของ

สารทำความเย็นผ่านเอ็กแพนชันวาล์วระบบนี้เหมาะกับการติดตั้งในอาคารที่ถูกจำกัดในเรื่องของพื้นที่ ซึ่งการทำงานของคอยล์เย็นนั้นมีการทำงานที่แยกอิสระต่อกัน จึงสามารถทำการควบคุมอุณหภูมิได้อย่างถูกต้องและแม่นยำรูปที่ 3.2 แสดงถึงการเชื่อมต่อระหว่างคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นในระบบปรับอากาศ VRF



รูปที่ 2.1 แผนภาพระบบปรับอากาศ VRF [1]

ระบบ VRF สามารถควบคุมโซนหลายๆ โซนที่ต้องการความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นได้ เนื่องจากระบบใช้ VARIABLE SPEED COMPRESSOR ทำให้สามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยาได้อย่างแม่นยำ จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับอาคารที่มีหลายลักษณะพื้นที่ใช้งาน และต้องการการควบคุมที่แตกต่างกัน เช่นอาคารสำนักงาน โรงพยาบาล โรงแรม เป็นต้น

#### 2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ VRF

Tolga N. Aynur [2] ได้กล่าวถึงแนวคิดของระบบปรับอากาศ VRF ไว้ว่าระบบปรับอากาศ VRF 1 ชุดสามารถปรับอากาศแยกได้หลายๆส่วนภายในบ้านอาคารในหลังเดียวกัน โดยระบบปรับอากาศ VRF สามารถติดตั้งระบบปรับอากาศภายในห้อง (Indoor unit) ได้หลายตัวภายในบ้านหรืออาคารต่อเครื่องปรับอากาศภายนอก (Outdoor unit) 1 ตัว การทำงานของระบบโดยปกติจะมีการปรับอัตราการไหลของสารทำความเย็นโดยควบคุมจากความถี่ของคอมเพรสเซอร์และเอ็กแพนชันวาล์ว (EEV) ตามภาระโหลดของห้องโดยเกิดจากการตั้งค่าอุณหภูมิของ Indoor unit อีกทั้งยังได้อธิบายองค์ประกอบของ Outdoor unit และ Indoor unit ไว้ว่า Outdoor unit จะประกอบไปด้วยคอมเพรสเซอร์ถึง 2-3 ตัวและทำงานในลักษณะปรับความถี่ได้ตามภาระโหลดของห้อง โดยทั่วไปแล้วความถี่ของคอมเพรสเซอร์นั้นจะมีค่าอยู่ที่ช่วง 20-30 ถึง 105-120 Hz ในส่วนของ Indoor unit นั้นจะมีส่วนประกอบของเอ็กแพนชันวาล์ว, เซ็นเซอร์ในการวัดอุณหภูมิ (Temperature sensor) และ

พัดลม (Fan) ซึ่ง Indoor unit นั้นสามารถใช้ความสามารถในการทำความเย็น (Capacity) ที่หลายค่า ความสามารถได้โดย Indoor unit มีหลากหลายชนิดเช่น แบบฝังฝ้าเพดาน (CEILING MOUNTED CASSETTE), แบบซ่อนในฝ้าเพดาน (CEILING MOUNTED DUCT TYPE), แบบแขวนใต้ฝ้า (CEILING SUSPENDED TYPE), แบบติดผนัง (WALL MOUNTED TYPE), แบบตั้งพื้นภายนอก (FLOOR STAND TYPE), แบบตั้งพื้นชนิดซ่อน (CONCEALED FLOOR STAND TYPE) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในการใช้งาน อีกทั้ง Indoor unit มีสามารถทำความเย็นหรือความอุ่นได้ถึง 1.4 ถึง 17.5 kW โดยลักษณะการทำงานนั้นเช่นเซอร์ในการวัดอุณหภูมิของ Indoor unit จะทำการวัดอุณหภูมิของห้องเทียบกับอุณหภูมิที่ผู้ใช้งานตั้งค่าไว้จากนั้นอัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ Indoor unit จะถูกควบคุมโดยอิเล็กทรอนิกส์และไหลเข้าสู่แผงคอยล์เย็นเพื่อแลกเปลี่ยนกับภาระโหลดของห้องเพื่อปรับอากาศให้กับพื้นที่ที่ต้องการ

Tolga N. Aynur และคณะ [3] ได้ทำการจำลองการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศ VAV ซึ่งติดตั้งใช้งานแผงคอยล์ร้อน Roof Top Unit (RTU) และ ระบบปรับอากาศ VRF ในฤดูหนาวโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลองการเปรียบเทียบ โดยการจำลองนั้นได้แบ่งออกเป็น 3 กรณีโดยกรณีที่ 1 คือการใช้ Reheat boxes และไม่ใช่ Reheat boxes ซึ่งทั้งสองเป็นองค์ประกอบในระบบ VRV กรณีที่ 2 คือการไม่ใช่ Reheat boxes เป็นองค์ประกอบในระบบ VRV เพียงอย่างเดียวและกรณีที่ 3 คือการใช้ Reheat boxes เป็นองค์ประกอบในระบบ VRV เพียงอย่างเดียว โดยทุกกรณีข้างต้นจะทำการจำลอง 2 ลักษณะคือลักษณะที่ 1 การใช้พัดลมจาก Indoor unit อย่างต่อเนื่องโดยไม่คำนึงถึงการประหยัดพลังงานในระบบ VRF system และลักษณะที่ 2 คือการใช้พัดลมจาก Indoor unit โดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงานในระบบ VRF system ซึ่งผลจากการจำลองพลังงานพบว่าในกรณีที่ 1 ระบบปรับอากาศ VRF ได้พลังงานประหยัดมากกว่าระบบปรับอากาศ VAV ถึง 79.2-81.5% และยังพบว่าเมื่อใช้พัดลมจาก Indoor unit โดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ VRF จะสามารถลดการใช้พลังงาน 49.3-54.8% จากกรณีที่ 2 พบว่าระบบปรับอากาศ VRF ได้พลังงานประหยัดมากกว่าระบบปรับอากาศ VAV ที่ไม่ใช่ Reheat boxes ถึง 24.5-28% ในลักษณะที่ 1 และ 38-39.1% ในลักษณะที่ 2 และกรณีที่ 3 พบว่าพบว่าระบบปรับอากาศ VRF ได้พลังงานประหยัดมากกว่าระบบปรับอากาศ VAV ที่ใช้ Reheat boxes ถึง 32.3-37% ในลักษณะที่ 1 และ 81.4-83.4% ในลักษณะที่ 2

Y.P. Zhou และคณะ [4] ได้จำลองการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ VRF ภายใต้สภาพความเย็นโดยใช้โปรแกรม EnergyPlus โดยทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VRF และอีก 2 ระบบปรับอากาศคือระบบปรับอากาศ VAV และระบบปรับอากาศคอยล์เย็น (Fan-coil

plus fresh air-FPFA) ซึ่งติดตั้งใช้งาน Water Cooled Chiller ชนิด Screw โดยใช้อาคารสำนักงาน 10 ชั้นมีพื้นที่ในการปรับอากาศ 7840 m<sup>2</sup> ที่เชียงใหม่ โดยผลจากการจำลองพบว่าระบบปรับอากาศ VRF สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าระบบ VAV และ FPFA อยู่ที่ 22.2% และ 11.7% ตามลำดับ

Yueming Li และคณะ [5] ได้จำลองการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ VRF โดยใช้หอระบายความร้อนด้วยน้ำ (Cooling tower) ช่วยในการระบายความร้อนที่คอยล์ร้อน (Condenser) โดยจะเรียกระบบปรับอากาศชนิดนี้ว่าระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled VRF system) ซึ่งจะเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศชนิดอื่น ๆ เช่นระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-cooled VRF system), ระบบปรับอากาศ VAV (Variable Air Volume) และระบบปรับอากาศคอยล์เย็น (Fan-coil plus fresh air) โดยการจำลองพลังงานนั้นจะใช้ข้อมูลสภาพอากาศของเมืองเชียงใหม่ ซึ่งจะใช้โปรแกรม EnergyPlus ในการจำลองการใช้พลังงาน โดยการเปรียบเทียบจะมีทั้งหมด 3 กรณีโดยกรณีที่ 1 คือการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำและระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยอากาศ กรณีที่ 2 คือความแตกต่างของการใช้พลังงานรายเดือนในทุกระบบ และกรณีที่ 3 คือพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ ซึ่งผลจากการจำลองพลังงานในกรณีที่ 1 จะทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ (Compressor) และการใช้พลังงานทั้งระบบ จากการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ของทั้ง 2 ระบบพบว่าการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยอากาศมีการใช้พลังงานมากกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำ เนื่องจากอุณหภูมิที่คอยล์ร้อนของระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศมีอุณหภูมิที่สูงกว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำเมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature) และอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) มีความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีค่าสูงแต่เมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 2-5 องศาเซลเซียสจะทำให้การใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำมีการใช้พลังงานมากกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ อย่างไรก็ตามการใช้พลังงานของคอมเพรสเซอร์ไม่ได้เป็นการบ่งบอกการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบซึ่งจากการจำลองการใช้พลังงานของระบบทั้งหมดแล้วพบว่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำมีการใช้พลังงานมากกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศเนื่องจากการระบายความร้อนด้วยน้ำมีการใช้พลังงานจากหอระบายความร้อนด้วยน้ำและปั๊มน้ำเพิ่มเติมซึ่งความแตกต่างของการใช้พลังงานนั้นมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น กรณีที่ 2 เป็นการจำลองการใช้พลังงานในเดือนมิถุนายน, กรกฎาคมและสิงหาคมจากการจำลอง

พลังงานพบว่าระบบปรับอากาศคอยล์เย็นมีการใช้พลังงานมากที่สุดรองลงมาเป็นระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำและระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยอากาศตามลำดับซึ่งระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศมีความแตกต่างกันเล็กน้อย กรณีที่ 3 พบว่าระบบปรับอากาศคอยล์เย็นมีการใช้พลังงานมากกว่าระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำถึง 20% แต่ระบบระบบปรับอากาศ VRF ระบายความร้อนด้วยน้ำมีการใช้พลังงานมากกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศประมาณ 4%

T. Hong และคณะ [6] ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VRF โดยทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของโปรแกรม EnergyPlus กับการวัดค่าจริงจากการทดสอบเพื่อเป็นแรงจูงใจให้เกิดการใช้เทคโนโลยีการจำลองพลังงานผ่านโปรแกรมในอนาคต โดยการเปรียบเทียบจะอ้างอิงจาก ASHRAE Guideline ในการจำลองพลังงาน โดยการเปรียบเทียบจะทำการเปรียบเทียบการปรับอากาศในเรื่องของการให้ความเย็น (Cooling mode) และความร้อน/อุ่น (Heating mode) แก่บ้านที่อยู่อาศัย จากการจำลองพบว่า การจำลองพลังงานผ่านโปรแกรม EnergyPlus ให้ผลของค่าที่ใกล้เคียงเมื่อเทียบกับการวัดค่าจากการทดสอบของระบบ ดังนั้นการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศ VRF โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus จึงเหมาะกับการใช้งานในอนาคต

Donsu Kim และคณะ [7] ได้ทำการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VRF ชนิดฮีทปั๊มกับระบบปรับอากาศ VAV ซึ่งติดตั้งใช้งานแผงคอยล์ร้อน (RTU) ในภูมิภาคประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 16 รัฐซึ่งทั้ง 16 รัฐมีลักษณะภูมิอากาศที่ร้อนและหนาวเย็นแตกต่างกันไป โดยการจำลองพลังงานนั้นจะจำลองในอาคารที่มีรูปแบบการใช้งานลักษณะสำนักงานขนาดกลาง พบว่าสภาพภูมิอากาศหนาวเย็นมีการใช้พลังงานระบบปรับอากาศทั้งสองชนิดมากกว่าในสภาพภูมิอากาศร้อนเนื่องจากในภูมิภาคหนาวผู้ใช้งานเลือกใช้ระบบปรับอากาศในลักษณะของให้ความอุ่นภายในสำนักงานจึงทำให้พื้นที่ที่มีภูมิอากาศหนาวมีการใช้พลังงานมากกว่าภูมิภาคที่ร้อน ในขณะที่เดียวกันพบว่าในทั้งหมด 16 รัฐ ระบบปรับอากาศ VRF มีการประหยัดพลังงานมากกว่าระบบ VAV ถึง 14-39% อีกทั้งยังได้เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในรอบปีกับเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานพบว่าระบบปรับอากาศ VRF สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าระบบปรับอากาศ VAV ในรัฐที่มีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนแต่ในทางกลับกันในภูมิภาคที่เย็นระบบปรับอากาศ VAV จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าระบบปรับอากาศ VRF

Xinqiao Yu และคณะ [8] ได้ศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VAV ซึ่งติดตั้งใช้งาน Water cooled chiller กับระบบปรับอากาศ VRF ที่อาคารสูงประเทศจีนจำนวน 5 อาคารโดยแบ่งเป็นอาคารที่เมือง Haugzhou และ Qingdao ติดตั้งระบบปรับอากาศ VRF และอาคารที่เมือง

Hongkong จำนวน 2 อาคารและอาคารที่เมือง Beijing ติดตั้งระบบปรับอากาศ VAV โดยก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศทั้งสองนั้นได้ทำการจัดเก็บข้อมูลการใช้งานของอาคารทั้ง 5 อาคารไม่ว่าจะเป็นแสงสว่าง, อุปกรณ์ไฟฟ้า, การระบายอากาศและช่วงเวลาการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศ จากการสำรวจของทั้ง 5 อาคารนั้นพบว่าระบบปรับอากาศ VRF จะมีการใช้งานที่แตกต่างกับระบบ VAV นั่นคือระบบปรับอากาศ VRF การใช้งานขึ้นอยู่กับความต้องการของอุณหภูมิภายในพื้นที่นั้นๆ และความต้องการในการระบายอากาศแต่ในขณะที่ระบบปรับอากาศ VAV นั้นมีการใช้งานตลอดในทุกๆ พื้นที่ของอาคาร จากนั้นจึงทำการสร้างโมเดลจำลองมาเพื่อจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศทั้งสองโดยจะทำการสร้างโมเดลอาคารสูง 22 ชั้นซึ่งเป็นโมเดลอาคารที่อ้างอิงจากมาตรฐานพลังงานในปี 2005 ของประเทศจีน โดยโมเดลนี้จะถูกนำไปจำลองการใช้พลังงานโดยจะเลือกใช้ภูมิอากาศจากเมือง Qingdao และ Hongkong เนื่องจากสองเมืองนี้มีภูมิอากาศที่แตกต่างกันโดย Qingdao นั้นมีภูมิอากาศที่หนาวทั้งปีแต่ในขณะที่ Hongkong มีภูมิอากาศที่ร้อน, อุณหภูมิเย็นทั้งปี จากการจำลองพลังงานผลปรากฏว่าระบบปรับอากาศ VRF ใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศ VAV 42% ใน Hongkong และ 53% ใน Qingdao ตามลำดับ เนื่องจากลักษณะการใช้งานของระบบ VRF นั้นมีความยืดหยุ่นมากกว่าในพื้นที่ปรับอากาศแต่ในขณะที่ระบบ VAV นั้นต้องทำงานตลอดเวลาในทุกพื้นที่ปรับอากาศ อีกทั้งยังพบว่า การติดตั้งของระบบปรับอากาศ VRF จะสามารถติดตั้งได้ก็ต่อเมื่อความยาวของท่อสารทำความเย็นของระบบสามารถเข้าถึงพื้นที่ปรับอากาศได้แต่ในขณะเดียวกันระบบปรับอากาศ VAV นั้นสะดวกต่อการติดตั้งในพื้นที่ที่มากกว่าและการซ่อมบำรุงที่สะดวกกว่าเมื่อเจอปัญหาภายในระบบปรับอากาศ

Wang S.[9] ได้ทำการสร้างโมเดลจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม Energyplus โดยทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระบบปรับอากาศระหว่างระบบปรับอากาศ ground source heat pump กับระบบปรับอากาศ VRF โดยการจำลองการใช้พลังงานนั้นจำลองในเงื่อนไขของอาคารสำนักงานเล็กที่มีขนาดพื้นที่ 456 m<sup>2</sup> ภายใต้ภูมิอากาศ 3 รูปแบบคือ Mixed-Humid ที่ Baltimore, Cool-Humid ที่ Chicago และ Warm-Humid ที่ Atlanta โดยผลการจำลองการใช้พลังงานพบว่าระบบปรับอากาศ ground source heat pump มีการประหยัดพลังงานรวมทั้งปีประมาณ 20% และยังมีการใช้พลังงานในช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Electric peak demand) น้อยกว่าระบบปรับอากาศ VRF 31-40%

จากที่ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนั้นพบว่ามีการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ VRF กับระบบปรับอากาศชนิดอื่นดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นไม่ว่าจะเป็นระบบปรับอากาศ VAV, ระบบปรับอากาศ FPFA และระบบปรับอากาศ GSHP เมื่อได้กล่าวโดยสรุปแล้วนั้น Y.P. Zhou [4]



พบว่า การจำลองการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ VRF ใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศ VAV 22.2% และ FPFA 11.7% ที่ใช้งานร่วมกับ Water cooled chiller ในอาคารสำนักงาน 10 ชั้น ตามลำดับ ในส่วนของ Tolga N.Aynur และคณะ [3] ได้จำลองการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ VRF กับระบบปรับอากาศ VAV ที่ใช้งานกับ RTU ซึ่งมีการติดตั้ง Reheat box เพิ่มขึ้นด้วย โดยการจำลองพลังงานนี้เป็นการจำลองในช่วงฤดูหนาวด้วยโปรแกรม EnergyPlus ผลพบว่าระบบปรับอากาศ VRF ได้ใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศ VAV ที่มีการใช้ Reheat box ถึง 24.5-81.5% ในหลากหลายกรณีที่ได้กำหนดขึ้นจากที่ได้กล่าวไปข้างต้น นอกจากนี้แล้วการนำระบบปรับอากาศ VRF ไปเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างระบบปรับอากาศ VRF ที่มีการใช้ Cooling tower และระบบปรับอากาศ FPFA ด้วยโปรแกรม EnergyPlus โดย Yueming Li และคณะ [5] ซึ่งใช้ข้อมูลสภาพอากาศที่เซี่ยงไฮ้ ผลการจำลองพบว่าระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ Cooling tower ใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศ FPFA ถึง 20% แต่ยังมีการใช้พลังงานเยอะกว่าระบบปรับอากาศ VRF ถึง 4% เนื่องจากมีการใช้งานของปั๊มน้ำเพิ่มเข้ามาด้วย ในขณะที่เดียวกันการนำปรับอากาศ VRF ชนิดฮีทปั๊มไปจำลองการใช้พลังงานในประเทศสหรัฐอเมริกาทั้งหมด 16 รัฐกับปรับอากาศ VAV ซึ่งติดตั้งใช้งานกับ RTU โดย Donsu Kim และคณะ [7] ผลการปรากฏว่าระบบปรับอากาศ VRF มีการประหยัดพลังงานมากกว่าระบบ VAV ถึง 14-39% และยังพบว่าพบว่าระบบปรับอากาศ VRF สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่าระบบปรับอากาศ VAV ในรัฐที่มีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนแต่สำหรับภูมิอากาศที่เย็น ระบบปรับอากาศ VAV จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า นอกจากภูมิอากาศที่หลากหลายในประเทศสหรัฐอเมริกาแล้วการจำลองพลังงานโดยภูมิอากาศของเมือง Hongkong และ Qingdao ในประเทศจีนผ่านโมเดลจำลองอาคารสูง 22 ชั้นซึ่งเปรียบเทียบใช้ระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ VAV ที่ใช้งานกับ Water cooled chiller โดย Xinqiao Yu และคณะ [8] พบว่าระบบปรับอากาศ VRF ใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศ VAV 42% ใน Hongkong และ 53% ใน Qingdao ตามลำดับเนื่องจาก Qingdao นั้นมีภูมิอากาศที่หนาวทั้งปีแต่ในขณะที่ Hongkong มีภูมิอากาศที่ร้อน , อุณหภูมิเย็นทั้งปี แต่ในผลการศึกษาของ Wang S. [9] พบว่าเมื่อการนำระบบปรับอากาศ GSHP มาเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศ VRF ในสำนักงานขนาดเล็กในภูมิอากาศที่ Baltimore, Chicago และ Atlanta พบว่าระบบปรับอากาศ GSHP ใช้พลังงานประหยัดกว่าระบบปรับอากาศ VRF ถึง 20% และยังมีในส่วนของ Electric peak demand ที่น้อยกว่าถึง 31-40%

## 2.2 ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system

เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น เหมาะสำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่ มีจำนวนห้องที่ต้องการปรับอากาศหลายห้องและหลายชั้นในอาคารสูง โดยจะใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนอย่างไรก็ตามระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system นั้นมีการลงทุนที่สูง เนื่องจากต้องมีการติดตั้งหอทำความเย็น, ปั๊ม และในการใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการดูแลเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนในระบบท่ออันเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง

### 2.2.1 อุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศระบบ Water cooled chiller system

เครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) [10]

เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ (Compressor), คอนเดนเซอร์ (Condenser), อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และเอ็กซ์แพนชันวาล์ว (Expansion Valve) มีสารทำความเย็นเช่น R22 หรือ R134a บรรจุอยู่ภายในโดยทำหน้าที่ผลิตน้ำให้เย็นก่อนโดยใช้ปั๊มน้ำหมุนเวียนน้ำเย็นไปยังหน่วยเครื่องส่งลมเย็น

ปั๊ม (Pump) [10]

เป็นอุปกรณ์หลักในการขับเคลื่อนของเหลว โดยทำหน้าที่ลดความดันและ/หรือเพิ่มความดันให้แก่ น้ำ เพื่อให้สามารถไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่

หอทำความเย็น (Cooling Tower) [11]

หอทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำหล่อเย็น ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับน้ำที่ใช้หล่อเย็นคอนเดนเซอร์ โดยทำให้อุณหภูมิน้ำใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศให้มากที่สุด

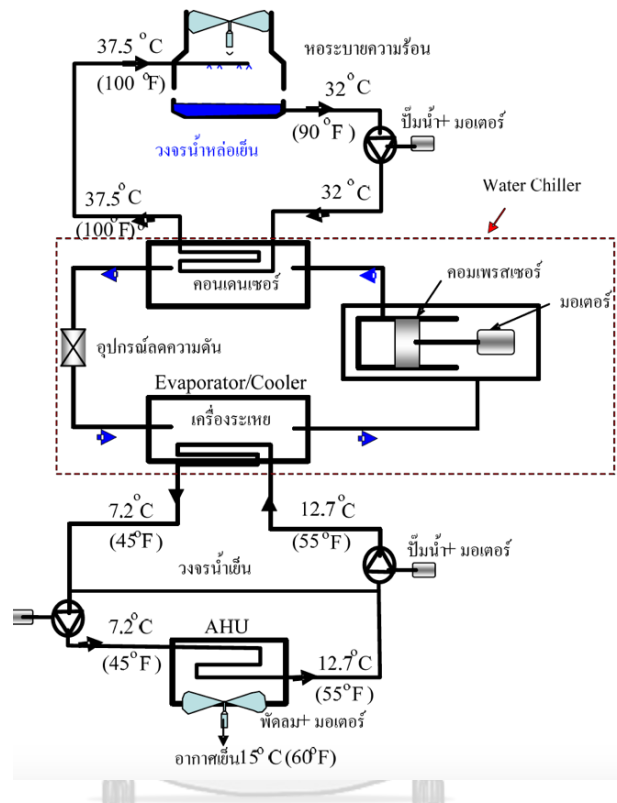
เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) [10]

เครื่องส่งลมเย็นเป็นอุปกรณ์ทางด้านปลายทางของระบบน้ำเย็น ซึ่งทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นที่มาจากเครื่องทำน้ำเย็นกับอากาศส่งผลให้อากาศที่ผ่านออกไปมีอุณหภูมิต่ำและนำไปใช้เพื่อปรับอากาศต่อไป เครื่องส่งลมเย็นเป็นเครื่องชุดคอยล์ทำความเย็นที่ประกอบด้วย พัดลม, คอยล์ทำความเย็นและแผงกรองอากาศรวมอยู่ในตัวเครื่องเดียวกัน เครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่มักจะนิยมเรียกสั้นๆ ว่า AHU สำหรับเครื่องขนาดเล็กจะเรียกว่า FCU ( Fan coil Unit) การติดตั้งจะจัดให้อยู่ในห้องเฉพาะแล้วต่อท่อลมไปยังห้องที่จะปรับอากาศ

### 2.2.2 หลักการทำงานของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system [1]

สำหรับอาคารขนาดใหญ่ ระบบปรับอากาศที่นิยมติดตั้งและใช้มักเป็นระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Water cooled chiller system) โดยเครื่องทำน้ำเย็นเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่ง

มีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์, คอนเดนเซอร์, อีวาพอเรเตอร์และเอ็กแพนชันวาล์ว โดยมีสารทำความเย็น เช่น R22 หรือ R134 a บรรจุอยู่ในวงจรสารทำความเย็น



รูปที่ 2.2 แผนภาพระบบปรับอากาศระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system [1]

เมื่อป้อนไฟฟ้าให้คอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์จะดูดไอสารทำความเย็นจากอีวาพอเรเตอร์ แล้วอัดส่งไปที่คอนเดนเซอร์ที่อีวาพอเรเตอร์สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิต่ำ สารทำความเย็นจะดูดความร้อนจากน้ำเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์และระเหยกลายเป็นไอในขณะเดียวกันที่คอนเดนเซอร์สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิสูง ความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็นทำให้สารทำความเย็นกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวที่ความดันสูง เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านเอ็กแพนชันวาล์วความดันก็จะลดลงเท่ากับความดันต่ำที่ อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นก็จะไหลครบ วงจรสารทำความเย็น น้ำหล่อเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นส่งไปที่หอทำความเย็นก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยการระเหยน้ำ ทำให้น้ำที่เหลือเย็นลงแล้วไหลกลับไปรับความร้อนที่คอนเดนเซอร์อีกทำให้ครบ วงจรน้ำหล่อเย็น น้ำเย็นเมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์ก็มีอุณหภูมิต่ำลงเมื่อถูกเครื่องสูบน้ำ

เย็นส่งไปที่เครื่องส่งลมเย็นก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศทำให้น้ำร้อนขึ้นแล้วไหลกลับไปถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์อีกทำให้ครบ วัฏจักรน้ำเย็น

ในส่วนเครื่องส่งลมเย็นจะดูดอากาศร้อนจากห้องปรับอากาศผ่านระบบท่อลมไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเย็นทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลงแล้วส่งกลับไปให้ห้องปรับอากาศทำให้ครบ วัฏจักรลมเย็น

### 2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system

C.K. Chang และคณะ [12] ได้ทำการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ทั้ง 3 ระบบในประเทศมาเลเซียซึ่งประกอบด้วยการระบายความร้อนด้วยน้ำ, การระบายความร้อนด้วยอากาศและการระบายความร้อนแบบไฮบริดซึ่งการทำงานเป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศและมีละอองน้ำช่วยในการระบายความร้อนที่แผงคอยล์ร้อน (Hybrid evaporative air cooled system) ซึ่งการระบายความร้อนด้วยน้ำและอากาศนั้นเป็นระบบที่ใช้ทั่วไปภายในประเทศและการระบายความร้อนแบบไฮบริดเป็นระบบปรับอากาศแบบใหม่ที่น่าสนใจภายในประเทศ ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพในการปรับอากาศแบบไฮบริด มีประสิทธิภาพการปรับอากาศได้เหมือนกับการระบายความร้อนด้วยน้ำโดยที่ใช้กำลังน้อยกว่าและสามารถประหยัดพื้นที่การติดตั้งได้มากกว่าระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งในด้านของราคาที่น่าสนใจติดตั้งภายในอาคารนั้นพบว่าระบบปรับอากาศที่ระบายแบบไฮบริดมีราคาที่ถูกที่สุด รองลงมาเป็นการระบายความร้อนด้วยน้ำแต่ในขณะที่การระบายความร้อนด้วยอากาศราคาแพงที่สุด

M.J. Sebzali และคณะ [13] ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system กับระบบปรับอากาศ Chilled Water Thermal Storage (CWTS) ที่ประเทศคูเวตเนื่องจากการใช้พลังงานในเทศมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นถึง 6.2% ต่อปีดังนั้นจึงได้ศึกษาเพื่อหาแนวทางการลดใช้พลังงานในประเทศลง ซึ่งการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศทั้งสองประเภทนี้มีพบว่าระบบปรับอากาศ CWTS นั้นสามารถลดการใช้พลังงานในช่วงพีค 36.7% - 87.5% และการใช้พลังงานรวมทั้งปีได้มากกว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ถึง 5.4% - 6.9% ดังนั้นระบบปรับอากาศ CWTS จึงเป็นอีกตัวเลือกที่สามารถนำไปใช้ในอาคารของประเทศคูเวตเนื่องจากการใช้พลังงานระบบปรับอากาศในช่วงพีคและตลอดทั้งปีนั้นมีค่าน้อยกว่า

Guruprakash S. และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาอาคารที่เมือง Hyderabad ประเทศอินเดีย ซึ่งในพื้นที่แห่งนี้มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยอาคารแห่งนี้มีลักษณะอาคารที่แบ่งออกเป็นสองฝั่งในลักษณะที่เหมือนกันและมีการติดตั้งระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system โดยมี VAV

box ช่วยในการประหยัดพลังงานและระบบปรับอากาศด้วยการทำความเย็นแผ่รังสี (Radiant cooling) โดยทั้งสองระบบนี้มีการติดตั้ง Chiller AHU และ Cooling tower ที่เหมือนกันซึ่งในระบบปรับอากาศด้วยการแผ่รังสีนี้มีการติดตั้งตำแหน่งของคอยล์เย็นไว้ที่ฝ้าของอาคารโดยอาศัยการระบายอากาศทำให้เกิดลมเย็นในการปรับอากาศภายในพื้นที่ โดยการศึกษานี้จะวิเคราะห์จากการเก็บค่าการใช้พลังงานในอาคารจากการวัด ซึ่งผลปรากฏว่าระบบปรับอากาศด้วยการทำความเย็นแผ่รังสีนั้นมีการใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system โดยมี VAV box ถึง 34% อีกทั้งในเรื่องของความสบายของผู้คนที่อาศัยในอาคารโดยใช้มาตรฐานของ European Standard DIN EN 7730 พบว่าระบบระบบปรับอากาศด้วยการทำความเย็นแผ่รังสีมีค่าความไม่สะดวกสบาย 7.9% แต่ในขณะที่ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system โดยมี VAV box มีค่าความไม่สะดวกสบาย 8.7% ในส่วนของต้นทุนในการลงทุนของระบบปรับอากาศทั้งสองซึ่งไม่รวมค่าซ่อมบำรุงนั้นพบว่าระบบปรับอากาศด้วยการทำความเย็นแผ่รังสีมีต้นทุนในการลงทุนอยู่ที่ 5.11 ปอนด์ต่อตารางฟุตในขณะที่ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system โดยมี VAV box นั้นมีต้นทุนในการลงทุนอยู่ที่ 5.15 ปอนด์ต่อตารางฟุต

จากที่ได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนั้นโดย C.K. Chang และคณะ [10] พบว่าประสิทธิภาพในการปรับอากาศแบบไฮบริดมีประสิทธิภาพการปรับอากาศได้เหมือนกับการระบายความร้อนด้วยน้ำ แต่ที่ใช้กำลังน้อยกว่าและสามารถประหยัดพื้นที่การติดตั้งได้มากกว่าระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศและยังมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศอีกด้วย อีกทั้ง M.J. Sebzali และคณะ [13] ได้ทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system กับระบบปรับอากาศ CWTS ที่ประเทศคูเวตพบว่าระบบปรับอากาศ CWTS นั้นสามารถลดการใช้พลังงานในช่วงพีคได้ถึง 36.7-87.5% และการใช้พลังงานรวมทั้งปีได้มากกว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ถึง 5.4-6.9% นอกจากนี้แล้วในอาคารประเทศอินเดียที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system กับระบบปรับอากาศด้วยการทำความเย็นแผ่รังสีในอาคารเดียวกันโดยแบ่งระบบปรับอากาศออกเป็นสองส่วนอาคาร ซึ่งศึกษาโดย Guruprakash S. และคณะ [14] พบว่าระบบปรับอากาศด้วยการทำความเย็นแผ่รังสีนั้นมีการใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ถึง 34%

### บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การใช้เทคโนโลยีโปรแกรมจำลองการใช้พลังงาน Openstudio และ EnergyPlus การที่จะใช้งานโปรแกรมให้เกิดประโยชน์สูงสุดจำเป็นต้องศึกษาและเข้าใจทั้งลักษณะการทำงานและโครงสร้างของโปรแกรมจำลองพลังงานนี้ด้วย อีกทั้งจุดเด่นของโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus มีลักษณะความแตกต่างและข้อดีต่างจากโปรแกรมชนิดอื่นๆ ที่เคยมีการใช้งานมาก่อนในอดีตและปัจจุบันเช่น DOE-2, BLAST, IBLAST เป็นต้น

นอกจากนั้นแล้วในการออกแบบขนาดของปั๊มน้ำในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system จำเป็นที่จะต้องทราบอัตราการไหลของน้ำในระบบอีกทั้งในเรื่องของแรงเสียดทานภายในต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นแรงเสียดทานท่อ, แรงเสียดทานจากวาล์วหรือข้อต่อต่างๆ และแรงเสียดทานจากอุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องทราบเพื่อนำไปการออกแบบขนาดของปั๊มในขั้นตอนต่อไป

#### 3.1 โปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio

โปรแกรม EnergyPlus เป็นจำลองพลังงานในอาคารที่คิดค้นโดยรัฐบาลกลางสหรัฐซึ่งมีการพัฒนาและใช้ประสบการณ์มาจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST โดย EnergyPlus นั้นมีความสามารถในการจำลองการไหลของอากาศจากหลายๆโซน, พลังงานไฟฟ้าและจำลองการแสงอาทิตย์ ซึ่งการจำลองพลังงานนั้นจะมีการบูรณาการร่วมกันซึ่งมีความร้อนและความสมดุลของมวลระหว่างโซนความร้อนในการคำนวณ

##### 3.1.1 โครงสร้างของโปรแกรม EnergyPlus [15]

จากที่ได้กล่าวข้างต้นว่า EnergyPlus นั้นมีการพัฒนามาจากโปรแกรม DOE-2 และ BLAST ซึ่งการจำลองจากโปรแกรมดังกล่าวนี้มีความตัวแปรบางอย่างนั้นยังไม่สามารถทำได้ดีเท่าไรนักซึ่งได้แก่ การควบคุมความสมจริงของระบบ (realistic system control), การดูดซับความชื้นภายในอาคาร (moisture adsorption and desorption in building elements), การแพร่กระจายของความเย็นและความร้อน (radiant heating and cooling systems) และการไหลของอากาศภายในพื้นที่ (interzone air flow) โดยโปรแกรม EnergyPlus ได้ถูกพัฒนามาเพื่อมาแก้ไขในสิ่งเหล่านี้

โปรแกรม EnergyPlus มีองค์ประกอบพื้นฐาน 3 ข้อได้แก่ การจัดการการจำลองพลังงาน (Simulation manager), การจำลองความร้อนและสมดุลมวล (Heat and mass balance) และระบบอาคารจำลอง (Building systems simulation manager) ซึ่งการควบคุมการจำลองพลังงาน

นั้นไม่ว่าจะเป็นความร้อนและสมดุลมวลนั้นจะมีพื้นฐานมาจากโปรแกรม IBLAST ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีการวิจัยจาก BLAST ที่มีความสามารถในการจำลอง HVAC system และภาวะความร้อนภายในอาคาร ซึ่งรายละเอียดพื้นฐานทั้ง 3 ข้อ มีรายละเอียดดังนี้

#### 1) การจัดการการจำลองพลังงาน (Simulation manager)

การจำลองพลังงานของโปรแกรม EnergyPlus ผู้ใช้สามารถเลือกช่วงเวลา time step ในช่วงที่ต้องการได้เช่น การคิดภาระการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกๆ 1 ชั่วโมง, 15 นาที หรือ 1 นาที เป็นต้นและสภาพอากาศในช่วงเวลาที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นสภาพอากาศในช่วงวัน, เดือน, หรือปีผู้ใช้ก็สามารถนำมาใช้ในการจำลองพลังงานได้เช่นกัน หลังจากที่โปรแกรมได้จำลองแล้วผู้ใช้งานยังสามารถกำหนดให้โปรแกรมเก็บบันทึกผลข้อมูลต่างๆ ตามที่ผู้ใช้ต้องการได้เช่น ข้อมูลที่นำไปใช้จำลอง, การบันทึกผลและรายงานผลการจำลอง

#### 2) การจำลองความร้อนและสมดุลมวล (heat and mass balance)

โปรแกรม EnergyPlus จะนำค่าอุณหภูมิและความชื้นมาคำนวณความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ข้อมูลเบื้องต้นของอาคาร ซึ่งภาวะความร้อนที่เข้าสู่อาคารไม่ว่าจะเป็นภาวะความร้อนจากภายนอกเช่น รังสีความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ผ่านหน้าต่าง ภาวะความร้อนจากภายในเช่น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการเปิดปิดหรือทำงานต่อเนื่อง คนที่อาศัยอยู่ภายในอาคาร อีกทั้งยังมีความร้อนจากการระบายอากาศและอากาศที่มีการรั่วไหลผ่านเข้าออกอาคารอีกด้วย

#### 3) ระบบอาคารจำลอง (Building systems simulation manager)

โปรแกรม EnergyPlus สามารถป้อนข้อมูลของระบบปรับอากาศได้อย่างอิสระตามที่ผู้ใช้ต้องการ โดยจะต้องกำหนดการต่อเชื่อมของอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบปรับอากาศซึ่งจะต้องใช้จุดเชื่อม (Node) ของแต่ละอุปกรณ์เข้าหากันตามแบบระบบปรับอากาศที่ผู้ใช้งานต้องการ

Field	Units	Ob1	Ob2	Ob3	Ob4	Ob5	Ob6	Ob7	Ob8	Ob9
Air Loop Name		AHU 1 Floor	AHU 10 Floor	AHU 11 Floor	AHU 12 Floor	AHU 13 Floor	AHU 14 Floor	AHU 15 Floor	AHU 16 Floor	AHL
Type of Load to Size On		Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sensible	Sens
Design Outdoor Air Flow Rate	m <sup>3</sup> /s	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	autosize	auto
Central Heating Maximum System Air Flow Ratio		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Preheat Design Temperature	C	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Preheat Design Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Precool Design Temperature	C	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
Precool Design Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Central Cooling Design Supply Air Temperature	C	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
Central Heating Design Supply Air Temperature	C	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7	16.7
Type of Zone Sum to Use		NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident	NonCoincident	Non
100% Outdoor Air in Cooling		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
100% Outdoor Air in Heating		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Central Cooling Design Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085
Central Heating Design Supply Air Humidity Ratio	kgWater/kgDryA	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
Cooling Supply Air Flow Rate Method		DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	Desi
Cooling Supply Air Flow Rate	m <sup>3</sup> /s	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cooling Supply Air Flow Rate Per Floor Area	m <sup>3</sup> /s-m <sup>2</sup>	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501	0.0099676501
Cooling Fraction of Autosized Cooling Supply Air Flow R		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cooling Supply Air Flow Rate Per Unit Cooling Capacity	m <sup>3</sup> /s-W	0.000039475456	0.000039475456	0.000039475456	0.000039475456	0.000039475456	0.000039475456	0.000039475456	0.000039475456	0.000039475456
Heating Supply Air Flow Rate Method		DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	DesignDay	Desi

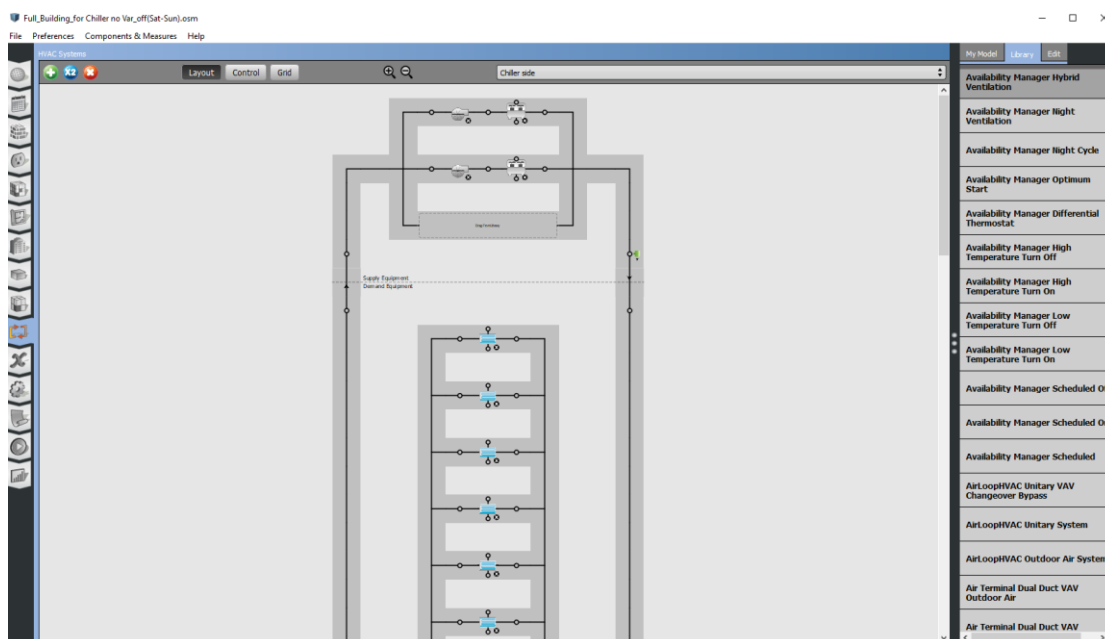
### รูปที่ 3.1 ตัวอย่างโปรแกรม EnergyPlus ที่มีการใช้งานจริง

ซึ่งโปรแกรม EnergyPlus นั้นมีการใช้งานที่ซับซ้อนและอาจมีข้อผิดพลาดได้ง่าย ถ้าไม่มีประสบการณ์การใช้งานที่เพียงพอ ดังนั้นเพื่อให้การจำลองการใช้พลังงานระบบปรับอากาศภายในอาคารให้มีความซับซ้อนน้อยลง NREL (National Laboratory of the U.S. Department of Energy) ได้พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาในชื่อว่า Openstudio ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

#### 3.1.2 โปรแกรม Openstudio [16]

โปรแกรม Openstudio เป็นโปรแกรมที่สร้างแบบจำลองพลังงานอาคารที่สร้างมาจาก EnergyPlus ในอีกรูปแบบหนึ่งเพื่อให้การใช้งานโปรแกรม EnergyPlus ที่ซับซ้อนนั้นให้ใช้งานง่ายตายขึ้น โดยโปรแกรม Openstudio เป็นส่วนเสริม (Plug-in) ภายในโปรแกรม SketchUp ในการสร้างแบบจำลองอาคารขึ้นมา โปรแกรม Openstudio นั้นสามารถสร้างหรือกำหนดตารางการใช้ งาน, โหลดภายในอาคาร, วัสดุโครงสร้างของอาคารและระบบปรับอากาศภายในอาคารที่ต้องการได้ ง่ายอย่าง อีกทั้งยังสามารถแสดงผลการจำลองพลังงานระบบปรับอากาศภายในอาคารในรูปแบบของ ตารางผลสรุปได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงานระบบปรับอากาศภายในอาคารในรายปี, การใช้พลังงานของอุปกรณ์ภายในระบบปรับอากาศนั้นๆ เช่น แสงไฟ, บิมน้ำ, อุปกรณ์ไฟฟ้าภายใน อาคาร, พัดลมและการระบายความร้อน เป็นต้น





รูปที่ 3.2 ตัวอย่างโปรแกรม Openstudio ที่มีการใช้งานจริง

### 3.2 กราฟประสิทธิภาพ (Performance Curve) ของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้กับโปรแกรม EnergyPlus [17]

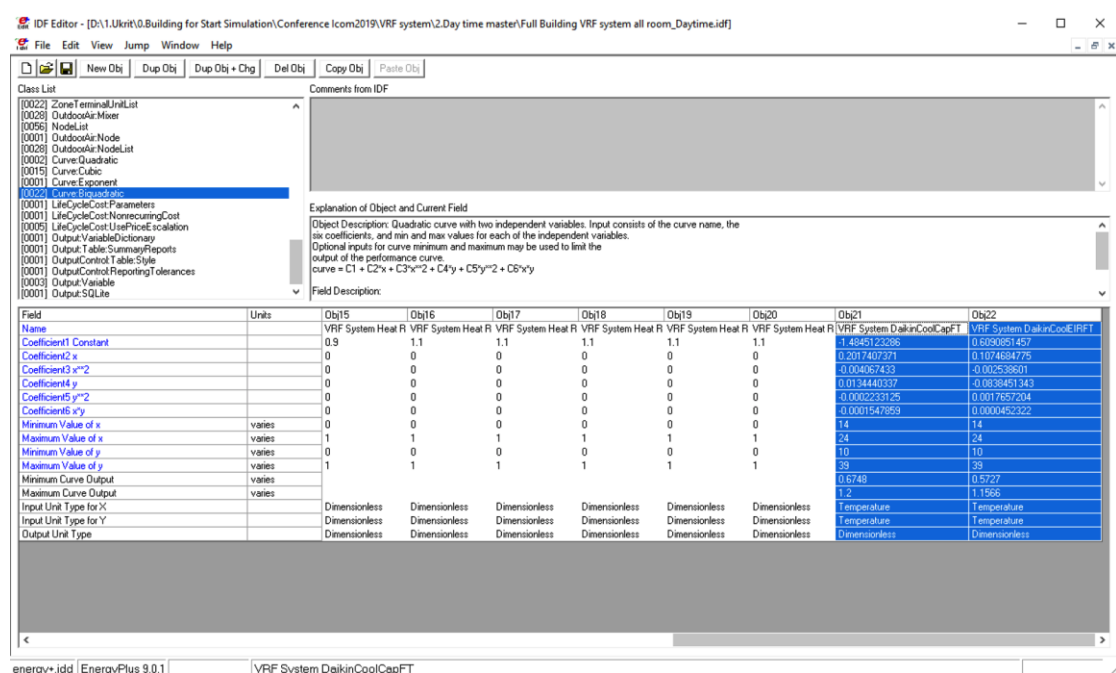
โดยเส้นกราฟประสิทธิภาพเป็นการบ่งบอกประสิทธิภาพการปรับอากาศของแต่ละระบบ เช่น ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบในลักษณะ Full load, ประสิทธิภาพในการทำความเย็นของระบบในลักษณะ Part load, ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ (EIR Performance) เป็นต้น ในการใช้พลังงานเพื่อทำความเย็นนั้นจำเป็นต้องมีการนำค่าของอุณหภูมิกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียกที่ค่า Capacity และ EIR ของระบบปรับอากาศนั้นๆ มาเป็นฟังก์ชันในการสร้างเส้นกราฟประสิทธิภาพ

โดยการสร้างสมการประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศของทั้ง 2 ระบบนั้นจำเป็นต้องทราบข้อมูล Specification และ Performance data ของระบบเพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการกรอกข้อมูลในไฟล์ Excel ที่ชื่อว่า CurveFitTool โดยไฟล์ Excel นี้สามารถหาได้จากโพลเดอร์ของโปรแกรม EnergyPlus โดยตำแหน่งของไฟล์นั้นสามารถหาได้จากโพลเดอร์ที่ชื่อว่า HVACCurveFitTool และใช้ไฟล์ที่ชื่อว่า CurveFitTool ในการสร้างสมการเหล่านี้ขึ้นมา โดยการสร้างกราฟประสิทธิภาพมีการใช้สมการหลักๆ ของระบบปรับอากาศ VRF คือ Biquadratic Curve โดยจะนำผล Technical data [18] จากผู้ผลิตของระบบปรับอากาศนั้นๆ ซึ่งรายละเอียดดังต่อไปนี้.

$$\text{Biquadratic Curve คือ } z=a_0+a_1X+a_2X^2+a_3Y+a_4Y^2+a_5XY$$

โดยสมการ Biquadratic Curve ค่า X คือค่าอุณหภูมิกระเปราะแห้ง (°C) และ Y คืออุณหภูมิกระเปราะเปียก (°C) โดย X และ Y เป็นฟังก์ชันของค่า Z โดยที่ Z คือค่าความสามารถในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (W) และพลังงานของคอมเพรสเซอร์ (W) รวมกับพลังงานของพัดลมระบายความร้อน (W) นั้นๆ

เมื่อได้ค่า  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  และ  $a_5$  สำหรับสมการ Biquadratic Curve แล้วก็นำค่าดังกล่าวไปกรอกใส่ในโปรแกรม EnergyPlus ให้หัวข้อของ Curve ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการนำตัวแปรไปสร้าง Curve ในโปรแกรม EnergyPlus ในการใช้งานจริง

### 3.3 การออกแบบขนาดท่อในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system [10]

ในการออกแบบขนาดท่อนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบอัตราการไหลของน้ำที่ไหลภายในอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศไม่ว่าจะเป็นเครื่องทำน้ำเย็น, หอทำความเย็น, เครื่องส่งลมเย็นและปั๊มมีหน่วยเป็นแกลลอนต่อนาที (gpm) ในหน่วยอังกฤษหรือในหน่วยสากลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ( $m^3/s$ ) ซึ่งการไหลของน้ำนั้นทำให้เกิดแรงเสียดทานภายในท่อ โดยขนาดท่อที่ใช้ในการออกแบบให้มีแรงเสียดทานอยู่ระหว่าง 1-4 ft.wg/100ft และความเร็วเฉลี่ยของน้ำในท่อขนาดไม่เกิน 2" มักนิยมไม่ให้เกิน 4 ft/s แต่สำหรับท่อขนาดเกิน 2" ความเร็วควรที่จะไม่เกิน 10 ft/s โดยการคำนวณแรงเสียดทานท่อนั้นสามารถหาขนาดของปั๊มที่ใช้ภายในระบบได้ทั้งในวงจรน้ำเย็นและวงจรน้ำอุ่น ซึ่งก่อนที่จะสามารถหาแรงเสียดทานของท่อได้นั้นควรที่จะทราบอัตราการไหลของเครื่องทำน้ำเย็นในวงจรทำน้ำเย็นก่อน

เช่นเดียวกับกับขนาดของปี่ที่ต้องใช้ในวงจรรุ่นก่อนจำเป็นต้องทราบอัตราการไหลของเครื่องทำน้ำเย็นในฝั่งคอนเดนเซอร์เช่นกัน โดยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นนั้นนอกจากความยาวของท่อแล้วยังมีข้ออ, ข้อต่อและวาล์วต่าง ๆ สิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในท่อได้เช่นกันโดยการหาแรงเสียดทานของข้ออ, ข้อต่อและวาล์วต่าง ๆ นั้นจะใช้วิธีแรงเสียดทานเทียบเท่าความยาวของท่อตรงหรือเรียกว่า equivalent length แสดงดังรูปที่ ก.3



## บทที่ 4 การสร้างแบบจำลองและระบบปรับอากาศภายในอาคาร

ในการศึกษาการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศด้วยโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus นั้นจำเป็นที่จะต้องสร้างแบบจำลองอาคารขึ้นมาก่อนโดยแบบจำลองอาคารนั้นจะอ้างอิงจากข้อมูลทางกายภาพของอาคารซึ่งจะอธิบายในบทนี้ นอกจากนี้แบบจำลองอาคารแล้วยังได้มีการอธิบายที่มาของอุปกรณ์และ Specification ในแต่ละส่วนของระบบปรับอากาศที่จะนำมาใช้ในการจำลองพลังงานแต่ละชนิดอีกด้วย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 4.1 ลักษณะของอาคาร

#### 4.1.1 สถานที่ตั้งและสภาพแวดล้อมของอาคาร

อาคารตัวอย่างที่นำมาจำลองพลังงานเป็นอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ที่อยู่ในพื้นที่ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีพิกัดละติจูด 13.742 องศา ลองจิจูด 100.528 องศา สภาวะอากาศที่ใช้จำลองพลังงานรายวันจะใช้ข้อมูลสภาวะอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานครโดยดาวน์โหลดข้อมูลสภาวะอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

#### 4.1.2 อาคารตัวอย่าง

อาคารมีลักษณะเป็นอาคารสำนักงานโดยมีทั้งหมด 20 ชั้นซึ่งโดยปกติอาคารแห่งนี้มีการติดตั้งระบบอากาศ VRF และระบบระบายอากาศที่ได้ใช้งานจริงโดยห้องที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ VRF จะประกอบไปด้วยห้องสมุด, ห้องคอมพิวเตอร์, ห้องสัมมนาย่อยขนาด 12 และ 20 คน, ห้องบรรยาย 60 คน, ห้องเอนกประสงค์ขนาด 50 และ 100 คน, สำนักงานบัณฑิตศึกษา, สำนักงานหลักสูตรภาษาสถาบันเอเชียศึกษาและสำนักงานวิจัยกิจ โดยรูปที่ 4.1 (ก) ถึง (ง) แสดงรูปถ่ายลักษณะของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในแต่ละด้านของอาคาร



(ก)

(ข)



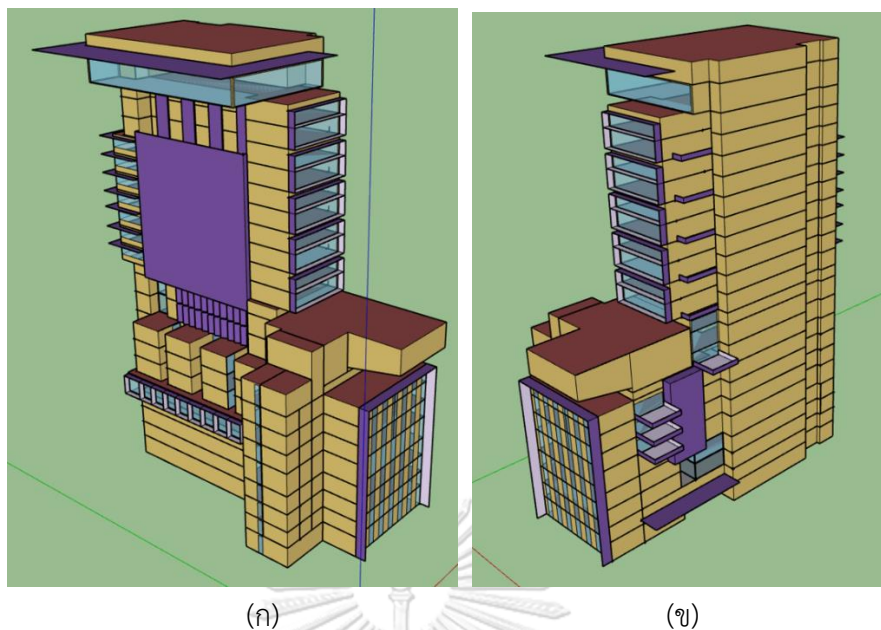
(ค)

(ง)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.1 รูปถ่ายลักษณะของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา (ก) ด้านหน้า, (ข) ด้านหลัง, (ค) ด้าน  
ฝั่งขวาและ (ง) ด้านฝั่งซ้าย

ซึ่งในการจำลองพลังงานระบบปรับอากาศของอาคารจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองของอาคาร โดยใช้โปรแกรม SketchUp [19] ซึ่งมี Plugin ที่ถูกติดตั้งชื่อว่า Openstudio [16] ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกสบายในการสร้างโมเดลจำลองของอาคารแห่งนี้ โดยการสร้างแบบจำลองจะอ้างอิงจากแปลนก่อสร้างทางการของอาคารเพื่อให้มีความเสมือนจริงมากที่สุด ซึ่งแบบจำลองของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก) ถึง (ข)



รูปที่ 4.2 แบบจำลองของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษาที่สร้างขึ้นในโปรแกรม SketchUp  
(ก) ด้านหลังของอาคารและ (ข) ด้านหน้าของอาคาร

เมื่อทำการสร้างโมเดลจำลองของอาคารเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถนำโมเดลไปคำนวณการจำลองพลังงานในระบบปรับอากาศได้โดยใช้โปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus ซึ่งข้อมูลทางด้านกายภาพที่จำเป็นต้องทราบในการจำลองอาคารนั้น เช่น ส่วนประกอบและวัสดุของอาคาร, ลักษณะพื้นที่การใช้งานภายในอาคาร, ข้อมูลของระบบปรับอากาศ, เวลาในการใช้งานของระบบปรับอากาศ โดยมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

#### 4.1.3 ส่วนประกอบและวัสดุต่าง ๆ ภายในพื้นที่ปรับอากาศของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

ภายในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศภายในอาคารนั้นจะประกอบไปด้วยโครงสร้างต่างๆ ของอาคาร ตัวอย่างเช่น ผนังภายนอก (Exterior wall), ผนังภายใน (Interior wall), หน้าต่าง (Windows), ประตู (Door), พื้น (Floor), เพดาน (Ceiling) เป็นต้น โดยโครงสร้างในส่วนต่าง ๆ นั้นจะประกอบไปด้วยวัสดุหลากหลายชนิด โดยใช้ข้อมูลทางด้านสถาปัตยกรรม (Architecture) อีกทั้งวัสดุแต่ละชนิดจะมีค่า Heat transfer coefficient ที่แตกต่างกันไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวที่จะนำมาใช้ในการจำลองพลังงานนั้นอ้างอิงจาก ASHRAE\_2005\_HOF\_Materials [17] จากโปรแกรมจำลองพลังงาน EnergyPlus รายละเอียดดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดส่วนประกอบของโครงสร้างพื้นที่ปรับอากาศ

ส่วนประกอบโครงสร้างของพื้นที่ปรับอากาศ	รายละเอียดของโครงสร้าง
ผนังภายนอก	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน Thickness = 0.2m Conductivity = 0.89 W/m-k Density = 1920 kg/m <sup>3</sup> Specific Heat = 790 J/Kg-K
ผนังภายใน	ผนังก่ออิฐมวลฉนวน Thickness = 0.1m Conductivity = 0.89 W/m-k Density = 1920 kg/m <sup>3</sup> Specific Heat = 790 J/Kg-K
หน้าต่าง	กระจกใส Thickness = 0.006m Solar Transmittance at Normal Incidence = 0.3311 Front side Solar Reflectance = 0.6189 Front side Visible Reflectance = 0.51 Front and Back Side Infrared Emissivity = 0.9 Conductivity = 0.0133 W/m-k
พื้น	คอนกรีตเสริมเหล็กเทพูนทรายปรับระดับ Thickness = 0.22m Conductivity = 2.15 W/m-k Density = 2400 kg/m <sup>3</sup> Specific Heat = 900 J/Kg-K
เพดาน	แผ่นยิปซัมบอร์ด Thickness = 0.09m Conductivity = 0.58 W/m-k Density = 800 kg/m <sup>3</sup> Specific Heat = 1090 J/Kg-K

#### 4.2 การใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาการใช้พลังงานของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้ทำการสร้างแบบจำลองอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้นำแบบจำลองดังกล่าวไปศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละระบบ มีรายละเอียดดังนี้

##### 4.2.1 การกำหนดภาระความร้อนภายในพื้นที่การใช้งานภายในอาคาร (Internal Load)

การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคารนั้นสิ่งที่จะเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละระบบคือภาระความร้อนที่อยู่ภายในพื้นที่ของอาคาร โดยการกำหนดค่าภาระความร้อนภายในอาคารนั้นจะกำหนดจากมาตรฐานของ ASHRAE และผ่านข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีการติดตั้งภายในอาคารโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.2.1.1 ภาระความร้อนจากผู้ที่ใช้งานภายในอาคาร

ในการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศจะกำหนดให้มีการใช้พลังงานของระบบเมื่อมีคนเข้าออกภายในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศและอาคารแห่งนี้เป็นอาคารสำนักงานมีการทำงานเพียงช่วงในเวลาเช้าจนถึงช่วงเวลาเย็น โดยตั้งสมมติฐานว่ามีกิจกรรมในระดับ Office Activities สำหรับคนที่ทำกิจกรรมอ่านหนังสือกำหนดให้เท่ากับ 117 Watt/คน [17] และปริมาณ 0.06 คน/พื้นที่

##### 4.2.1.2 ภาระความร้อนจากการระบายอากาศ

ภายในอาคารจะมีการระบายอากาศในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศภายในของอาคาร กำหนดให้มีการระบายอากาศเฉพาะช่วงที่ระบบปรับอากาศมีการทำงาน เมื่อคิดการระบายอากาศเฉลี่ยต่อพื้นที่จากแบบแปลนมีค่าประมาณ 1.67 CFM/ตรม. โดยรายละเอียดดังตารางที่ ก.3

##### 4.2.1.3 ภาระความร้อนจากแสงสว่าง

ความร้อนจากแสงสว่างจะกำหนดขนาดตามจำนวนหลอดไฟที่มีการติดตั้งในพื้นที่นั้นและเปิดใช้ตามช่วงเวลาทำงานการใช้งานของอาคารในลักษณะต่างๆ รายละเอียดดังตารางที่ ก.3

##### 4.2.1.4 ภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการใช้งานภายในอาคารที่สามารถเป็นภาระความร้อนทางไฟฟ้าได้ โดยจะคิดจากการใช้พลังงานจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 10.8 W/m<sup>2</sup> [20]

#### 4.2.2 ระบบปรับอากาศที่นำไปใช้ในการจำลองพลังงาน

ในหัวข้อนี้จะอธิบายภาระการทำความเย็นของอาคารในแต่ละชั้นและข้อมูลลักษณะของอุปกรณ์ทำความเย็นของระบบปรับอากาศทั้ง 2 ระบบที่จะนำมาจำลองพลังงาน โดยระบบ VRF มีการใช้ข้อมูลของคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นที่มีการใช้งานอยู่แล้วภายในอาคาร ในส่วนของระบบ Water cooled chiller system จะมีการนำข้อมูลของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้จำลองพลังงานโดยการอ้างอิงจากขนาดของอุปกรณ์ทำความเย็นของระบบปรับอากาศ VRF



#### 4.2.2.1 ระบบปรับอากาศ VRF ที่ติดตั้งในอาคาร

อาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา มีการใช้ระบบปรับอากาศ VRF อยู่ที่ชั้นลอย 2 ไปจนถึงชั้นที่ 19 ติดตั้งและใช้ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Daikin industries (Thailand) Ltd. [21] ซึ่งจะมีการกำหนดการจำลองพลังงานในโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus โดยขนาดการทำความเย็นของระบบ VRF และขนาดพื้นที่ที่มีการใช้งานของระบบปรับอากาศ VRF แสดงดังตารางที่ 4.2

ลักษณะ Specification ระบบปรับอากาศ VRF ที่มีการใช้ในระบบซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยทำงานภายนอก (Outdoor unit) และหน่วยทำงานภายใน (Indoor unit) รายละเอียดดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

จากตารางที่ 4.4 Outdoor units 1 ชุดตัวอย่างเช่น Outdoor unit รุ่น RXQ38PAHY1 จะประกอบไปด้วย Outdoor units รุ่น RXQ12PAY1+ RXQ12PAY1+ RXQ14PAY1 ซึ่งลักษณะของตัว Outdoor unit ในการใช้งานจริงมีลักษณะดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 รูปถ่ายลักษณะของตัว Outdoor units ของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

ตารางที่ 4.2 Specification ของ Outdoor unit ในระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

Model name		RXQ36PAHY1	RXQ38PAHY1
Combination units		3xRXQ12PAY1	2xRXQ12PAY1+ RXQ14PAY1
Cooling capacity (*1)(*2)	kW (*1)	102	108
	kW (*2)	101	107
Compressor	kW	$((1.8+4.5)\times 1)+((1.8+4.5)\times 1)+((1.8+4.5)\times 1)$	$((1.8+4.5)\times 1)+((1.8+4.5)\times 1)+((1.8+4.5+4.5)\times 1)$
Airflow rate	m <sup>3</sup> /min	233+233+233	233+233+233
Operation range	°CDB	-5 to 43	
Refrigerant	Type	R-410A	

Cooling capacity (\*1) Indoor Temp of 27 °CDB, 19.5 °CWB and Outdoor Temp of 35.0 °CDB

Cooling capacity (\*2) Indoor Temp of 27 °CDB, 19.0 °CWB and Outdoor Temp of 35.0 °CDB

ตารางที่ 4.3 Specification ของคอยล์เย็นหรือเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็กของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

Model name		FXFQ100PVE	FXFQ63PVE	FXFQ50PVE
Cooling capacity	Kcal/h (*1)	10,000	63,000	5,000
	Btu/h (*1)	39,600	24,900	19,800
	kW (*1)	11.6	7.3	5.8
	kW (*2)	11.2	7.1	5.6
Power consumption (Cooling)	kW	0.187	0.066	0.052
Airflow rate (HH/H/L)	m <sup>3</sup> /min	32/26/20	19/16.5/13.5	16/13.5/11

Cooling capacity (\*1) Indoor Temp of 27 °CDB, 19.5 °CWB and Outdoor Temp of 35.0 °CDB

Cooling capacity (\*2) Indoor Temp of 27 °CDB, 19.0 °CWB and Outdoor Temp of 35.0 °CDB

ซึ่งลักษณะของตัว Indoor Units ในการใช้งานจริงภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา มีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ลักษณะของตัว Indoor Units ของระบบปรับอากาศ VRF ที่ใช้ภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

ซึ่งสามารถสรุปขนาดพื้นที่ปรับอากาศและขนาดของระบบปรับอากาศ VRF ที่การใช้งานจริงในแต่ละชั้นภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งเป็นค่าผลรวม cooling capacity ของคอยล์เย็นที่มีการใช้งานในพื้นที่ทั้งหมดของชั้นแต่ละชั้น

ตารางที่ 4.4 พื้นที่ปรับอากาศและขนาดของระบบปรับอากาศ VRF ที่การใช้งานจริงในแต่ละชั้น  
ภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

ชั้น	พื้นที่ที่ใช้ในการปรับอากาศ	ขนาดพื้นที่ ต่อชั้น (ตรม.)	VRF Cooling Capacity (BTU)
M2-2	ห้องคอมพิวเตอร์และห้องสมุด	756.95	673,200
3	ห้องสัมมนาย่อย 12 คน (9 ห้อง)	383.88	366,600
	ห้องสัมมนาย่อย 20 คน (5 ห้อง)	413.34	396,000
4-6	ห้องบรรยาย 60 คน (24 ห้อง)	3x728.99	3x715,200
7	ห้องเอนกประสงค์ 50 คน (2 ห้อง)	197.40	298,800
	ห้องเอนกประสงค์ 100 คน (1 ห้อง)	98.70	
8	ห้องเอนกประสงค์ 50 คน (2 ห้อง)	197.40	298,800
	ห้องเอนกประสงค์ 100 คน (1 ห้อง)	98.70	
10	สำนักงาน	770.54	712,800
11	สำนักงาน	770.54	712,800
12	สำนักงาน	770.54	712,800
13	สำนักงาน	770.54	712,800
14	สำนักงาน	770.54	712,800
15	สำนักงาน	770.54	712,800
16	สำนักงาน	770.54	673,200
17	สำนักงาน	636.48	673,200
18	สำนักงาน	636.48	633,600
19	สำนักงาน	636.48	633,600
Total Cooling Capacity			11,663,400

#### 4.2.2.2 การเลือกระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system เพื่อการเปรียบเทียบ

ในส่วนของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system นั้นซึ่งเป็นระบบปรับอากาศที่ไม่มีการติดตั้งใช้งานจริงภายในอาคาร โดยมีการคำนวณภาระความร้อนภายในอาคารรายละเอียดเพิ่มเติมแสดงดังภาคผนวกที่ ง.1 แต่เพื่อให้การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคารที่มีความเหมาะสมระหว่างระบบปรับอากาศ VRF และ Water cooled chiller system จึงได้มีการกำหนดขนาดของอุปกรณ์ภายในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system โดยอ้างอิงจากขนาดของอุปกรณ์ทำความเย็นในระบบปรับอากาศ VRF ที่มีการใช้งานจริงซึ่งได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

##### 4.2.2.2.1 การเลือกขนาดเครื่องทำน้ำเย็น

จากตารางที่ 4.2 ได้แสดงข้อมูลขนาดการทำความเย็นของระบบ VRF แล้วนั้นพบว่าผลรวมของการทำความเย็นในทุกชั้นนั้นมีค่าเท่ากับ 11,817,300 BTU หรือมีค่าเท่ากับ 984.78 ตัน ดังนั้นสามารถเลือกขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system มีขนาดเท่ากับ 400 ตัน จำนวน 3 ชั้น โดยใช้ข้อมูลเครื่องทำน้ำเย็นจากบริษัท Trane Thailand [22] ถึงแม้ว่าจะมีการเลือกใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็นทั้งหมด 3 ชั้นแล้วนั้นโดยจะกำหนดให้เครื่องทำน้ำเย็นมีการใช้งานพร้อมกัน 2 ชั้นและสำรองการใช้งาน 1 ชั้น

##### 4.2.2.2.2 การเลือกขนาดเครื่องส่งลมเย็น

การเลือกขนาดของเครื่องส่งลมเย็นนี้จะอ้างอิงจากขนาดของตัว Indoor Units ของระบบ VRF เช่นเดียวกัน โดยรายละเอียดของเครื่องส่งลมเย็นที่นำมาใช้ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในแต่ละชั้นนั้นใช้ข้อมูลเครื่องส่งลมเย็นจากบริษัท Trane Thailand [23], [24] [25], [26] ซึ่งจะขนาดการทำความเย็นและความเร็วลมที่ใกล้เคียงกันมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.5

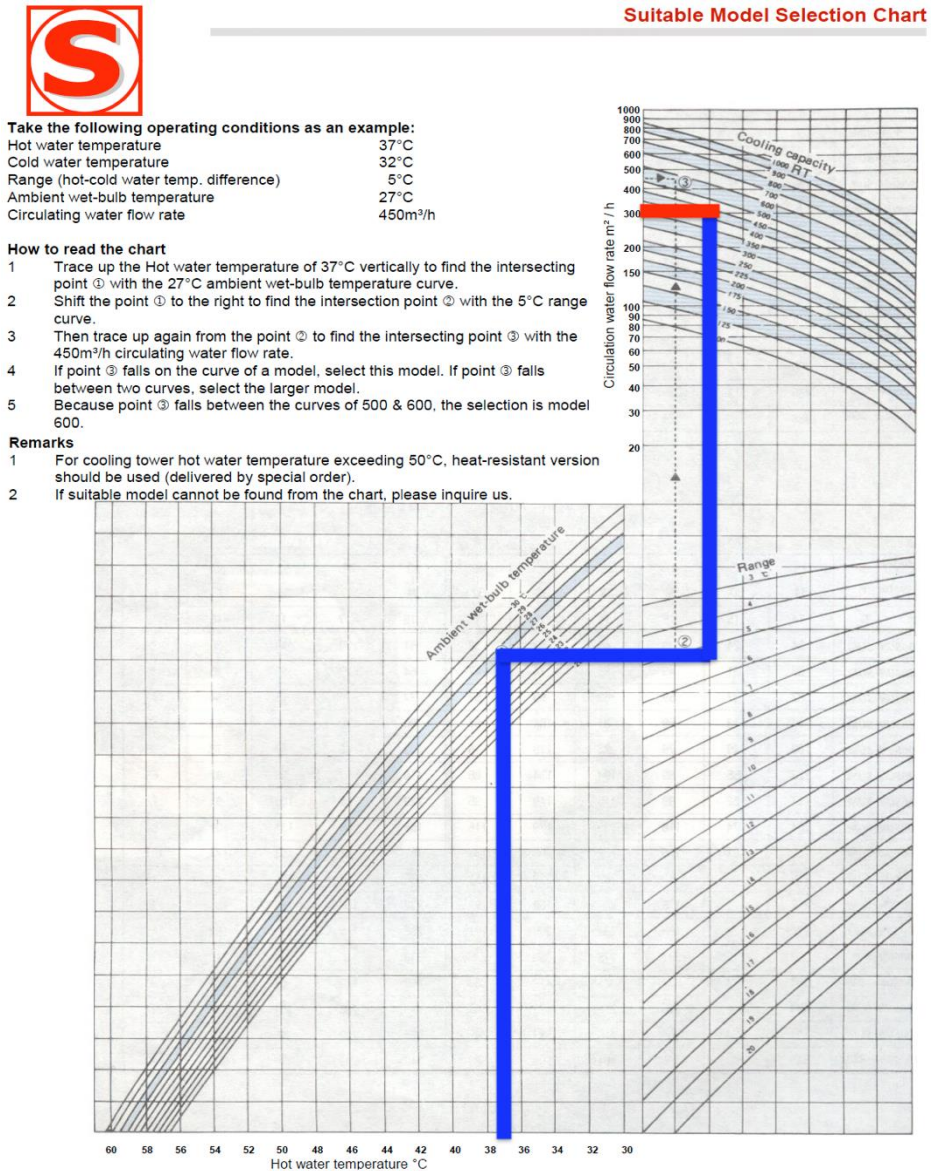
ตารางที่ 4.5 ขนาดและอัตราการไหลของน้ำเย็นสำหรับเครื่องส่งลมเย็นที่ใช้ในแบบจำลอง

ชั้น	VRF system		Water cooled chiller system		
	indoor cooling capacity (ตัน)	Indoor air flow (m <sup>3</sup> /s)	AHU cooling capacity (ตัน)	AHU air flow (m <sup>3</sup> /s)	Water flow rate (gpm)
ลอย 2	54.14	7.361	56.02	8.750	134.44
2	54.14	7.361	56.02	8.750	134.44
3 โซน 1	31.85	4.330	30.42	4.970	73.02
3 โซน 2	29.52	4.014	30.42	4.970	73.02
4-6	3x(4x14.44)	3x(4x1.966)	3x(4x14.57)	3x(4x2.360)	3x(4x43.57)
7	24.23	3.300	23.33	4.360	56.00
8	24.23	3.300	23.33	4.360	56.00
10	57.32	7.794	56.02	8.750	134.44
11	57.32	7.794	56.02	8.750	134.44
12	57.32	7.794	56.02	8.750	134.44
13	57.32	7.794	56.02	8.750	134.44
14	57.32	7.794	56.02	8.750	134.44
15	57.32	7.794	56.02	8.750	134.44
16	54.14	7.412	55.00	8.530	131.90
17	47.77	6.580	45.50	7.400	109.21
18	50.95	6.996	50.90	8.260	122.10
19	50.95	6.996	50.90	8.260	122.10

#### 4.2.2.2.3 การเลือกขนาดหอทำความเย็น

การเลือกขนาดของหอทำความเย็นนั้นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของเครื่องทำน้ำเย็นเลือกขนาดของหอทำความเย็น ซึ่งเครื่องทำน้ำเย็นมีขนาด 400 ตัน มีอัตราการไหลของน้ำจาก Specification ในฝั่งของ Condenser อยู่ที่ 1200 GPM หรือมีค่าเท่ากับ 327.32 m<sup>3</sup>/h ต่อ 1 ชั้น มีอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของ Condenser มีค่าเท่ากับ 32.2 C และ 37.3 C ตามลำดับ นอกจากนี้ได้กำหนดข้อมูลอุณหภูมิกระเปาะเปียกอากาศเท่ากับ 26.67 องศาเซลเซียสด้วยเช่นกัน เมื่อนำข้อมูลดังที่ได้กล่าวไปเลือกขนาดของหอทำความเย็นจากบริษัท Super tower industries [27] จะได้ขนาดของหอทำ

ความเย็นมีค่าเท่ากับ 450 ตัน ต่อ 1 ชั้น แสดงวิธีการเลือกดังรูปที่ 4.5 จากจำนวนของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีจำนวน 3 ชั้นแล้วนั้นจึงได้กำหนดให้หอทำความเย็นมีจำนวน 3 ชั้นเช่นเดียวกัน

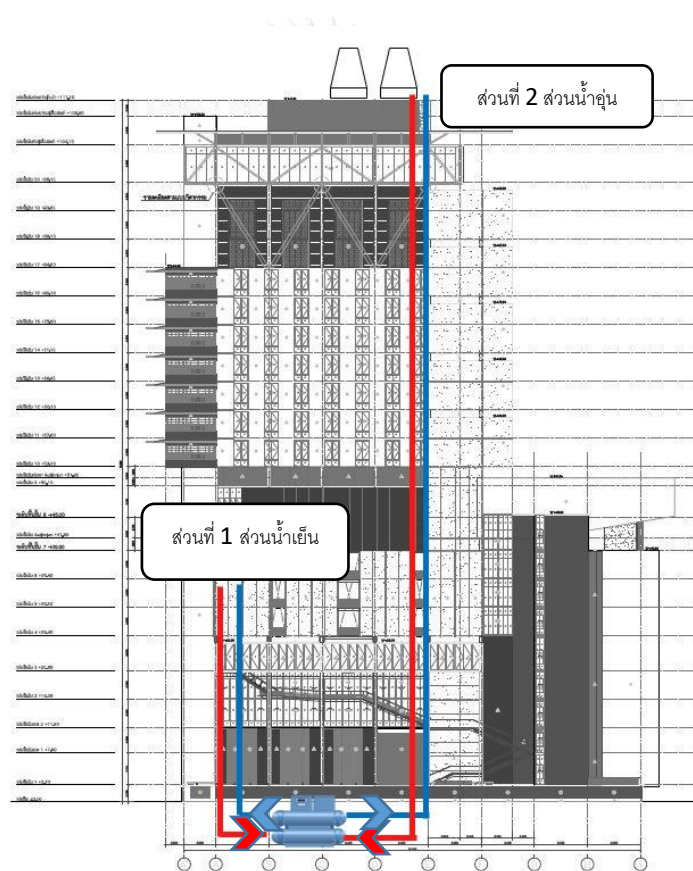


รูปที่ 4.5 การเลือกขนาดของหอทำความเย็นสำหรับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในแบบจำลอง [27]

#### 4.2.2.2.4 การเลือกขนาดปั้มน้ำ

ปั้มน้ำที่ต้องใช้ภายในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system นั้นจะประกอบ 2 ส่วนโดยส่วนที่ 1 คือส่วนที่ปั้มน้ำใช้ในการส่งน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็นและส่วนที่ 2 คือส่วนที่ปั้มน้ำใช้ในการส่งน้ำอุ่นไปยังหอทำความเย็น โดยรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงการเดินทางของน้ำเย็นและ

น้ำอุ่นเทียบเคียงกันในลักษณะเดียวกัน ซึ่งรูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งที่วางของเครื่องทำน้ำเย็น, หอทำความเย็น, ท่อน้ำเย็นและน้ำอุ่น และรูปที่ 4.7 แผนภาพทิศทางการไหลของน้ำเย็นและน้ำอุ่นจากปั๊มน้ำไปยังอุปกรณ์ภายในระบบปรับอากาศ โดยเส้นสีน้ำเงินแสดงถึงการไหลของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็น เส้นสีแดงแสดงถึงการไหลของน้ำที่กลับเข้าเครื่องทำน้ำเย็นโดยใช้ปั๊มน้ำทำการเพิ่มแรงดันของน้ำให้ไหลไปยังตำแหน่งที่ต้องการ และเส้นสีเขียวในรูปที่ 4.7 แสดงถึงอุปกรณ์ทำความเย็นที่ใช้ภายในอาคารโดยเครื่องทำน้ำเย็นอยู่ที่ชั้นใต้ดิน หอทำความเย็นอยู่ที่ชั้นดาดฟ้าและเครื่องส่งลมเย็นอยู่ในแต่ละชั้นของอาคาร

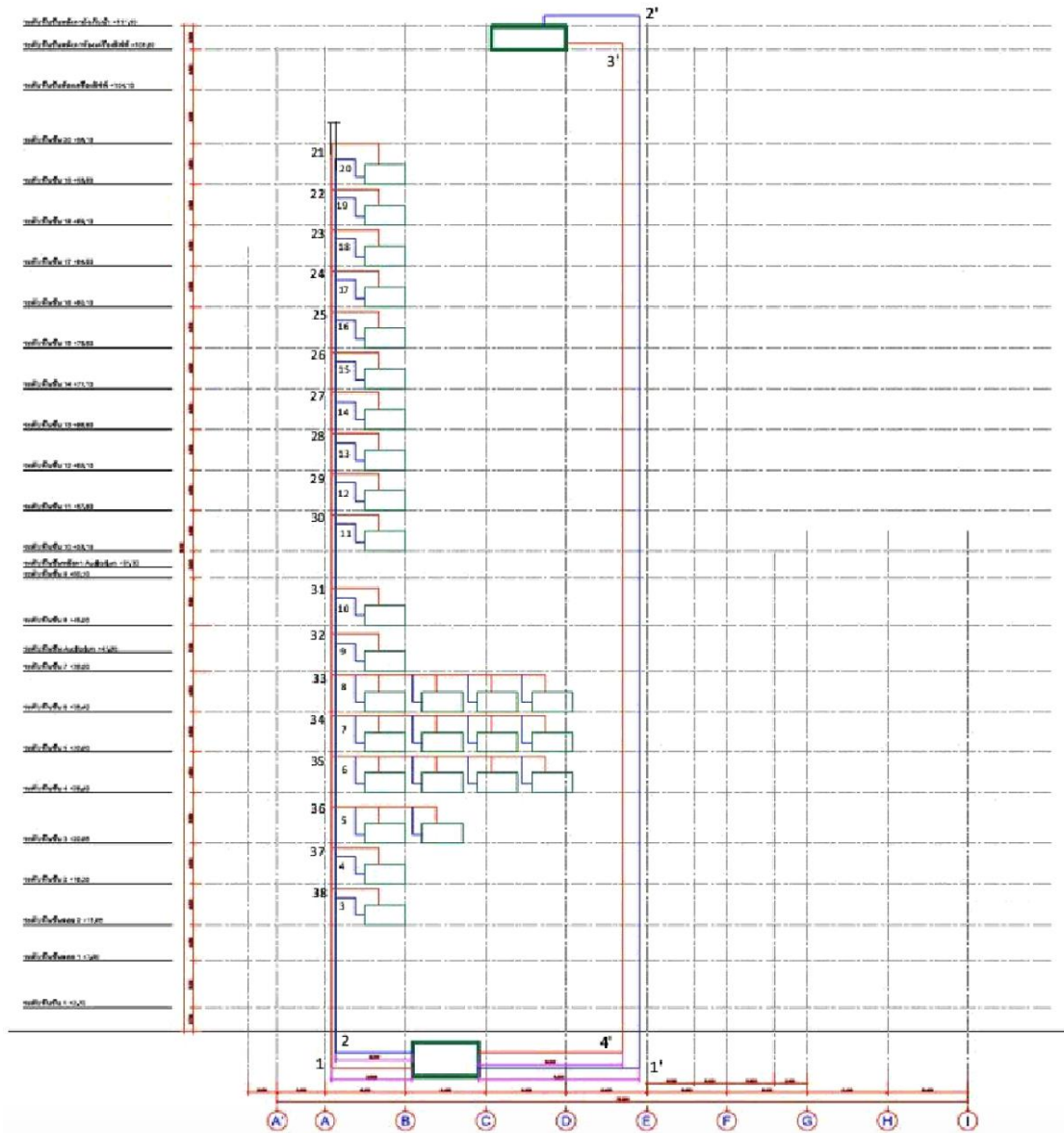


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะการไหลของน้ำที่ออกจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยังเครื่องส่งลมเย็นและหอทำความเย็น

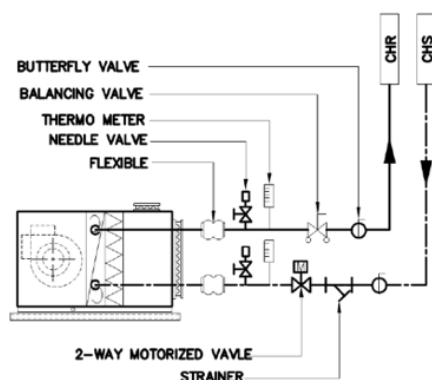
การคำนวณหาขนาดของปั๊มน้ำนั้นจำเป็นต้องคำนวณค่าเฮดของปั๊มของทั้งระบบ ในการหาเฮดปั๊มนั้นจำเป็นต้องทราบแรงเสียดทานของท่อตรง, วาล์ว, ข้อต่อและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไม่ว่าจะเป็นเครื่องทำน้ำเย็น หอทำความเย็นและเครื่องส่งความเย็น รายละเอียดของลักษณะการติดตั้งวาล์วของ



เครื่องส่งลมเย็นแสดงดังรูปที่ 4.8 รายละเอียดลักษณะท่อและวาล์วของเครื่องทำความเย็น, หอทำความเย็นและปั้มน้ำดังรูปที่ 4.9

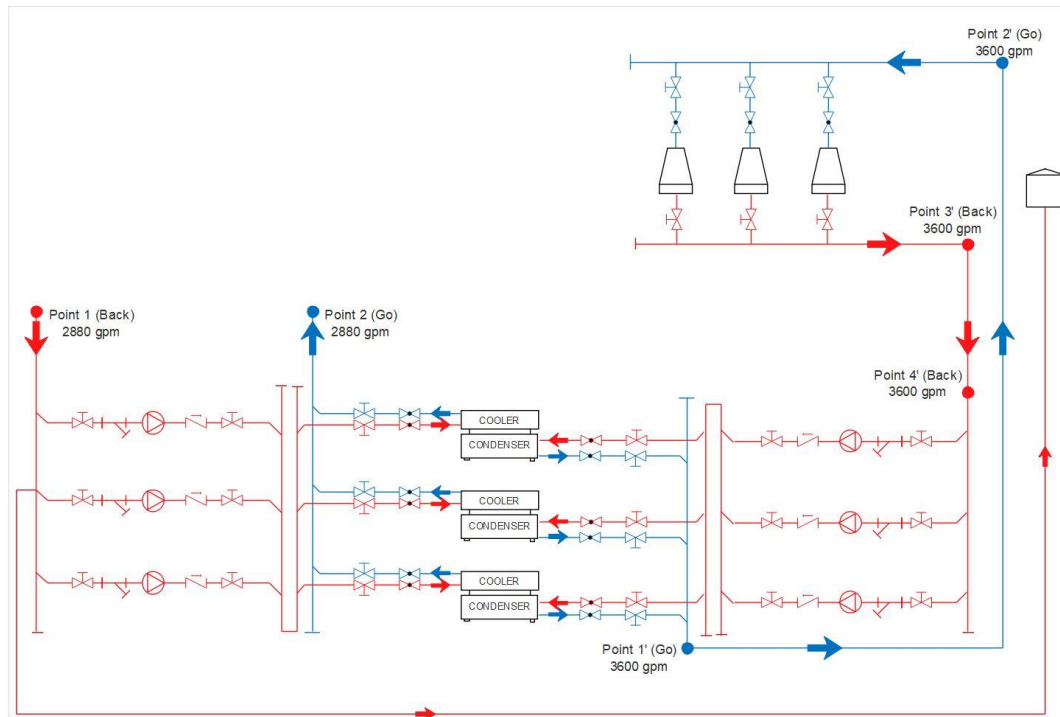


รูปที่ 4.7 แผนภาพทิศทางการไหลของน้ำเย็นและน้ำอุ่นจากปั้มน้ำสำหรับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในแบบจำลอง



รูปที่ 4.8 ลักษณะการติดตั้งวาล์วของเครื่องส่งลมเย็น [11]

โดยการหาแรงเสียดทานที่เกิดจากท่อตรงนั้นสามารถหาได้จากขนาดของท่อน้ำ โดยการหาขนาดของท่อน้ำต้องพิจารณาในเรื่องของอัตราการไหลของน้ำ, ความเร็วของน้ำในท่อซึ่งจะต้องไม่เกิน 10 ft.wg/100 ft โดยใช้แผนภูมิแรงเสียดทานท่อเหล็ก Schedule 40 รูปแบบ close system สำหรับท่อน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นดังรูปที่ ก.1 และรูปแบบ open system สำหรับท่อน้ำอุ่นของหอทำความเย็นดังรูปที่ ก.2 ในส่วนของการหาแรงเสียดทานที่วาล์ว, ข้องอและข้อต่อต่างๆ นั้นจะใช้วิธี Equivalent length ซึ่งเป็นวิธีที่เทียบเท่าค่าแรงเสียดทานของวาล์ว, ข้องอและข้อต่อต่างๆ เทียบเท่ากับแรงเสียดทานของท่อตรง แสดงดังรูปที่ ก.3 และในส่วนแรงเสียดทานของอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็นเครื่องทำน้ำเย็น, หอทำความเย็นและเครื่องส่งลมเย็นนั้นต้องอาศัยข้อมูลจากผู้ผลิตที่ได้ให้มาจากแคตตาล็อก



รูปที่ 4.9 ลักษณะท่อและวาล์วของเครื่องทำความเย็น, หอทำความเย็นและปั๊มสำหรับระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในแบบจำลอง

จากการคำนวณพบว่าปั๊มที่ต้องใช้ในส่วนเครื่องทำน้ำเย็นมีทั้งหมด 3 ชั้นมีค่าเฮดเท่ากับ 65.40 ft.wg มีอัตราการไหล 960 gpm ต่อปั๊ม 1 ชั้นและปั๊มที่ต้องใช้ในส่วนหอทำความเย็นมีทั้งหมด 3 ชั้นมีค่าเฮดเท่ากับ 62.80 ft.wg มีอัตราการไหล 1200 gpm ต่อปั๊ม 1 ชั้น เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดไปเปิดแคตตาล็อกของบริษัท Grundfos [28] แล้วนั้นจะได้ปั๊มขนาด 17.13 kW ต่อ 1 ชั้นสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น และปั๊มขนาด 20.67 kW ต่อ 1 ชั้น สำหรับหอทำความเย็น รายละเอียดการคำนวณแสดงดังตารางที่ ก.1 และ ก.2

จากการคำนวณขนาดอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องใช้ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system นั้นสามารถสรุปจำนวนอุปกรณ์และขนาดของอุปกรณ์ทั้งระบบได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 จำนวนและขนาดของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system

อุปกรณ์	จำนวน (ชิ้น)	ขนาดของอุปกรณ์ต่อชิ้น
เครื่องส่งลมเย็น	รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.5	
เครื่องทำน้ำเย็น	3	400 ตัน
หอทำความเย็น	3	450 ตัน
ปั๊มสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น	3	17.13 kW
ปั๊มสำหรับหอทำความเย็น	3	20.67 kW

#### 4.2.2.2.5 ระบบการทำงานของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system

ในการจำลองการใช้พลังงานนั้นระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system นั้นจะมีการกำหนดลักษณะการทำงานเป็น 2 ลักษณะคือลักษณะของ Optimal และ Uniform load โดยลักษณะของ Optimal นั้นจะเป็นลักษณะการทำน้ำเย็นของ Chiller โดยจะทำงานให้เต็มภาระการทำงานในตัวแรกก่อนเพื่อประสิทธิภาพการทำงานที่สูงที่สุด ตัวอย่างเช่นเมื่อ Chiller มีภาระการทำงานมากกว่า Chiller ชิ้นแรกจะทำงานได้ Chiller ชิ้นที่สองจึงเริ่มทำงานเพื่อช่วยในการผลิตน้ำเย็นต่อไป ในขณะที่ลักษณะของ Uniform load จะเป็นลักษณะการทำงานในทางปฏิบัติที่มีการใช้ทั่วไปของ Chiller โดยในลักษณะของ Uniform load นี้จะมีการแบ่งภาระการทำงานของ Chiller ในระบบทำงานใกล้เคียงกันทุกตัว

นอกจากนี้แล้วยังได้กำหนดลักษณะการทำงานของปั๊มน้ำในระบบ Water cooled chiller system ออกเป็นอีกสองลักษณะคือลักษณะ Constant pump และลักษณะของ Variable pump โดยลักษณะของ Constant pump นั้นจะมีการปั๊มน้ำที่มีอัตราการไหลคงที่ ในขณะที่ Variable pump จะมีการปั๊มน้ำที่แปรผันกับภาระความร้อนของอาคาร

จากที่ได้กล่าวมานั้นจะทำการกำหนดลักษณะการใช้งานของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบดังต่อไปนี้

- 1) ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Uniform load และปั๊มน้ำทำงานแบบ constant flow โดยลักษณะดังกล่าวนี้เรียกเป็นชื่อใหม่ว่า Chiller type 1
- 2) ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Uniform load และปั๊มน้ำทำงานแบบ variable flow โดยลักษณะดังกล่าวนี้เรียกเป็นชื่อใหม่ว่า Chiller type 2

3) ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Optimal และปั๊มน้ำทำงานแบบ constant flow โดยลักษณะดังกล่าวนี้เรียกเป็นชื่อใหม่ว่า Chiller type 3

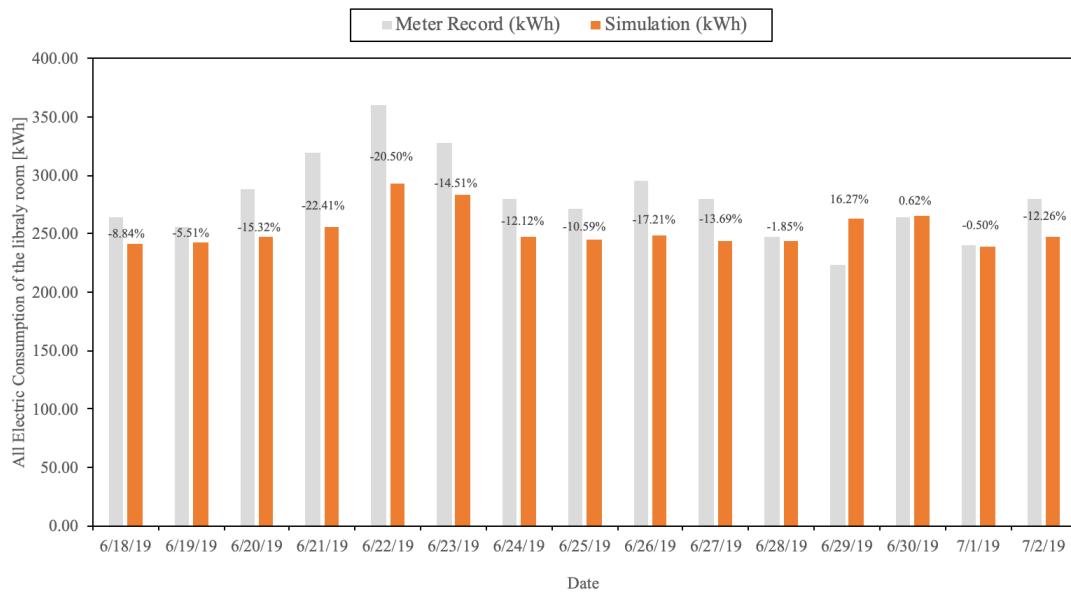
4) ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Optimal และปั๊มน้ำทำงานแบบ variable flow โดยลักษณะดังกล่าวนี้เรียกเป็นชื่อใหม่ว่า Chiller type 4

จากทั้ง 4 รูปแบบที่ได้กล่าวมานั้นจะนำไปจำลองการใช้พลังงานเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศ VRF ในเงื่อนไขการใช้งานภายในอาคารในรูปแบบที่แตกต่างกันไป โดยระบบปรับอากาศ VRF ที่จะนำไปจำลองการใช้พลังงานนั้นไม่ได้มีกำหนดรูปแบบที่หลากหลายเหมือนกับระบบ Water cooled chiller system เนื่องจากระบบปรับอากาศ VRF ที่ได้ใช้งานในอาคารนั้นมีการใช้งานในรูปแบบทั่วไปในลักษณะแต่ละชั้นอยู่แล้ว

#### 4.2.3 การตรวจสอบความถูกต้องในการตั้งค่าโปรแกรมก่อนนำไปจำลองการใช้พลังงาน

การในจำลองพลังงานนั้นเพื่อให้ได้ผลการจำลองพลังงานที่มีความน่าเชื่อถือจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ก่อนที่จะนำไปใช้คำนวณพลังงานภายในโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus ซึ่งในการตรวจสอบความถูกต้องนั้น จะทำการนำข้อมูล Specification ของระบบปรับอากาศ VRF ที่มีการใช้งานจริงไปใช้เพื่อให้ได้ค่าที่คิดจากโปรแกรมใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดโดยข้อมูลที่จะนำมาเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่น่าเชื่อถือ นั่นคือค่าใช้ไฟฟ้าของพื้นที่นั้น โดยพื้นที่ที่จะนำไปตรวจสอบความถูกต้องนั้นจะเป็นในส่วนห้องสมุดของชั้นลอยที่ 2 เนื่องจากห้องสมุดมีการใช้พลังงานไฟฟ้าประจำวันจันทร์ถึงวันศุกร์ในช่วงเวลา 9:00 - 17:00 น. และวันเสาร์ถึงวันอาทิตย์ในช่วงเวลา 9:00 - 18:00 น. ซึ่งจะง่ายต่อการนำไปตรวจสอบความถูกต้อง ในการตรวจสอบความถูกต้องนั้นจะทำการบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมจากมิเตอร์ในช่วงวันที่ 18 มิถุนายน 2562 ถึงวันที่ 2 กรกฎาคม 2562 ซึ่งค่าจากหน่วยวัดมิเตอร์ไฟฟ้าเป็นผลรวมหน่วยใช้ไฟฟ้ารวมทั้งพื้นที่โดยประกอบด้วยการใช้ไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศและเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดอื่นๆรวมกันในพื้นที่นั้นๆ โดยจะบันทึกแยกรายละเอียดเป็นรายวันและใช้ข้อมูลสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครในช่วงเวลาเดียวกันโดยข้อมูลได้มาจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ค่าไฟฟ้ารวมจากมิเตอร์ประกอบไปด้วยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศ, การใช้พลังงานไฟฟ้าจากหลอดไฟและการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าในพื้นที่ห้องสมุดโดยอ้างอิงจากภาระความร้อนภายในจากหัวข้อที่ 4.2.1



รูปที่ 4.10 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมรายวันของห้องสมุดในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในช่วงวันที่ 18 มิถุนายน 2562 ถึง 2 กรกฎาคม 2562

จากการใช้งานจริงของระบบปรับอากาศ VRF ที่ห้องสมุดพบว่าการกำหนดให้อุณหภูมิห้องมีค่าเท่ากับ  $25^{\circ}\text{C}$  และระดับความเร็วของลมมีค่าเท่ากับ  $26 \text{ m}^3/\text{min}$  ต่อการใช้งาน indoor unit 1 ชั้น พบว่าผลการจำลองพลังงานในรูปที่ 4.10 พบว่าผลการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมจากการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศ VRF นั้นมีเปอร์เซ็นต์แตกต่างกับค่าที่บันทึกจากมิเตอร์ไฟฟ้าเฉลี่ย 9.23%

## บทที่ 5 ลักษณะการใช้งานภายในอาคารเพื่อใช้ในเปรียบเทียบการจำลองพลังงาน

ในหัวข้อนี้จะทำการอธิบายข้อมูลและข้อกำหนดต่างๆ ก่อนที่จะนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการจำลองการใช้พลังงานซึ่งจะมีผลศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศต่อไปในบทที่ 6 โดยข้อมูลที่จะทำการกำหนดก่อนที่จะนำไปจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus และ Openstudio มีสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้มีการใช้ภาระความร้อนภายในอาคาร เช่น ผู้ใช้งานในอาคาร, แสงสว่าง, การระบายอากาศภายในและอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังหัวข้อที่ 4.2.1

2. ใช้ข้อมูลสภาพอากาศตลอดทั้งปี 2561 ของจังหวัดกรุงเทพมหานครซึ่งข้อมูลได้มาจากกรมอุตุนิยมวิทยา

3. กำหนดให้มีการไหลรั่วของอากาศให้มีค่าเท่ากับ 0.0002 Flow/Exterior Surface Area ตลอดเวลาภายในพื้นที่ของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

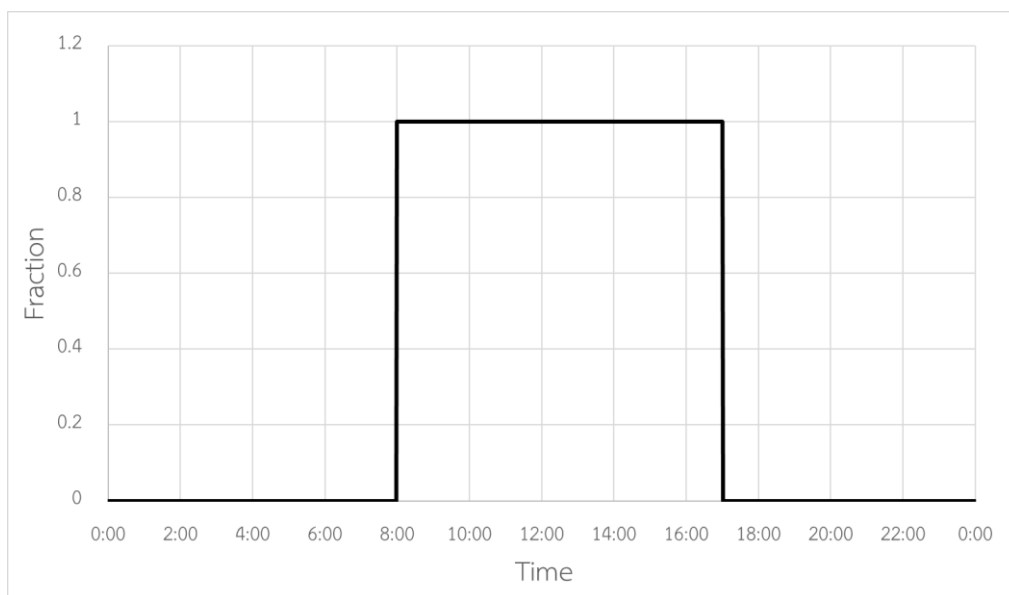
4. ไม่ควบคุมความชื้นที่อยู่ในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

5. กำหนดให้มีช่วงเวลาการใช้งานภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา และระบบปรับอากาศทุกชั้นของอาคารในช่วงเวลา 8:00-17:00 น. ในวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ปิดการใช้งานภายในอาคารและระบบปรับอากาศในช่วงเวลาเสาร์อาทิตย์

นอกจากนี้แล้วงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดลักษณะการใช้งานภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษาเพื่อศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะการใช้งานต่าง ๆ โดยจะกำหนดรูปแบบการจำลองที่ต่างกัน 3 รูปแบบมีรายละเอียดต่อไปนี้

### 5.1 กำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

กำหนดให้มีการใช้งานภายในอาคารเช่น คนที่อยู่ภายในอาคาร, แสงสว่าง, การระบายอากาศภายใน, อุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบปรับอากาศมีการใช้งานในทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ดังรูปที่ 5.1 เพื่อที่จะทราบว่าในแต่ละระบบปรับอากาศแต่ละชนิดนั้นมีการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างไรในสถานะที่มีการใช้งานของระบบปรับอากาศทั้งอาคาร



รูปที่ 5.1 ตารางการใช้งานของระบบปรับอากาศ, ผู้ใช้งานในอาคาร, แสงสว่าง, การระบายอากาศภายในและอุปกรณ์ไฟฟ้าในรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

## 5.2 กำหนดรูปแบบการใช้งานเพียงบางชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

กำหนดให้มีการใช้งานในบางชั้นของอาคารเพื่อที่จะศึกษาว่าขนาดของพื้นที่มีผลอย่างไรต่อระบบปรับอากาศในแต่ละชนิด ซึ่งพื้นที่ที่มีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศและการทำงานภายในอาคารบางชั้นที่ทำการศึกษามีรายละเอียดดังตารางที่ 5.1 โดยในแต่ละชั้นที่มีการใช้งานภายในอาคาร เช่น คนที่อยู่ภายในอาคาร, แสงสว่าง, การระบายอากาศภายใน, อุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบปรับอากาศ จะมีรูปแบบตารางการใช้งานตามรูปที่ 5.1 โดยให้การทำงานของปั้มน้ำทำงานที่อัตราการใช้และเฮดปั้มน้ำมีค่าเท่าเดิมจากที่ได้คำนวณในหัวข้อ 4.2.3.2.4 UNIVERSITY



ตารางที่ 5.1 จำนวนชั้นและขนาดของพื้นที่ที่มีการเปิดใช้งานในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษาสำหรับการศึกษาผลของขนาดพื้นที่ต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

จำนวนชั้นที่มีการเปิดใช้งาน ภายในอาคาร	ขนาดของพื้นที่ที่มีการเปิดใช้งาน ภายในอาคาร (m <sup>2</sup> )
ชั้นที่ 1-10	5,860.83
ชั้นที่ 1-11	6,631.37
ชั้นที่ 1-12	7,401.91
ชั้นที่ 1-13	8,172.45
ชั้นที่ 1-16	10,484.07
ชั้นที่ 1-19	12,393.51

หมายเหตุ ชั้นที่ 9 เป็นชั้นที่ไม่มีการใช้งานภายในและติดตั้งระบบปรับอากาศ

### 5.3 กำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นโดยปิดการใช้งานระหว่างวัน

กำหนดให้มีการใช้งานภายในอาคารเช่น ปริมาณคนที่อยู่ภายในอาคาร, การระบายอากาศ, แสงสว่าง, อุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบปรับอากาศมีการใช้งานในทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรชาดังรูปที่ 5.1 แต่จะมีช่วงเวลาที่ไม่ได้ใช้งานภายในอาคารระหว่างวันเพื่อที่จะต้องการทราบถึงการประหยัดพลังงานของแต่ละระบบปรับอากาศว่ามีความแตกต่างกันอย่างไรหากมีการปิดการใช้งานระหว่างวัน โดยช่วงเวลาที่มีการปิดใช้งานระหว่างวันแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ช่วงระยะเวลาในการปิดการใช้งานในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา สำหรับการศึกษาผลของการปิดการใช้งานระหว่างวัน

ช่วงเวลาที่ปิดการใช้งานระหว่างวัน	ระยะเวลา
12:15-12:45	30 นาที
12:00-13:00	1 ชั่วโมง
11:45-13:15	1 ชั่วโมง 30 นาที
11:30-13:30	2 ชั่วโมง
11:15-13:45	2 ชั่วโมง 30 นาที
11:00-14:00	3 ชั่วโมง

## บทที่ 6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารของ VRF และ Water cooled chiller system

งานวิจัยนี้จะเน้นการวิเคราะห์การใช้พลังงาน ซึ่งจะนำผลที่ได้จากการจำลองพลังงานไปวิเคราะห์ความแตกต่างของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศทั้งระบบ VRF และ Water cooled chiller system ทั้ง 4 รูปแบบการทำงานดังที่ระบุไว้ในหัวข้อ 4.2.2.3.5 มาเปรียบเทียบกับ โดยผลลัพธ์จากโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus ที่ทำการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

### 1) พลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศภายในอาคารลักษณะความถี่เป็นรายปี

เป็นผลการใช้พลังงานรวมของอาคารทั้งปี 2561 ในทุกระบบปรับอากาศโดยผลการใช้พลังงานดังกล่าวได้จาก output จากการจำลองการใช้พลังงานผ่านทุกรูปแบบของการใช้งานในหัวข้อ 5.1 ถึง 5.3 ด้วยโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus โดยกำหนดให้การใช้พลังงานรวมคือการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในทุกๆ ชั้นของระบบปรับอากาศชนิดนั้นๆ รวมกัน

### 2) การใช้พลังงานของอุปกรณ์รวมที่อยู่ในระบบปรับอากาศแต่ละชนิด

เป็นการสังเกตการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ไม่ว่าจะเป็นหอทำความเย็น, พัดลม, ปั๊มและเครื่องทำน้ำเย็นในลักษณะ Uniform load และ Optimal เทียบกับระบบปรับอากาศ VRF เพื่อเป็นการศึกษาว่าในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system นั้นใช้พลังงานในอุปกรณ์แต่ละส่วนเป็นอย่างไรโดยจะแสดงผลจากการจำลองพลังงานด้วยโปรแกรม Openstudio และ EnergyPlus เป็นรายปี

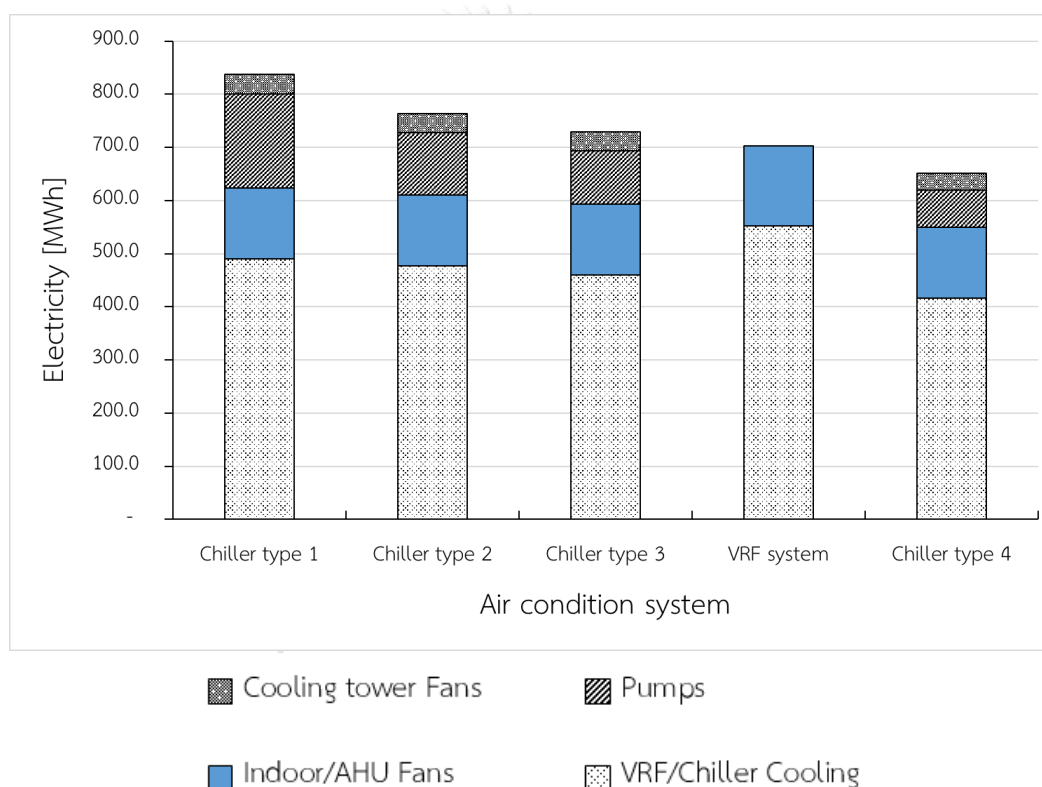
หัวข้อการวิเคราะห์พลังงานตามลักษณะการใช้งานภายในอาคารที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 5.1 ถึง 5.3 มีรายละเอียดดังนี้

### 6.1 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

จากรูปที่ 6.1 พบว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Uniform load และปั๊มน้ำทำงานแบบ constant flow (หรือเรียกว่า Chiller type 1) ใช้พลังงานรวมทั้งปี เยอะที่สุดรองลงมาเป็นระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Uniform load และปั๊มน้ำทำงานแบบ variable flow (หรือเรียกว่า Chiller type 2) ตามด้วยระบบระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Optimal และปั๊มน้ำทำงานแบบ constant flow (หรือเรียกว่า Chiller type 3) และระบบปรับอากาศ VRF ในขณะที่ระบบปรับ

อากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Optimal และปั๊มน้ำทำงานแบบ variable flow (หรือเรียกว่า Chiller type 4) มีการใช้พลังงานรวมทั้งปีน้อยที่สุด

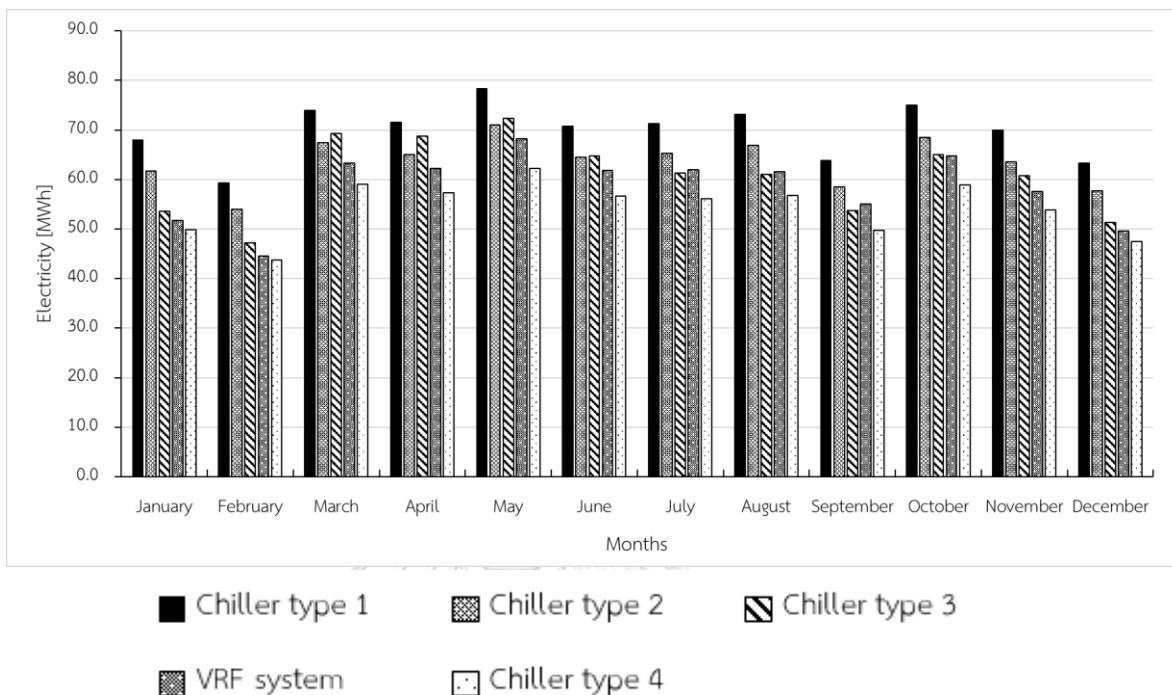
นอกจากนี้แล้วยังพบว่าการทำงานในลักษณะ Uniform load เป็นปัจจัยที่มีผลให้ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ใช้พลังงานเยอะกว่าการทำงานในลักษณะ Optimal และการทำงานของปั๊มน้ำในรูปแบบ Constant flow มีการใช้พลังงานมากกว่าปั๊มน้ำในรูปแบบ Variable flow อีกทั้ง จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าลักษณะการทำงานของระบบปรับอากาศมีผลต่อการใช้พลังงานมากกว่าการชนิดของปั๊มน้ำที่แตกต่างกัน



รูปที่ 6.1 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร

ระบบปรับอากาศ VRF มีการใช้พลังงานในการทำความเย็นทั้งปีเยอะกว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ของทุกๆ type แต่ในขณะเดียวกันนั้นระบบปรับอากาศ Chiller system type 1,2 และ 3 ก็ยังมีการใช้พลังงานรวมที่มากกว่าระบบปรับอากาศ VRF อยู่ดีเนื่องจากมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นมาจากปั๊มน้ำและพัดลมจาก Cooling tower แต่ระบบปรับอากาศ VRF ก็ยังมี

การใช้พลังงานรวมมากกว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 4 เนื่องจาก Chiller type 4 นั้นมีการทำงานแบบ Optimal และปั๊มน้ำแบบ Variable flow จึงทำให้ประหยัดการใช้พลังงานไปได้มากกว่า



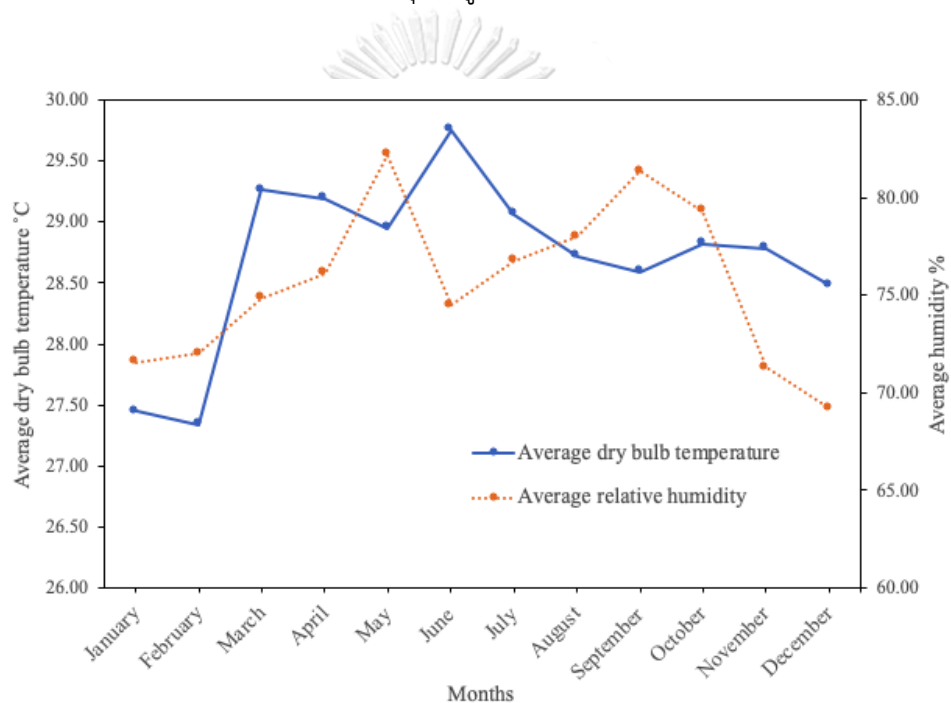
รูปที่ 6.2 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีรายเดือนภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร

จากที่ได้จำลองการใช้พลังงานตลอดทั้งปีแล้วนั้นเมื่อได้ทำการแยกผลการจำลองพลังงานออกเป็นรายเดือนดังรูปที่ 6.2 และรายละเอียดดังตารางที่ ก.5 ของแต่ละรูปแบบระบบปรับอากาศแล้วนั้นพบว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 1 ยังคงมีการใช้พลังงานสูงที่สุดในทุกๆเดือนเมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศชนิดอื่น

ในขณะที่เดียวกันนั้นพบว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 3 มีการใช้พลังงานรวมมากกว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 2 ในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน จากรูปที่ 6.3 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่อุณหภูมิกระเปราะแห้งเฉลี่ยมีค่าสูงในเดือนมีนาคมถึงมิถุนายนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุดในเดือนพฤษภาคมทำให้การทำงานของระบบปรับอากาศ Chiller type 3 ในลักษณะ Optimal เริ่มมีการทำงานของ Chiller ตัวที่สองเกิดขึ้นอีกทั้งยังมีการทำงานของปั๊มน้ำแบบ constant flow จึงทำให้ระบบปรับอากาศ Chiller type 3 ทำงานสูงขึ้นมากในช่วงเวลาดังกล่าว แต่เมื่อรวมผลการใช้พลังงานรวมทั้งปีแล้วระบบปรับอากาศ Chiller type 2 ยังคงมีการใช้

พลังงานรวมทั้งปีที่มีมากกว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 3 เนื่องจากระบบมีการทำงานในลักษณะ Uniform load ที่มีการจำนวนการทำงานของ Chiller ที่มากกว่า

นอกจากนี้แล้วระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Chiller type 4 มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดเป็นสองอันดับแรกจากการจำลองการใช้พลังงานรวมทั้งปีแต่เมื่อทำการแยกผลการจำลองการใช้พลังงานรวมออกมาเป็นรายเดือนพบว่าในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ระบบปรับอากาศ VRF จะใช้พลังงานน้อยกว่าเนื่องจากเป็นช่วงในฤดูหนาวซึ่งมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่น้อยลงจากรูปที่ 6.3 จึงทำให้เป็นที่สังเกตได้ว่าระบบปรับอากาศ VRF มีการใช้พลังงานรวมน้อยในช่วงสภาวะอากาศที่มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่ำ



รูปที่ 6.3 ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนของกรุงเทพมหานครในปี 2561

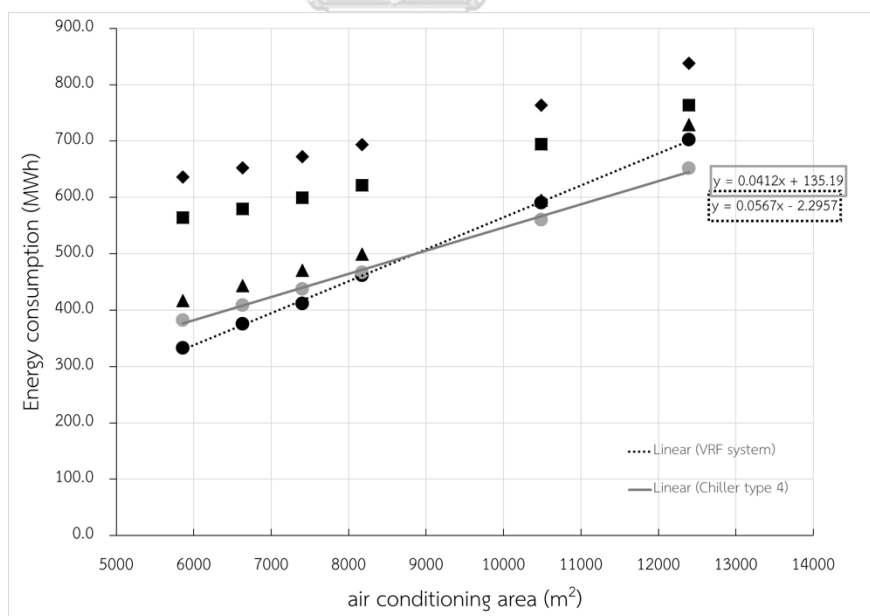
## 6.2 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานเพียงบางชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

ผลจากการจำลองพลังงานระหว่างระบบปรับอากาศ VRF และ Water cooled chiller system กำหนดให้มีการเปิดใช้ระบบปรับอากาศและการใช้งานภายในอาคารเพียงบางชั้นตามที่แสดงในตารางที่ 5.1 โดยที่ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในทุกรูปแบบนั้นจะมีการ

ปรับขนาดของ head ป้อนในส่วนของปั๊มน้ำที่ Chiller ให้สัมพันธ์กับพื้นที่ที่มีการใช้งานเพียงบางชั้น ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.2

รูปที่ 6.4 แสดงผลการจำลองพลังงานรวมโดยการใช้งานเพียงบางชั้นในแต่ละระบบปรับอากาศจะทำการพล็อตเป็นจุดโดยแต่ละจุดนั้นจะสัมพันธ์กับพื้นที่ที่มีการใช้งาน จะเห็นได้ว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 1 และ 2 มีการใช้พลังงานรวมเพียงบางชั้นเยอะกว่าระบบปรับอากาศชนิดอื่นอย่างชัดเจนและระบบปรับอากาศ Chiller type 3 มีการใช้พลังงานรวมเยอะรองลงมา

มีข้อสังเกตว่าสำหรับระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Chiller type 4 มีความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานเทียบกับขนาดพื้นที่ปรับอากาศค่อนข้างเป็นเส้นตรง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากความสามารถในการปรับการใช้พลังงานต่อภาระการทำงานที่ละเอียดกว่าของระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Chiller ที่ทำงานแบบ Optimal load และใช้ปั๊มแบบ variable flow ต่างจากระบบปรับอากาศแบบ Chiller type 1, 2 และ 3 ที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นขั้นกระโดด ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการเดินเครื่องแบบ Uniform load ของ Chiller type 1 และ 2 ที่ประสิทธิภาพการทำงานช่วงที่ทำงานไม่เต็มที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก และจากการที่การกำหนดลักษณะการเดินเครื่องปั๊มตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 5.1 ที่เป็นขั้นในกรณีของ Chiller type 1 และ 3



รูปที่ 6.4 ผลการจำลองพลังงานรวมของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา เพียงบางชั้นของอาคาร

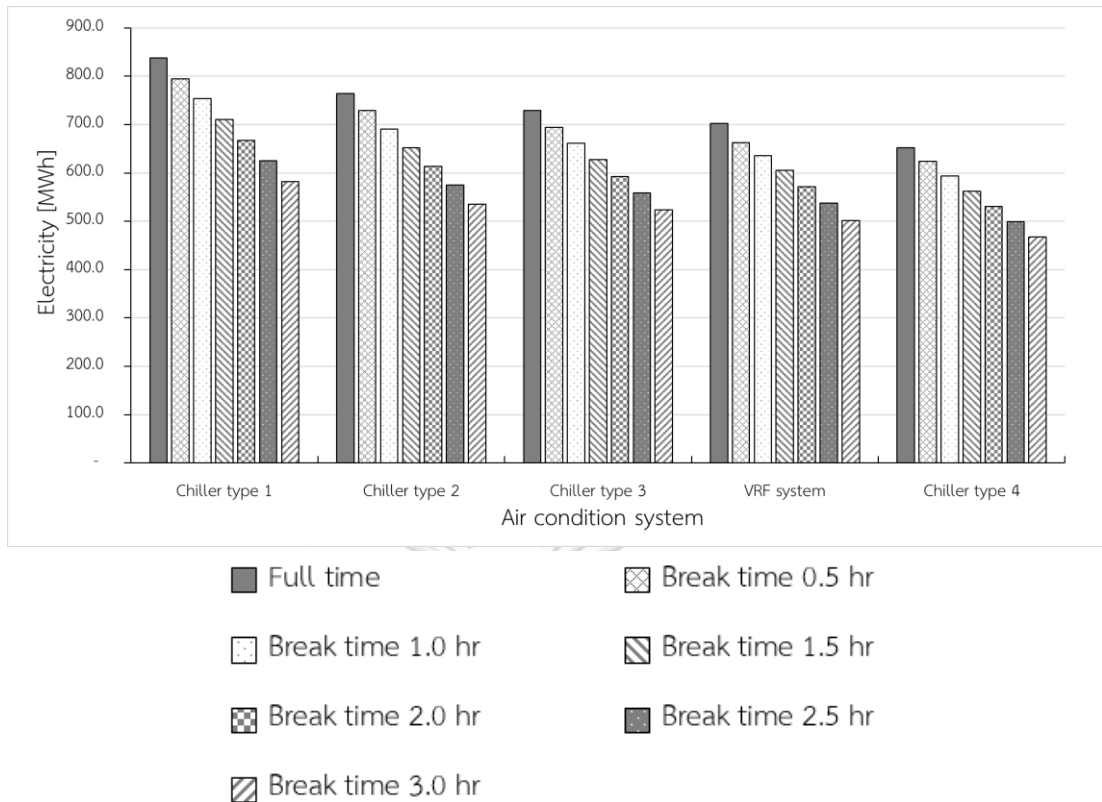
โดยสัญลักษณ์ ◆ แสดงถึง Chiller type 1, ■ แสดงถึง Chiller type 2, ▲ แสดงถึง Chiller type 3, ● แสดงถึง VRF system และ ● แสดงถึง Chiller type 4

นอกจากนี้จากรูปที่ 6.4 จะสังเกตเห็นจากกราฟเส้นตรงที่ประมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ VRF มีความชันมากกว่าของระบบปรับอากาศแบบ Chiller type 4 แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามผลของขนาดของพื้นที่ปรับอากาศมากกว่าจากการประมาณนี้จะเห็นว่า ถึงแม้ว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 4 มีการใช้พลังงานที่น้อยกว่าเมื่อมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศทั้งอาคาร แต่เมื่อมีการเปิดการใช้งานระบบปรับอากาศเพียงบางพื้นที่ในขนาดพื้นที่ที่น้อยกว่า 8,870.04 m<sup>2</sup> ระบบปรับอากาศ VRF จะใช้พลังงานรวมที่น้อยกว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 4 จึงอาจอนุมานได้ว่าสำหรับอาคารที่มีพื้นที่ปรับอากาศไม่ใหญ่มาก ระบบปรับอากาศ VRF อาจมีความเหมาะสมมากกว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 4

### 6.3 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นโดยปิดการใช้งานระหว่างวันของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา

จากที่ได้จำลองการใช้พลังงานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในหัวข้อที่ 6.1 แล้วนั้นในหัวข้อนี้ได้นำระบบปรับอากาศที่จำลองจากหัวข้อที่ 6.1 มาทำการปิดการใช้งานของระบบปรับอากาศในระหว่างวัน ซึ่งรายละเอียดการปิดการใช้งานระหว่างวันนั้นรายละเอียดได้กล่าวในหัวข้อที่ 5.3 โดยจากรูปที่ 6.5 พบว่าการปิดการใช้งานระหว่างวันทำให้สามารถลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละชนิดลดลงได้ ถ้าระยะเวลาในการปิดการใช้งานระหว่างวันมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้สามารถลดการใช้พลังงานได้มากขึ้นเช่นกัน

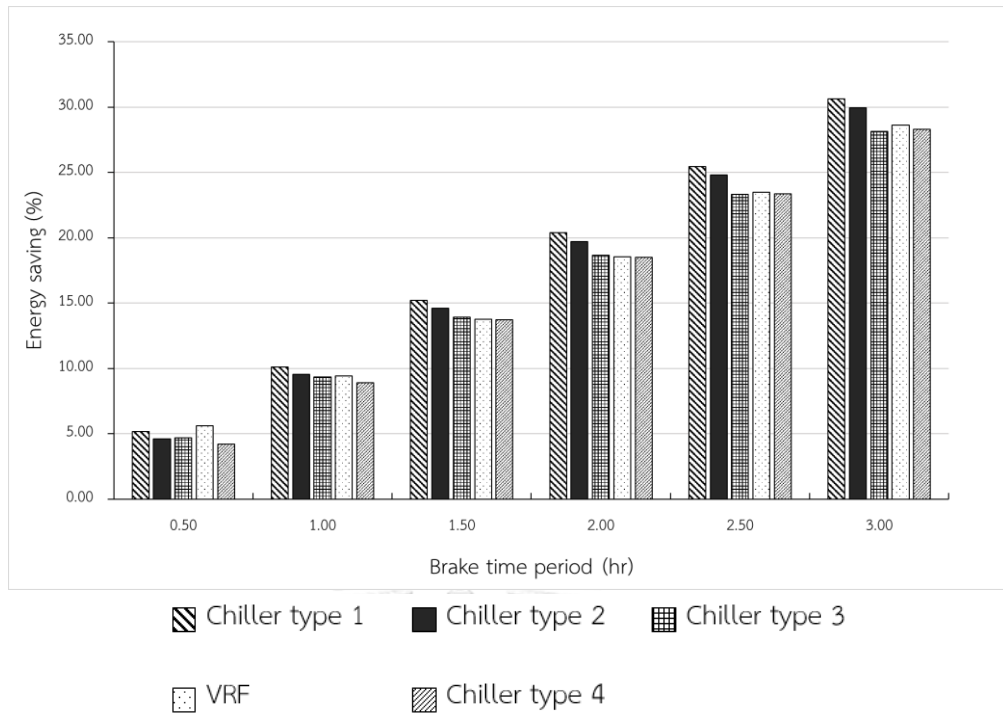
เมื่อทำการเปรียบเทียบในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน (Energy saving) ของระบบปรับอากาศที่ไม่ได้มีการปิดใช้งานระหว่างวันกับการปิดการใช้งานระหว่างวัน แสดงดังรูปที่ 6.6 พบว่าระบบปรับอากาศ VRF มีเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานมากที่สุดในช่วงเวลาที่มีการปิดใช้งาน 30 นาทีแรกคือ 5.63% แต่เมื่อมีการปิดการใช้งานระหว่างวันในระยะเวลาที่มากขึ้นพบว่าระบบปรับอากาศ Chiller type 1 มีเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานมากที่สุดในทุกๆระบบปรับอากาศ โดยช่วงเวลาปิดการใช้งาน 1 ชั่วโมงสามารถประหยัดพลังงานได้ 10.10%, 1 ชั่วโมง 30 นาทีสามารถประหยัดพลังงานได้ 15.21%, 2 ชั่วโมงสามารถประหยัดพลังงานได้ 20.39%, 2 ชั่วโมง 30 นาทีสามารถประหยัดพลังงานได้ 25.43% และช่วงเวลาปิดการใช้งาน 3 ชั่วโมงสามารถประหยัดพลังงานได้ 30.61% ตามลำดับ



รูปที่ 6.5 ผลการจำลองพลังงานจากการลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีโดยปิดใช้งานระหว่างวัน

นอกจากนี้ยังพบว่าระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะของ Uniform load จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าลักษณะของ Optimal เมื่อมีการปิดใช้งานระหว่างวัน ในทำนองเดียวกันนั้นปั๊มน้ำที่ใช้ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ไม่ว่าจะเป็นในลักษณะ Uniform load หรือ Optimal นั้นพบว่าปั๊มน้ำที่ทำงานแบบ Constant flow สามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าปั๊มน้ำที่ทำงานแบบ Variable flow เมื่อมีการปิดใช้งานระหว่างวัน





รูปที่ 6.6 กราฟเปอร์เซ็นต์การลดใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในแต่ละชนิดกับเวลาปิดการใช้งานระหว่างวันทุก 30 นาที

ในส่วน of ระบบปรับอากาศประเภทอื่นๆ นอกเหนือจากระบบปรับอากาศ Chiller type 1 นั้นเมื่อมีการปิดใช้งานระหว่างวันแล้วนั้นพบว่ามีการประหยัดพลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งภาพรวมของการปิดใช้งานระหว่างวันนั้นสามารถประหยัดพลังงานได้เกือบ 10% เมื่อมีการปิดการใช้งาน 1 ชั่วโมงสำหรับการเปิดการใช้งานระบบปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน

## บทที่ 7 สรุปผลการจำลองการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารของ VRF และ Water cooled chiller system

ผลจากการจำลองพลังงานจากบทที่ 6 พบว่าเมื่อมีการเปิดใช้งานระบบปรับอากาศในทุกชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Optimal และปั้มน้ำทำงานแบบ variable flow มีการใช้พลังงานรวมทั้งปีน้อยที่สุด ในขณะที่ระบบปรับอากาศ VRF มีการใช้พลังงานรวมทั้งปีน้อยเป็นลำดับรองลงมาและมีการใช้พลังงานในส่วนของการทำความเย็นมากที่สุด

สิ่งที่เป็ปัจจัยต่อการใช้พลังงานรวมทั้งปีของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system มากที่สุดคือลักษณะการทำงานโดยพบว่ลักษณะการทำงานแบบ Uniform load จะมีการใช้พลังงานรวมทั้งปีมากกว่าลักษณะการทำงานแบบ Optimal และปัจจัยรองลงมาคือการทำงานของปั้มน้ำโดยปั้มน้ำที่ทำงานแบบ Constant flow มีการใช้พลังงานที่มากกว่าแบบ Variable flow

ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ต่ำในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ส่งผลให้ระบบปรับอากาศ VRF มีการใช้พลังงานรวมทั้งปีน้อยที่สุดในทุกระบบปรับอากาศ อีกทั้งยังพบว่าเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายนมีผลต่อการใช้พลังงานรวมของระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Optimal และปั้มน้ำทำงานแบบ constant flow มากที่สุด

ในกรณีของการใช้งานระบบปรับอากาศเพียงบางชั้นของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา พบว่าระบบปรับอากาศที่มีการใช้พลังงานรวมน้อยกว่าระบบปรับอากาศในรูปแบบอื่นๆ คือระบบปรับอากาศ VRF และระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Optimal และปั้มน้ำทำงานแบบ variable flow ซึ่งทั้งสองระบบนี้มีการใช้พลังงานรวมทั้งปีใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการเปิดใช้งานเพียงบางชั้นของอาคารแล้วพบว่าระบบปรับอากาศ VRF มีการใช้พลังงานรวมทั้งปีน้อยกว่าเมื่อพื้นที่ที่มีการใช้งานของระบบปรับอากาศมีขนาดน้อยกว่า  $8,870.04 \text{ m}^2$

ในส่วนของการปิดการใช้งานระบบปรับอากาศระหว่างวันพบว่าในช่วงระยะเวลาปิดระหว่างวัน 30 นาที ระบบปรับอากาศ VRF มีเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานมากที่สุด แต่ในช่วงระยะเวลาปิดระหว่างวัน 1 ชั่วโมง, 1 ชั่วโมง 30 นาที, 2 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 30 นาทีและ 3 ชั่วโมงนั้นพบว่าระบบปรับอากาศระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ในลักษณะ Uniform load และปั้มน้ำทำงานแบบ constant flow มีเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงานมากต่อชั่วโมงที่ปิดการทำงานที่สุด

นอกจากการจำลองการใช้พลังงานระบบปรับอากาศทั้งสองระบบแล้วยังสามารถบอกได้ว่าระบบปรับอากาศ VRF นั้นเหมาะสำหรับอาคารที่มีการใช้งานในพื้นที่ที่เล็กลงเนื่องจากระบบปรับอากาศ VRF มีลักษณะการใช้งานที่มีความยืดหยุ่นมากกว่าแต่ในขณะเดียวกันระบบปรับอากาศ Water cooled chiller system ถ้ามีการจัดการการใช้งานของอุปกรณ์ที่ทำงานในระบบที่ดีและเหมาะสมกับสถานะของอาคารก็จะสามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน



## บรรณานุกรม

- [1] สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กระทรวงพลังงาน, หลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญ (อาคาร) หัวข้อเรื่องระบบปรับอากาศ
- [2] T. N. Aynur, "Variable refrigerant flow systems: A review," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 7, pp. 1106-1112, 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.01.024.
- [3] T. N. Aynur, Y. Hwang, and R. Radermacher, "Simulation comparison of VAV and VRF air conditioning systems in an existing building for the cooling season," *Energy and Buildings*, vol. 41, no. 11, pp. 1143-1150, 2009, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.05.011.
- [4] Y. P. Zhou, J. Y. Wu, R. Z. Wang, and S. Shiochi, "Energy simulation in the variable refrigerant flow air-conditioning system under cooling conditions," *Energy and Buildings*, vol. 39, no. 2, pp. 212-220, 2007, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.06.005.
- [5] Y. Li, J. Wu, and S. Shiochi, "Modeling and energy simulation of the variable refrigerant flow air conditioning system with water-cooled condenser under cooling conditions," *Energy and Buildings*, vol. 41, no. 9, pp. 949-957, 2009, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.04.002.
- [6] T. Hong, K. Sun, R. Zhang, R. Hinokuma, S. Kasahara, and Y. Yura, "Development and validation of a new variable refrigerant flow system model in EnergyPlus," *Energy and Buildings*, vol. 117, pp. 399-411, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.09.023.
- [7] D. Kim, S. J. Cox, H. Cho, and P. Im, "Evaluation of energy savings potential of variable refrigerant flow (VRF) from variable air volume (VAV) in the U.S. climate locations," *Energy Reports*, vol. 3, pp. 85-93, 2017, doi: 10.1016/j.egy.2017.05.002.
- [8] X. Yu, D. Yan, K. Sun, T. Hong, and D. Zhu, "Comparative study of the cooling energy performance of variable refrigerant flow systems and variable air volume systems in office buildings," *Applied Energy*, vol. 183, pp. 725-736, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.09.033.

- [9] S. Wang, "Energy modeling of ground source heat pump vs. variable refrigerant flow systems in representative US climate zones," *Energy and Buildings*, vol. 72, pp. 222-228, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.12.017.
- [10] รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลลวสาน, การปรับอากาศ *AIR-CONDITIONING*, 1 ed. กรุงเทพมหานคร: สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, 2561, p. 396.
- [11] นาย นพรัตน์ เกตุขาว, ระบบปรับอากาศและระบายอากาศ, 2 ed. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา, 2558, p. 348.
- [12] C. K. Chang, S. K. Fui, and N. W. Bin, "COMPARISON OF AIR-COOLED CHILLER, WATER-COOLED CHILLER AND HYBRID EVAPORATIVE AIR-COOLED CHILLER IN MALAYSIA – A REVIEW," *International Journal of Arts & Sciences*, vol. 6, pp. 337–355, 2013, doi: 10.1016/j.ijid.2008.05.1264.
- [13] M. J. Sebzali, H.J.Hussain, and B. Ameer, "Energy comparison between conventional and chilled water thermal storage air conditioning systems," 2010.
- [14] G. sastry, P. rumsey, and F. A. P.E., "VAV vs Radiant Side by side Comparison," *ASHRAE Journal*, pp. 16-24, 2014.
- [15] D. B. Crawley *et al.*, "EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program," *Energy and Buildings*, vol. 33, pp. 319-331, 2001.
- [16] "Openstudio 2.7.0 User Documentation." [Online]. Available: <http://nrel.github.io/OpenStudio-user-documentation/>
- [17] E. Documentation, *EnergyPlus Input Output Reference*. Washington, DC.: National Laboratory of the U.S. Department of Energy.
- [18] Daikin, "Technical data VRVIII cooling only system RXQ5-18P7Q1B(A)."
- [19] "SketchUp," 2017. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/sketchupvideo/Home/sketchup-getting-started-series>
- [20] "ASHRAE 2001 (American society of Heating, Refrigerating and Air condition Engineering) Fundamentals handbooks."
- [21] *VRV III The intelligent air conditionings system catalog document*, Siam Daikin Sales Co.,Ltd., 2017.
- [22] *TRANE Water-Cooled Series R(TM) Chiller*, Trane Thailand, 2019.
- [23] *Air Handling Units 6,000 - 20,000 CFM Model BDVA*, Trane Thailand, 2019.

- [24] *Double Skin Air Handling Units 1,000 - 58,000 CFM Model CLCP*, Trane Thailand, 2017.
- [25] *Air Handling Units 2,000 - 8,000 CFM Model BDHA*, Trane Thailand, 2019.
- [26] *Double Skin Air Handling Units 1,000 - 25,000 CFM Model LPCP*, Trane Thailand, 2017.
- [27] *COOLING TOWER MANUFACTURER*, SUPER TOWER INDUSTRIES, 2017.
- [28] *GrundFos Find product pump selection and solutions* [Online]. Available: <https://product-selection.grundfos.com/>.
- [29] "ASHRAE Fundamentals handbooks (Water/Steam Piping Design and Materials)."





ภาคผนวก ก. ข้อมูล Technical data สำหรับคอยล์ร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ  
VRF



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



### 3 Capacity tables

#### 3-1 Cooling capacity tables

##### RXQ12P

TC: Total capacity; kW; PI: Power Input; kW (compressor + outdoor fan motor)

Combination (%)	Capacity index (kW)	Outdoor air temp. °CDB	Indoor air temperature: °CWB													
			14.0		16.0		18.0		19.0		20.0		22.0		24.0	
			TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI
100	300 (33.50)	10	22.6	3.31	27.0	4.02	31.3	4.76	33.5	5.15	35.7	5.53	40.0	6.32	42.3	6.54
		12	22.6	3.37	27.0	4.09	31.3	4.85	33.5	5.24	35.7	5.64	40.0	6.44	41.8	6.51
		14	22.6	3.43	27.0	4.17	31.3	4.94	33.5	5.34	35.7	5.75	40.0	6.57	41.3	6.48
		16	22.6	3.50	27.0	4.25	31.3	5.04	33.5	5.45	35.7	5.86	39.9	6.65	40.7	6.58
		18	22.6	3.56	27.0	4.33	31.3	5.14	33.5	5.55	35.7	5.98	39.4	6.87	40.2	6.92
		20	22.6	3.63	27.0	4.42	31.3	5.29	33.5	5.83	35.7	6.40	38.8	7.20	39.6	7.26
		21	22.6	3.66	27.0	4.46	31.3	5.48	33.5	6.04	35.7	6.63	38.5	7.37	39.4	7.43
		23	22.6	3.76	27.0	4.76	31.3	5.87	33.5	6.48	35.7	7.11	38.0	7.71	38.8	7.77
		25	22.6	4.01	27.0	5.08	31.3	6.28	33.5	6.93	35.7	7.61	37.4	8.04	38.3	8.11
		27	22.6	4.28	27.0	5.42	31.3	6.71	33.5	7.41	35.7	8.15	36.9	8.38	37.7	8.45
		29	22.6	4.55	27.0	5.79	31.3	7.17	33.5	7.92	35.5	8.65	36.4	8.72	37.2	8.79
		31	22.6	4.84	27.0	6.17	31.3	7.65	33.5	8.45	35.0	8.98	35.8	9.06	36.6	9.14
		33	22.6	5.15	27.0	6.57	31.3	8.16	33.5	9.02	34.5	9.32	35.3	9.40	36.1	9.48
		35	22.6	5.48	27.0	6.99	31.3	8.70	33.5	9.62	33.9	9.66	34.7	9.75	35.5	9.83
		37	22.6	5.82	27.0	7.44	31.3	9.27	33.0	9.96	33.4	10.00	34.2	10.09	35.0	10.18
		39	22.6	6.18	27.0	7.91	31.3	9.87	32.4	10.30	32.8	10.3	33.6	10.4	34.4	10.5

##### RXQ14P

TC: Total capacity; kW; PI: Power Input; kW (compressor + outdoor fan motor)

Combination (%)	Capacity index (kW)	Outdoor air temp. °CDB	Indoor air temperature: °CWB													
			14.0		16.0		18.0		19.0		20.0		22.0		24.0	
			TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI	TC	PI
100	350 (40.00)	10	27.0	4.27	32.2	5.18	37.4	6.14	40.0	6.63	42.6	7.13	47.8	8.15	50.6	8.44
		12	27.0	4.35	32.2	5.28	37.4	6.25	40.0	6.76	42.6	7.27	47.8	8.31	49.9	8.39
		14	27.0	4.42	32.2	5.37	37.4	6.37	40.0	6.89	42.6	7.41	47.8	8.46	49.3	8.35
		16	27.0	4.51	32.2	5.48	37.4	6.50	40.0	7.02	42.6	7.55	47.6	8.58	48.6	8.49
		18	27.0	4.59	32.2	5.58	37.4	6.62	40.0	7.16	42.6	7.70	47.0	8.85	48.0	8.92
		20	27.0	4.68	32.2	5.69	37.4	6.82	40.0	7.52	42.6	8.25	46.3	9.3	47.3	9.4
		21	27.0	4.72	32.2	5.75	37.4	7.07	40.0	7.79	42.6	8.55	46.0	9.5	47.0	9.6
		23	27.0	4.85	32.2	6.13	37.4	7.57	40.0	8.35	42.6	9.16	45.4	9.9	46.3	10.0
		25	27.0	5.17	32.2	6.55	37.4	8.10	40.0	8.94	42.6	9.8	44.7	10.4	45.7	10.4
		27	27.0	5.51	32.2	6.99	37.4	8.65	40.0	9.6	42.6	10.5	44.1	10.8	45.0	10.9
		29	27.0	5.87	32.2	7.46	37.4	9.24	40.0	10.2	42.4	11.1	43.4	11.2	44.4	11.3
		31	27.0	6.25	32.2	7.95	37.4	9.9	40.0	10.9	41.8	11.6	42.8	11.7	43.7	11.8
		33	27.0	6.64	32.2	8.46	37.4	10.5	40.0	11.6	41.1	12.0	42.1	12.1	43.1	12.2
		35	27.0	7.06	32.2	9.01	37.4	11.2	40.0	12.4	40.5	12.5	41.5	12.6	42.4	12.7
		37	27.0	7.50	32.2	9.6	37.4	11.9	39.3	12.8	39.8	12.9	40.8	13.0	41.8	13.1
		39	27.0	7.96	32.2	10.2	37.4	12.7	38.7	13.3	39.2	13.3	40.2	13.5	41.1	13.6

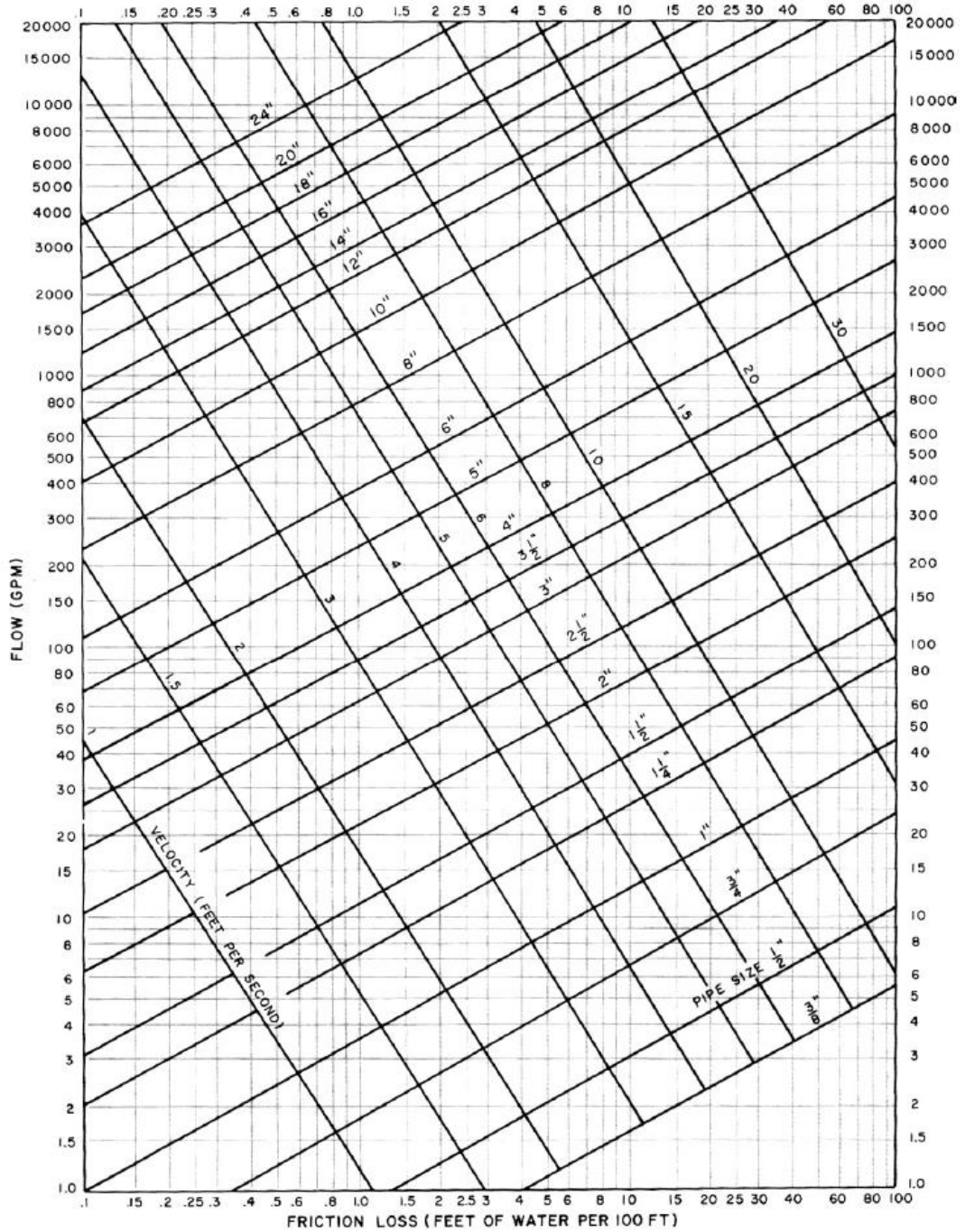
ก.1 Technical data สำหรับคอยล์ร้อนสำหรับระบบปรับอากาศ VRV

ภาคผนวก ข. แรงเสียดทานท่อเหล็ก Schedule 40 รูปแบบ close system และ  
open system



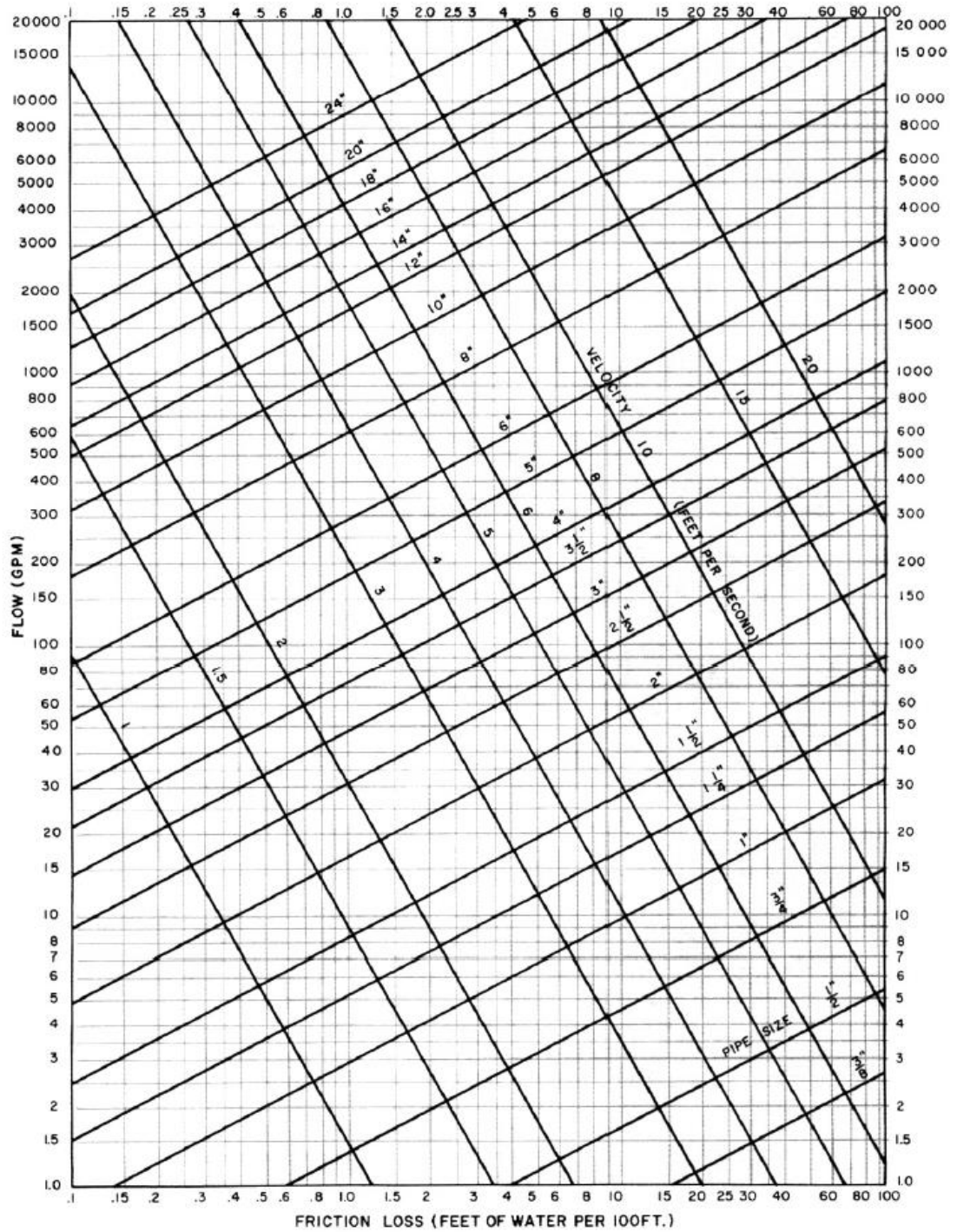
**CHART 3—FRICTION LOSS FOR CLOSED PIPING SYSTEMS**

Schedule 40 Pipe



ข.1 แรงเสียดทานท่อเหล็ก Schedule 40 รูปแบบ close system [29]

**CHART 4—FRICTION LOSS FOR OPEN PIPING SYSTEMS**  
Schedule 40 Pipe



ข.2 แรงเสียดทานต่อเหล็ก Schedule 40 รูปแบบ open system [29]

ภาคผนวก ค. แรงเสียดทานสำหรับวาล์ว, ข้องอและข้อต่อต่าง ๆ ในรูปแบบ  
Equivalent length

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Friction Loss of Water in Pipe Fittings in Terms of Equivalent																			
Length - Feet of Straight Pipe																			
Nominal pipe size	Actual inside diameter	Gate valve	90° elbow	Long radius 90° or 45° std elbow	Std tee thru flow	Std tee branch flow	Close return	Swing check valve	Lift check valve	Angle valve	Globe valve	Butter-fly valve	Strainer	90° Welding elbow		Mitre bend			
	inches	full						full open	full open	open	valve			r/d = 1	r/d = 2	45°	90°		
1/2"	0.622	0.41	1.55	0.83	1.04	3.11	2.59	5.18	2.85	7.78	17.6								
3/4"	0.824	0.55	2.06	1.1	1.37	4.12	3.43	6.86	3.78	10.3	23.3			10.4					
1	1.049	0.7	2.62	1.4	1.75	5.25	4.37	8.74	4.81	13.1	29.7			15.6					
1-1/4"	1.38	0.92	3.45	1.84	2.3	6.9	5.75	11.5	6.10	17.3	39.1			20.8					
1-1/2"	1.61	1.07	4.03	2.15	2.68	8.05	6.71	13.4	7.38	20.1	45.6			26.0					
2	2.067	1.38	5.17	2.76	3.45	10.3	8.61	17.2	9.47	25.8	58.6	7.75	42	31.3	333	25	15	18.8	75
2-1/2"	2.469	1.65	6.17	3.29	4.12	12.3	10.3	20.6	11.32	30.9	70	9.26	52	4.12	2.47	3.08	12		
3	3.068	2.04	7.67	4.09	5.11	15.3	12.8	25.5	14.06	38.4	86.9	11.5	63	5.11	3.07	3.84	15		
4	4.026	2.68	10.1	5.37	6.71	20.1	16.8	33.6	18.45	50.3	114	15.1	83	6.71	4.03	5.03	20		
5	5.047	3.36	12.6	6.73	8.41	25.2	21	42.1	23.13	63.1	143	18.9	104	8.41	5.05	6.31	25		
6	6.065	4.04	15.2	8.09	10.1	30.3	25.3	50.5	27.8	75.8	172	22.7	125	10.1	6.07	7.58	30		
8	7.981	5.32	20	10.6	13.3	39.9	33.3	66.6	36.58	99.8	226	29.9	167	13.3	7.98	9.98	40		
10	10.02	6.68	25.1	13.4	16.7	50.1	41.8	83.6	45.93	125	284	29.2	208	16.7	10	12.5	50		
12	11.938	7.96	29.8	15.9	19.9	59.7	49.7	99.4	54.72	149	338	34.8	250	19.9	11.9	14.9	60		
14	13.124	8.75	32.8	17.5	21.8	65.6	54.7	109.4	60.15	164	372	38.3	292	21.8	13.1	16.4	66		
16	15	10	37.5	20	25	75	62.5	125	68.75	188	425	31.3	333	25	15	18.8	75		
18	16.876	16.9	42.2	22.5	28.1	84.4	70.3	140.6	77.35	210	478	35.2	375	28.1	16.9	21.1	84		
20	18.814	12.5	47	25.1	31.4	94.1	78.4	156.8	86.23	235	533	39.2	417	31.4	18.8	23.5	94		
24	22.628	15.1	56.6	30.2	37.7	113	94.3	188.6	103.71	283	641	47.1	500	37.7	22.6	28.3	113		
30	28	18.7	70	37.3	46.7	140	117							46.7	28	35	140		
36	34	22.7	85	45.3	56.7	170	142							56.7	34	43	170		
42	40	26.7	100	53.3	66.7	200	167							66.7	40	50	200		
48	46	30.7	115	61.3	76.7	230	192							76.7	46	58	230		

ค.1 แรงเสียดทานสำหรับวาล์ว, ข้องอและข้อต่อต่าง ๆ ในรูปแบบ Equivalent length [11]



ภาคผนวก ง. ภาวะความร้อนของอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา และ  
Specification ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบปรับอากาศ Water cooled chiller  
system



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ง.1 ตารางรายละเอียดพื้นที่ปรับอากาศการคำนวณภาระความร้อนที่การใช้งานภายในอาคาร  
เฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ในแต่ละชั้น

ชั้น	Area (m2)	TWN CL-1 (BTU/h)	Energyplus (BTU/h)	VRF in building (BTU/h)
1(M2)	756.91	511,422.00	409,239.88	673,200.00
2	756.91	511,422.00	399,119.77	712,800.00
3 zone 1	413.34	228,002.00	218,495.43	396,000.00
3 zone 2	385.60	503,622.00	252,640.56	366,600.00
4 zone 1	181.54	122,091.00	98,083.85	178,800.00
4 zone 2	178.23	125,009.00	98,996.16	178,800.00
4 zone 3	177.90	133,682.00	99,018.78	178,800.00
4 zone 4	191.27	120,762.00	102,625.85	178,800.00
5 zone 1	181.54	122,091.00	98,850.94	178,800.00
5 zone 2	178.23	125,009.00	99,485.73	178,800.00
5 zone 3	177.90	133,682.00	99,571.07	178,800.00
5 zone 4	191.27	120,762.00	103,892.51	178,800.00
6 zone 1	181.54	122,091.00	103,602.55	178,800.00
6 zone 2	178.23	125,009.00	102,191.22	178,800.00
6 zone 3	177.90	133,682.00	102,181.56	178,800.00
6 zone 4	191.27	120,762.00	108,122.37	178,800.00
7	296.10	188,098.00	155,823.33	298,800.00
8	296.10	188,098.00	160,639.50	298,800.00
10	770.54	517,829.00	377,721.38	712,800.00
11	770.54	486,139.00	374,754.39	712,800.00
12	770.54	517,793.00	376,060.08	712,800.00
13	770.54	486,852.00	374,747.60	712,800.00
14	770.54	517,793.00	375,712.34	712,800.00
15	770.54	483,634.00	374,438.02	712,800.00
16	770.54	517,793.00	376,408.94	673,200.00
17	636.48	425,964.00	320,133.27	673,200.00
18	636.48	430,125.00	321,322.81	633,600.00
19	636.48	430,907.00	328,472.13	633,600.00

หมายเหตุ ในพื้นที่ชั้น 3 zone 2 สำหรับโปรแกรม TWN มีค่าที่สูงเนื่องจากพื้นที่ ส่วนนี้มี  
การติดตั้งหน้าต่างเป็นปริมาณมากและเป็นส่วนที่โดนแสงแดดจึงทำให้มีผลที่สูงกว่าค่าอื่น



โดยการกำหนดภาระความร้อนที่ใช้คำนวณนั้นจะใช้โปรแกรม TMW CL-1 จะเป็นการคำนวณโดยใช้วิธี CLTD และโปรแกรม Energyplus จะเป็นการคำนวณโดยใช้วิธี Heat balance โดยได้กำหนดภาระความร้อนที่ใช้ในอาคารเพื่อคำนวณ Cooling load ภายในโปรแกรมซึ่งเป็นภาระที่ได้ทำการเมื่อประมาณไว้แล้ว มีรายละเอียดดังนี้

ภาระความร้อนจากผู้ใช้งานภายในอาคารมีค่าเท่ากับ 0.2 คน/พื้นที่

ภาระความร้อนจากการระบายอากาศมีค่าเท่ากับ 1.4 ACH


ภาระความร้อนจากแสงสว่างมีค่าเท่ากับ แพลนของอาคาร

ภาระความร้อนจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่นมีค่าเท่ากับ 21.5 W/พื้นที่



## Water-Cooled Series R (TM) - China

### Job Information

		CHILLER 400 TR	
Tag	400 TR	Compressor configuration	E3 Compressor
Quantity	1	Evaporator configuration	G2 Evaporator
		Condenser configuration	G1 Condenser
TOPSS version number	222		

### Unit Information

Refrigeration capacity	400.0 tons	Cooling efficiency	0.6215 kW/ton
NPLV/IP	0.3776 kW/ton	Refrigerant charge (HFC-134a)	700.0 lb
Shipping weight	19471.2 lb	Operating weight	21470.8 lb
Full Load Sound Pressure-AHRI Condition	82 dBA		
Pressure vessel code	ASME pressure vessel code		
Refrigeration isolation valves	No refrigerant isolation valves		
Oil cooler	Without oil cooler		
Operating weights include refrigerant, oil, and water charges.			
Sound pressure measured in accordance with AHRI Standard 575-94.			

### Evaporator Information

Leaving fluid evap	45.00 F	Flow evap	957.2 gpm
Entering fluid evap	55.00 F	Fluid pressure drop evap	20.1 ft H <sub>2</sub> O
Minimum flow evap	411.1 gpm	Fouling factor evap	0.000100 hr-sq ft-deg F/ Btu
Number of evaporator passes	4 pass	Fluid freeze point evap	32.00 F
Evap fluid type	Water	Fluid concentration evap	

### Condenser Information

Entering fluid cond	90.00 F	Flow cond	1200 gpm
Leaving fluid cond	99.20 F	Fluid pressure drop cond	17.3 ft H <sub>2</sub> O
Number of cond passes	2 pass condenser	Fouling factor cond	0.000250 hr-sq ft-deg F/ Btu
Cond fluid type	Water	Fluid concentration cond	
Condenser tube type	Enhanced fin - copper	Maximum flow cond	1961 gpm
Pressure drop at min flow cond	34.330 in H <sub>2</sub> O	Pressure drop at max flow cond	42.9 ft H <sub>2</sub> O
Minimum flow cond	443.9 gpm		

### Electrical Information

Unit voltage	380. Volt 3 phase	Unit hertz	50. Hertz
Total power	248.6 kW	Starter type	AdaptiR
Minimum circuit ampacity	525.62 A	Maximum overcurrent protection	800.00 A
Starter expected inrush	520.00 A	Motor locked rotor amps	2303.00 A
Run load amps/chiller input amps	420.50 A	AFD output amps	459.50 A

ง.2 Specification เครื่องทำน้ำเย็นขนาด 400 ตัน จากบริษัท Trane Thailand [22]

## Quantum™ Climate Changer™ Quick Select Quick Selection Procedure

- Step 1: Determine what is the design airflow cfm (m<sup>3</sup>/s) or total cooling capacity MBH (kW)  
 Step 2: Use the table below to determine the unit size by picking the closest air flow or total cooling capacity.  
 Step 3: The unit width and height are the same for all sections. Unit length in Table A is based on basic fan-coil-flat filter sections only.  
 For other combinations, use Table B: Standard Section Length to determine the overall unit length.  
 Step 4: Determine the nominal unit details (unit weight, coil water pressure drop, water flow rate and motor installed power) using Table A.

Table A: Quick Select

Model Size	Coil Face Area		Airflow At 2.55 m/s Face Velocity		Total Cooling Capacity		External Static Pressure		Unit Dimensions			Unit Weight	Cooling Coil Water Pressure Drop		Water Flow Rate		Motor Installed Power	
	FT <sup>2</sup>	(m <sup>2</sup> )	cfm	(m <sup>3</sup> /s)	MBH	(kW)	in wg	(Pa)	Width mm	Height mm	Length mm	kg	ft.wg.	(kPa)	GPM	(L/s)	hp	(kW)
CLCP 003	2.58	(0.24)	1,292	(0.61)	38	(11)	1.2	(300)	748	868	1368	160	0.5	(1.5)	7.61	(0.48)	2.0	(1.5)
CLCP 004	4.30	(0.40)	2,161	(1.02)	75	(22)	1.2	(300)	1058	868	1368	200	1.2	(3.7)	14.90	(0.94)	2.0	(1.5)
CLCP 006	6.13	(0.57)	3,072	(1.45)	92	(27)	1.2	(300)	1368	868	1368	260	2.5	(7.5)	20.61	(1.30)	3.0	(2.2)
CLCP 008	7.85	(0.73)	3,941	(1.86)	123	(36)	1.2	(300)	1678	868	1368	300	1.6	(4.7)	24.25	(1.53)	4.0	(3.0)
CLCP 010	9.68	(0.90)	4,873	(2.30)	140	(41)	1.2	(300)	1968	1178	1523	330	1.2	(3.6)	27.74	(1.75)	5.5	(4.0)
CLCP 012	12.47	(1.16)	6,271	(2.96)	205	(60)	1.2	(300)	1678	1178	1523	420	2.9	(8.6)	41.21	(2.60)	5.5	(4.0)
CLCP 014	15.27	(1.42)	7,669	(3.62)	270	(79)	1.2	(300)	1968	1178	1523	470	5.3	(15.8)	54.05	(3.41)	7.5	(5.5)
CLCP 016	17.10	(1.59)	8,581	(4.05)	276	(81)	1.2	(300)	1678	1488	1523	530	2.3	(6.9)	55.32	(3.46)	7.5	(5.5)
CLCP 020	20.97	(1.95)	10,530	(4.97)	365	(107)	2.0	(500)	1968	1488	1678	700	4.3	(12.9)	72.91	(4.60)	15.0	(11.0)
CLCP 025	25.81	(2.40)	13,072	(6.17)	467	(137)	2.0	(500)	1968	1798	1533	750	6.1	(18.3)	93.36	(5.89)	15.0	(11.0)
CLCP 030	31.19	(2.90)	15,678	(7.40)	546	(160)	2.0	(500)	1968	2108	1588	850	4.9	(14.7)	109.21	(6.89)	15.0	(11.0)
CLCP 035	36.88	(3.43)	18,538	(8.75)	672	(197)	2.0	(500)	2298	2108	1988	950	8.0	(23.9)	134.41	(8.48)	20.0	(15.0)
CLCP 040	42.69	(3.97)	21,441	(10.12)	802	(235)	2.0	(500)	2808	2108	2143	1150	12.0	(36.0)	160.09	(10.10)	20.0	(15.0)
CLCP 045	46.39	(4.50)	24,322	(11.48)	928	(272)	2.0	(500)	2918	2108	2143	1250	17.1	(51.1)	185.45	(11.70)	25.0	(18.5)
CLCP 050	54.19	(5.04)	27,225	(12.85)	1,054	(309)	2.0	(500)	3228	2108	2298	1460	23.4	(70.0)	211.29	(13.33)	30.0	(22.0)
CLCP 060	63.98	(5.95)	32,140	(15.17)	1,242	(364)	2.0	(500)	3228	2418	2453	1870	22.9	(68.4)	248.22	(15.86)	40.0	(30.0)
CLCP 065	70.75	(6.58)	35,551	(16.78)	1,385	(406)	3.0	(750)	3538	2418	2608	2110	26.4	(78.8)	279.13	(17.51)	50.0	(37.0)
CLCP 070	77.53	(7.21)	38,962	(18.39)	1,339	(410)	3.0	(750)	3848	2418	2608	2210	8.7	(25.9)	272.94	(17.22)	50.0	(37.0)
CLCP 080	84.41	(7.85)	42,415	(20.02)	1,515	(444)	3.0	(750)	4158	2418	2608	2450	10.9	(32.8)	302.90	(19.11)	60.0	(45.0)
CLCP 085	91.18	(8.48)	45,805	(21.62)	1,662	(487)	3.0	(750)	4468	2418	2608	2570	13.3	(39.9)	331.91	(20.94)	60.0	(45.0)
CLCP 090	97.96	(9.11)	49,216	(23.23)	1,815	(532)	3.0	(750)	4778	2418	2608	2840	16.2	(48.5)	362.97	(22.90)	75.0	(55.0)
CLCP 095	105.16	(9.78)	52,639	(24.84)	1,938	(568)	3.0	(750)	5068	2418	2608	2940	15.4	(46.0)	387.86	(24.47)	75.0	(55.0)

- Note:
- Cooling capacities are based on conditions of EAT 80 °FDB / 67 °FWB and EWT 45 °F / LWT 55 °F.
  - Unit dimensions and weight include forward curved fan section, 4-Row 120 FFP coil (1/2 inch CU tube) section and flat filter section (with filter media).
  - All dimensions and weights above are based on 50 mm casing design.
  - Product design and specification are subject to change without notice.

ง.3 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับชั้นลอย 2 ถึงชั้นที่ 3, ชั้นที่ 10-15 และชั้นที่ 17 จาก  
บริษัท Trane Thailand [24]



## General Data

### Product Specification

MODEL	BDHA20	BDHA25	BDHA34	BDHA40	BDHA50	BDHA60	BDHA70	BDHA80
Rated - Volts/Ph/Hz	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50
<b>SYSTEM DATA</b>								
Nominal Airflow	CFM 2,000	2,500	3,400	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000
Nominal Capacity	MBH 60	75	100	120	160	180	210	240
Water Inlet Connection Size	in 1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/2	2	2	2	2
Water Outlet Connection Size	in 1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/2	2	2	2	2
Water Connection Type	Steel Pipe - MPT							
<b>COIL</b>								
Fin Type	Slit Uncoated	Slit Uncoated	Slit Uncoated	Slit Uncoated	Slit Uncoated	Slit Uncoated	Slit Uncoated	Slit Uncoated
Fin Type								
Fin per inch*								
3-Row coil	14	14	14	14	14	14	14	14
4-Row coil	12	13	14	13	14	14	14	14
Drain Connection Size	in 1	1	1	1	1	1	1	1
<b>FAN</b>								
Fan Type	Double Inlet Centrifugal Forward Curved Wheel							
Dia. x Width	10 x 10	10 x 10	10 x 8	10 x 10	12 x 12	12 x 12	15 x 15	15 x 15
Qty	1	1	2	2	2	2	2	2
Drive Type	Adjustable Belt Drive							
<b>STANDARD FAN MOTOR</b>								
Qty of Motor	1	1	1	1	1	1	1	1
Motor Output Power	hp 3/4	1	2	2	2	2	2	3
No. of Speed	1	1	1	1	1	1	1	1
V/ph/Hz	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50	380-415/3/50
RLA	1.61	1.99	3.66	3.66	3.66	3.66	3.66	5.08
<b>RETURN FILTER</b>								
Filter Type	Washable Air Filter							
<b>DIMENSION (HxWxD)</b>								
Packing (Shipping)	mm 673 x 1,410 x 970	673 x 1,410 x 970	673 x 1,778 x 970	772 x 1,778 x 970	920 x 2,152 x 994	920 x 2,152 x 994	980 x 2,470 x 1,325	980 x 2,470 x 1,325
Unit (Net)	mm 520 x 1,406 x 916	520 x 1,406 x 916	520 x 1,774 x 916	620 x 1,774 x 916	798 x 2,059 x 1,260	798 x 2,059 x 1,260	850 x 2,366 x 1,320	850 x 2,366 x 1,320
<b>WEIGHT</b>								
Unit (Net) 3-Row Coil	kg 90	92	139	141	181	190	214	240
Unit (Net) 4-Row Coil	kg 92	96	145	148	191	201	226	235

\*Note : 1. 3-Row coil is standard coil  
2. 4-Row coil is optional coil

## Performance Data

### Cooling Capacities

#### Model BDHA



TC = Total Capacity, MBH  
SC = Sensible Capacity, MBH  
GPM = Water Flow Rate, gpm  
PD = Water Pressure Drop, Ft of Water  
EWT = Entering Water Temperature  
WTR = Water Temperature Rise

EWT (F)	Unit Size	Rated Airflow CFM	WTR (F)	Entering Air Temp - EDB/EWB (F)																		
				72/61			74/63			80/67			84/71									
				TC	SC	GPM	PD	TC	SC	GPM	PD	TC	SC	GPM	PD	TC	SC	GPM	PD			
20	2000			8	40.92	35.57	10.19	4.50	48.77	38.00	12.15	6.11	68.01	47.41	16.94	10.90	89.99	53.34	22.39	17.76		
				10	35.70	33.44	7.11	2.40	42.88	35.63	8.55	3.30	61.49	44.85	12.25	6.17	82.82	50.60	16.51	10.37		
				12	30.03	28.67	4.99	1.29	36.64	33.20	6.09	1.82	55.07	42.38	1.95	3.69	75.33	47.78	12.51	6.36		
	25	2500			8	50.02	43.67	12.46	7.06	59.28	46.55	14.77	9.49	82.33	57.94	20.51	16.83	108.50	65.05	27.02	27.31	
					10	44.49	41.42	8.87	3.89	52.88	43.97	10.54	5.25	75.21	54.90	15.04	9.57	100.20	61.85	19.98	16.01	
					12	38.69	36.97	6.43	2.22	46.38	41.39	7.70	3.03	67.63	52.19	11.23	5.83	91.53	58.54	15.20	9.88	
	34	3400			8	67.76	60.17	16.88	7.13	80.05	64.23	19.94	9.54	110.10	80.20	27.42	16.62	143.90	90.31	35.85	26.58	
					10	60.00	56.92	11.96	3.90	71.31	60.57	14.21	5.26	100.30	76.03	19.94	9.48	133.20	85.88	26.54	15.62	
					12	51.48	50.13	8.55	2.17	62.02	56.85	10.30	3.00	90.52	72.23	15.04	5.77	121.70	81.34	20.22	9.67	
45		4000			8	82.22	73.30	20.48	5.51	97.00	78.16	24.16	7.35	132.80	97.30	33.08	12.71	173.60	109.41	43.23	20.30	
					10	72.43	69.18	14.44	2.99	86.16	73.65	17.17	4.04	121.00	92.44	24.12	7.29	160.40	104.03	31.97	11.91	
					12	61.44	59.85	10.21	1.63	74.36	68.92	12.35	2.27	109.30	87.75	18.16	4.43	146.50	98.52	24.34	7.37	
		50	5000			8	108.30	94.02	26.97	6.05	128.10	100.63	31.90	8.10	174.90	125.43	43.57	13.96	227.40	141.21	56.64	22.09
						10	96.23	88.97	19.18	3.33	114.60	94.99	22.84	4.51	160.20	119.30	31.93	8.08	211.90	134.76	42.23	13.15
						12	83.25	81.10	13.83	1.88	100.30	89.13	16.66	2.60	145.70	113.38	24.20	4.96	195.30	128.03	32.44	8.26
	60	6000			8	144.00	127.37	35.86	7.55	169.30	135.65	42.17	10.01	230.00	168.38	57.39	17.14	299.60	188.81	74.61	27.14	
					10	128.90	121.06	25.70	4.21	152.40	128.66	30.38	5.63	211.40	160.56	42.13	9.94	278.70	180.31	55.56	16.12	
					12	112.50	109.75	18.69	2.41	134.50	121.37	22.34	3.29	193.10	153.19	32.07	6.15	256.60	171.57	42.63	10.10	
70		7000			8	179.12	163.44	42.25	9.88	205.30	168.38	57.39	12.29	270.00	204.08	74.61	20.30	350.00	224.03	89.23	33.03	
					10	157.90	147.80	35.86	5.51	185.00	153.10	47.86	7.35	248.00	190.00	65.31	11.23	300.00	204.03	74.61	27.14	
					12	134.50	127.37	29.29	3.33	160.00	145.48	34.55	4.74	200.00	161.59	47.86	12.76	317.40	204.41	63.26	20.79	
80		8000			8	205.30	185.00	47.86	12.83	248.00	200.00	65.31	14.14	312.00	244.08	89.23	24.03	400.00	274.03	109.23	38.03	
					10	179.12	163.44	42.25	9.88	205.30	168.38	57.39	12.29	270.00	204.08	74.61	20.30	350.00	224.03	89.23	33.03	
					12	157.90	147.80	35.86	5.51	185.00	153.10	47.86	7.35	248.00	190.00	65.31	11.23	300.00	204.03	74.61	27.14	

ง.4 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับพื้นที่ 4-6 จากบริษัท Trane Thailand [25]

### Standard Product Specifications

Models	Indoor unit		BDVA075	BDVA090	BDVA120	BDVA150	BDVA180
Electrical Data	Power Supply	V/ph/Hz	380-415/3/50				
Performance Data	Nominal Airflow	cfm	7,760	9,240	12,120	15,130	18,080
	Standard Cooling Capacity	MBH	238	280	380	570	660
Cooling Coil							
Standard Coil	Tube & Header Material		Copper				
	Row		3	3	3	4	4
	Fin Per Inch	FPI	12	12	12	12	12
	Water Flow Rate	gpm	47.5	56.0	76.0	113.8	131.9
	Water Pressure Drop	KPa	9.3	9.1	15.8	8.1	8.9
	Water inlet/outlet Connection	in	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2.0	2.0
	Drain Connection Size	in	1	1	1	1	1
Fan & Motor							
Fan	Type		Centrifugal FC				
	Fixed Drive Type		Belt and Pulley				
	Qty		1	1	2	2	2
	Maximum Airflow	cfm	8,900	10,600	13,800	18,310	21,800
	Minimum Airflow	cfm	5,900	7,000	9,100	12,060	14,400
Motor	Type		TEFC				
	Qty		1	1	1	1	1
	Motor Output Power	STD	5.0	7.5	7.5	10.0	15.0
		Option	7.5/10.0	10.0/15.0	10.0/15.0	15.0/20.0	20.0
	Number of Speed		1	1	1	1	1
RLA	A	8.0	12.0	12.0	15.2	22.0	
Unit Dimension and Weight							
Dimensions	Crated (H x W x D)	mm	1,500x2,100x1,290	1,650x2,100x1,290	1,780x2,390x1,290	1,900x2,900x1,520	1,980x2,900x1,520
	Uncrated - Net (H x W x D)	mm	1,219x1,808x1,040	1,372x1,808x1,040	1,520x2,088x1,040	1,653x2,596x1,275	1,777x2,596x1,275
Weight	Crated	kg	402	470	543	768	832
	Uncrated - Net	kg	353	421	487	685	749

Note : 1. Cooling capacity is rated at 80 °FDB/67 °FWB at nominal airflow listed, entering water temperature at 45 °F and water temperature rise of 10 °F.  
2. Product design and specification are subject to change without notice.

ง.5 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับชั้นที่ 7-8 และชั้นที่ 16 จากบริษัท Trane Thailand [23]





## LPCP Quick Select Guide

The LPCP air handling unit is easy to select by using quick selection guide table below.

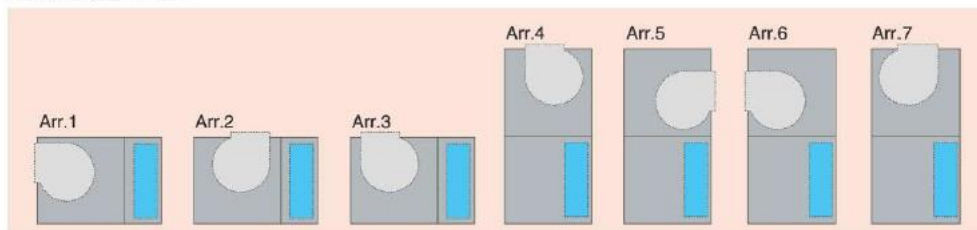
### LPCP QUICK SELECTION GUIDE

Unit Model	Coil Face Area	Air flow at 500 fpm	Total Cooling Capacity		External Static Pressure	Dimensions				Shipping Weight	Water Pressure Drop	Water Flow Rate	Water Inlet / Outlet Connection Size
						Unit	L	W	H				
Unit Size	ft <sup>2</sup>	cfm	MBH	Tons	in.wg.	Arr.	mm	mm	mm	kg	ft.wg.	GPM	Inch
LPCP02	2.08	1,040	33.3	2.8	1.2	HDT VDT	866 508	870	508 1,016	133 137	1.2	6.6	1 1/2
LPCP03	3.00	1,500	47.1	3.9	1.2	HDT VDT	1,031 674	810	673 1,348	136 171	0.8	9.4	1 1/2
LPCP04	4.00	2,000	66.1	5.5	1.2	HDT VDT	1,031 674	990	673 1,348	185 192	2.1	13.2	1 1/2
LPCP06	5.99	2,995	102.2	8.5	1.2	HDT VDT	1,133 774	1,135	775 1,548	263 269	3.7	20.4	1 1/2
LPCP08	8.00	4,000	106.4	8.9	1.2	HDT VDT	1,133 774	1,430	775 1,548	311 335	1.4	21.3	2
LPCP10	10.00	5,000	138.3	11.5	1.2	HDT VDT	1,220 720	1,500	963 1,924	372 412	1.5	27.7	2
LPCP12	11.67	5,835	162.5	13.5	1.2	HDT VDT	1,220 720	1,500	1,095 2,190	449 486	1.5	32.5	2
LPCP14	13.61	6,805	205.5	17.1	1.2	HDT VDT	1,220 720	1,700	1,095 2,280	467 526	2.5	41.1	2
LPCP17	16.53	8,265	267.5	22.3	1.2	HDT VDT	1,300 800	2,007	1,140 2,280	577 627	4.6	53.5	2 1/2
LPCP21	20.42	10,210	348.0	29.0	2.0	HDT VDT	1,300 800	2,413	1,140 2,280	672 722	8.5	69.6	2 1/2
LPCP25	25.00	12,500	440.9	36.7	2.0	HDT VDT	1,549 850	2,770	1,130 2,260	834 895	12.3	88.2	2 1/2
LPCP31	30.00	15,000	521.6	43.5	2.0	HDT VDT	1,580 880	2,770	1,350 2,700	1,016 1,030	11.5	104.3	2 1/2
LPCP35	35.00	17,500	610.5	50.9	2.0	HDT VDT	1,700 1,000	2,770	1,514 2,845	1,119 1,182	11.8	122.1	2 1/2
LPCP40	40.00	20,000	701.3	58.4	2.0	HDT VDT	1,700 1,000	2,770	1,704 3,034	1,220 1,284	12.9	140.3	2 1/2
LPCP45	45.40	22,500	829.6	69.1	2.0	HDT VDT	2,500 -	2,770 -	2,047 -	1,600 -	21.0	165.9	2 1/2
LPCP50	50.40	25,000	887.7	74.0	2.0	HDT VDT	2,500 -	2,770 -	2,207 -	1,727 -	12.5	177.5	2 1/2

#### NOTE:

- Above cooling capacities based on standard air flow rate and following conditions:  
Chilled water temperature: Entering 45°F and Leaving 55°F.  
Entering air condition: 80°FDB / 67°FWB.
- Above unit weight shall include forward curved fan section, 4 row 144 fin/foot cooling coil section (1/2" copper tube/aluminium fin), flat filter section (include media).
- LPCP02-06 are based on coils with turbulators.
- Product design and specification are subject to change without notice.

#### Fan Arrangement



ง.6 Specification เครื่องส่งลมเย็นสำหรับชั้นที่ 18-19 จากบริษัท Trane Thailand [26]



## Standard Low Noise Counter-Flow Round Cooling Tower

# BND series



### Standard Specifications – Part I

No.	Model BND-t	Motor 415/50H H.P.	DIMENSION		Fan Diameter mm ø	Fan Air Flow cmm	TOWER WEIGHT		Water Pressure Kpa	PIPING DIAMETER					FOUNDATION			Noise Level dB
			Casing Dmm ø	High Hmm ø			Dry Kg	Wet Kkg		Inlet Pipe	Outlet Pipe	Make Up	Over Flow	Drain	Dimension emm	Diameter mm ø	NOS n	
DNmm ø																		
1	BND-5t	0.25	720	1730	550	41	50	0.2	20	40	40	15	25	25	433	500	3	55
2	BND-10t	0.5	1020	1700	570	67	70	0.4	20	40	40	15	25	25	563	650	3	55
3	BND-15t	0.75	1020	1800	580	83	80	0.4	20	40	40	15	25	25	563	650	3	55
4	BND-20t	0.75	1300	1860	700	125	110	0.6	25	50	50	20	25	25	797	920	3	56
5	BND-30t	1.5	1300	1980	760	167	120	0.6	25	50	50	20	25	25	797	920	3	56
6	BND-40t	1.5	1500	2040	930	250	160	1.2	25	50	50	20	25	25	799	1130	5	57
7	BND-50t	1.5	1760	2320	870	330	185	1.2	25	80	80	20	25	25	990	1400	5	57
8	BND-60t	1.5	1760	2300	880	370	190	1.2	25	80	80	20	25	25	990	1400	5	57
9	BND-75t	2	2020	2400	1200	410	360	1.7	30	80	80	20	40	40	1216	1720	5	58
10	BND-100t	3	2620	2650	1490	625	560	2.1	30	100	100	25	40	40	1030	2060	7	60
11	BND-125t	3	2620	2700	1500	670	570	2.2	30	100	100	25	40	40	1030	2060	7	60
12	BND-150t	4	3040	3200	1800	830	870	3.1	40	125	125	25	50	50	1350	2700	7	61
13	BND-175t	5.5	3500	3300	1900	1040	1170	3.7	40	125	125	40	50	50	1125	2940	9	61
14	BND-200t	5.5	3500	3400	1990	1250	1590	4.0	40	150	150	40	50	50	1125	2940	9	62
15	BND-225t	5.5	3500	3400	2000	1330	1600	4.1	40	150	150	40	50	50	1125	2940	9	62
16	BND-250t	7.5	3500	3500	2100	1460	1700	4.5	40	150	150	40	50	50	1125	2940	9	62
17	BND-275t	7.5	4000	3800	2380	1670	2000	5.4	50	200	200	40	50	50	1335	3490	9	63
18	BND-300t	7.5	4000	3800	2400	1830	2100	5.5	50	200	200	40	50	50	1335	3490	9	63
19	BND-350t	7.5	4000	3900	2800	2080	2500	5.8	50	200	200	40	50	50	1335	3490	9	63
20	BND-400t	10	4900	3890	3390	2500	2900	7.6	50	250	250	50	80	80	1206	4660	13	64
21	BND-450t	10	4900	3900	3400	2670	3000	7.8	50	250	250	50	80	80	1260	4660	13	64
22	BND-500t	15	4900	4200	3600	2900	3100	8.3	50	250	250	50	80	80	1206	4660	13	64
23	BND-600t	20	5540	4400	4200	3300	4000	11.5	55	250	250	50	80	80	1385	5350	13	65
24	BND-700t	25	5540	4600	4200	3750	4500	11.9	55	250	250	50	80	80	1385	5350	13	65
25	BND-800t	25	6340	4890	5000	4100	5200	13.0	55	300	300	50	80	80	1200	6150	17	66
26	BND-900t	30	6340	4900	5000	5000	6200	14.1	55	300	300	50	80	80	1200	6150	17	66
27	BND-1000t	40	7200	5300	5000	5800	7500	19.5	70	300	300	50	80	80	1385	7100	17	67
28	BND-1200t	40	7200	5800	5000	6600	8500	20.5	70	300	300	50	80	80	1385	7100	17	67
29	BND-1500t	50	9000	8800	6000	8300	9800	28.5	90	400	400	50	80	80	1717	8800	17	68
30	BND-1800t	60	9600	9000	6000	10000	11500	32.5	100	500	500	80	100	100	1853	9500	17	69
31	BND-2200t	75	11600	9500	6000	12500	13500	36.5	110	500	500	80	100	100	2200	1130	17	70

ง.7 Specification หอทำความเย็นขนาด 450 ตัน จากบริษัท Super tower industries [27]



## Standard Low Noise Counter-Flow Round Cooling Tower

# BND series



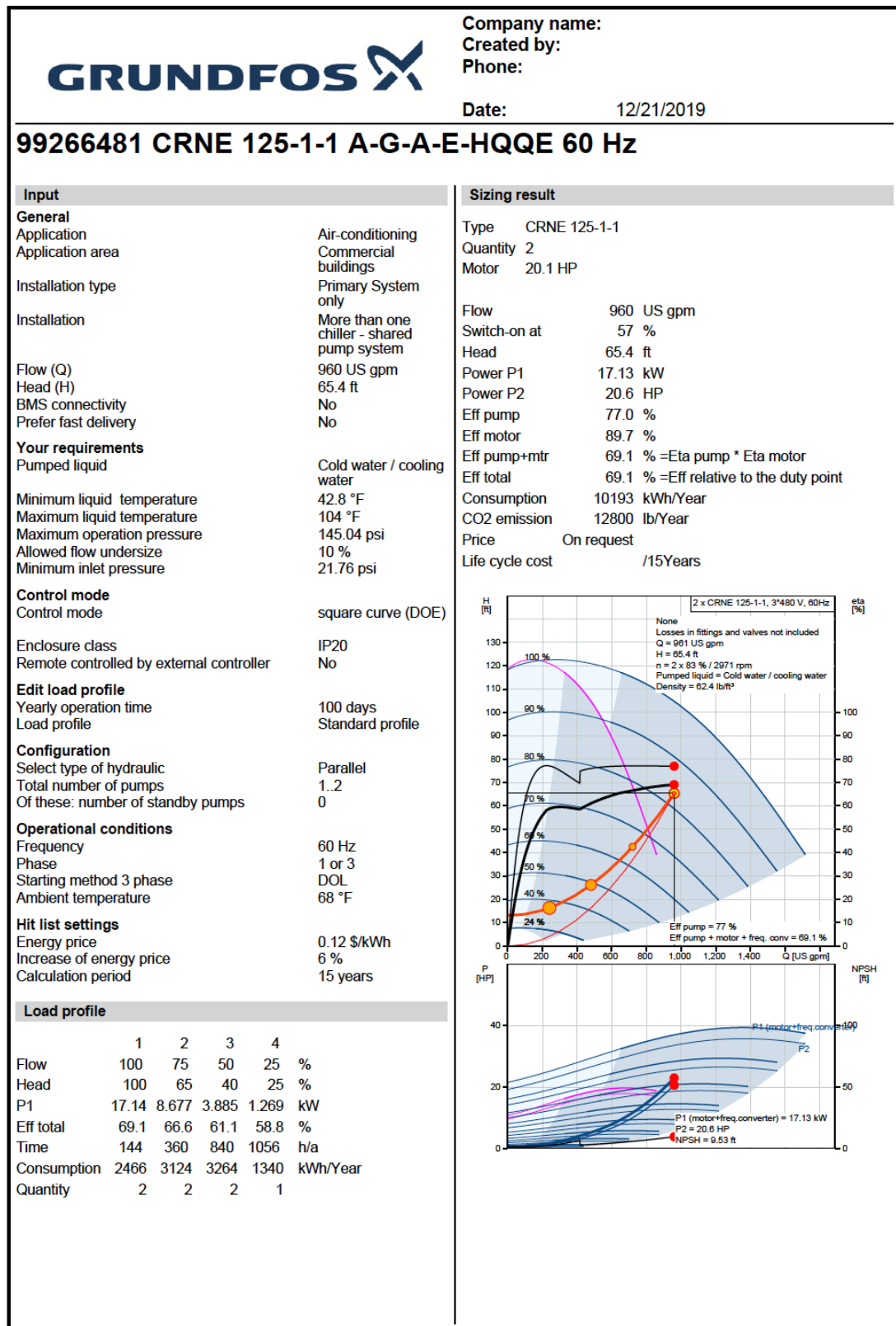
### Standard Specifications – Part II

- Selection Chart -

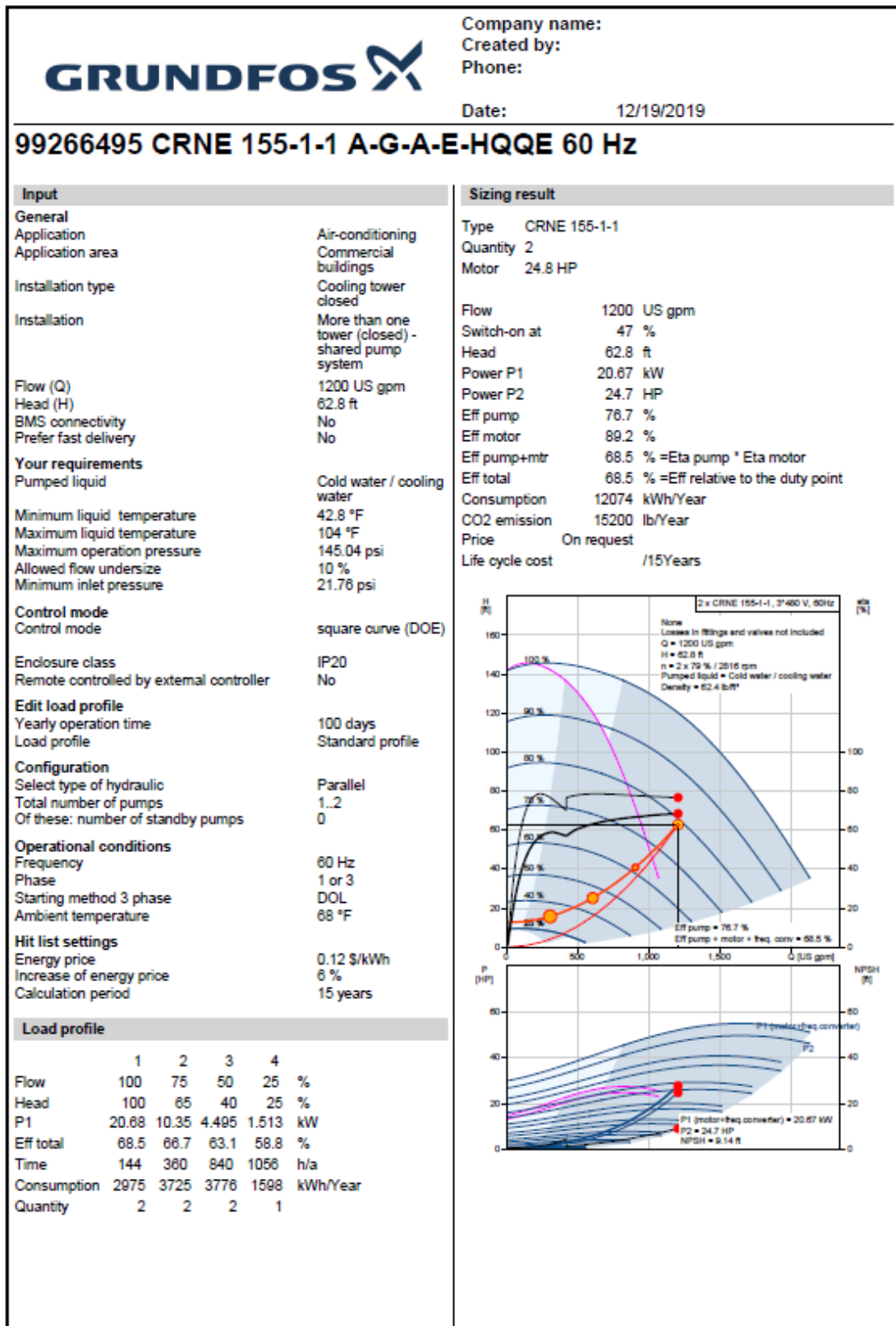
WET BULB 27°C					WATER FLOW RATE L/min					WET BULB 28°C					WATER FLOW RATE L/min					MODEL
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	MODEL		
37	38	40	42	45	35	40	35	43	45	37	38	43	45	35	35	60	90	INLET TEMP.		
32	32	32	32	32	30	30	29.5	33	35	32	32	33	35	29.5	30	35	40	OUTLET TEMP.		
65	58	45	40	31	42	28	34	45	59	57	49	42	58	26	33	28	23	BND-5T		
130	116	91	79	62	85	57	68	90	119	113	97	85	115	51	66	56	45	BND-10T		
195	175	136	119	93	127	85	102	136	178	170	146	127	173	76	98	85	68	BND-15T		
260	232	181	158	124	170	112	136	181	236	226	194	168	230	102	132	113	90	BND-20T		
390	348	272	237	186	252	168	204	271	354	339	291	252	345	153	198	170	136	BND-30T		
520	464	362	316	248	336	224	272	362	472	452	388	336	460	204	264	226	180	BND-40T		
650	580	452	395	310	420	280	340	452	590	565	485	420	575	255	330	282	226	BND-50T		
780	696	542	474	372	504	336	408	542	708	678	582	504	690	306	396	339	271	BND-60T		
975	875	680	595	465	635	425	510	680	890	850	730	635	865	382	493	425	340	BND-75T		
1300	1165	905	790	620	848	565	678	905	1185	1130	970	848	1150	510	655	565	452	BND-100T		
1625	1450	1130	980	775	1060	705	845	1130	1480	1410	1210	1060	1438	635	818	705	564	BND-125T		
1950	1745	1356	1185	930	1270	845	1020	1356	1780	1695	1460	1270	1725	760	980	847	678	BND-150T		
2275	2040	1585	1385	1090	1485	990	1188	1585	2080	1980	1700	1485	2020	890	1150	990	792	BND-175T		
2600	2330	1810	1580	1240	1695	1130	1355	1810	2370	2260	1940	1695	2305	1020	1310	1130	904	BND-200T		
2925	2620	2040	1780	1400	1910	1270	1530	2040	2675	2545	2189	1910	2595	1145	1475	1272	1018	BND-225T		
3250	2915	2265	1980	1555	2120	1415	1700	2265	2970	2830	2430	2120	2885	1270	1640	1415	1132	BND-250T		
3575	3200	2490	2180	1710	2330	1555	1865	2490	3265	3110	2675	2330	3170	1400	1800	1555	1244	BND-275T		
3900	3490	2710	2375	1965	2540	1695	2030	2710	3560	3390	2915	2540	3455	1525	1966	1695	1356	BND-300T		
4550	4080	3170	2770	2180	2970	1980	2375	3170	4155	3960	3405	2970	4040	1780	2295	1980	1584	BND-350T		
5200	4655	3615	3165	2485	3390	2260	2710	3615	4745	4520	3890	3390	4610	2035	2621	2260	1808	BND-400T		
5850	5240	4070	3560	2800	3820	2545	3055	4070	5345	5090	4380	3820	5190	2290	2950	2545	2036	BND-450T		
6500	5820	4520	3955	3105	4235	2825	3390	4520	5930	5650	4860	4240	5760	2540	3275	2825	2260	BND-500T		
7800	6985	5425	4746	3729	5085	3390	4068	5425	7120	6780	5830	5085	6915	3050	3930	3390	2712	BND-600T		
9100	8160	6340	5540	4360	5940	3960	4750	6340	8310	7920	6810	5940	8080	3560	4590	3960	3168	BND-700T		
10400	9320	7240	6335	4980	6785	4525	5430	7240	9500	9050	7785	6785	9230	4075	5250	4525	3620	BND-800T		
11700	10485	8145	7125	5600	7635	5090	6110	8145	10690	10180	8755	7635	10385	4580	5905	5090	4072	BND-900T		
13000	11650	9048	7915	6220	8480	5655	6785	9045	11875	11310	9725	8480	11535	5090	6560	5655	4524	BND-1000T		
15600	13975	10855	9500	7465	10175	6785	8140	10855	14245	13570	11670	10175	13840	6105	7870	6790	5428	BND-1200T		
19500	17460	13560	11865	9320	12710	8475	10170	13560	17800	16950	14575	12710	17290	7625	9830	8475	6780	BND-1500T		
23400	20970	16290	14250	11200	15270	10180	12220	16290	21380	20360	17510	15270	20770	9160	11810	10180	8144	BND-1800T		
28600	25630	19910	17380	13640	18645	12430	14905	19910	26070	24860	21340	18645	25355	11220	14410	12430	9944	BND-2200T		

ง.7 Specification หอทำความเย็นขนาด 450 ตัน จากบริษัท Super tower industries [27] (ต่อ)





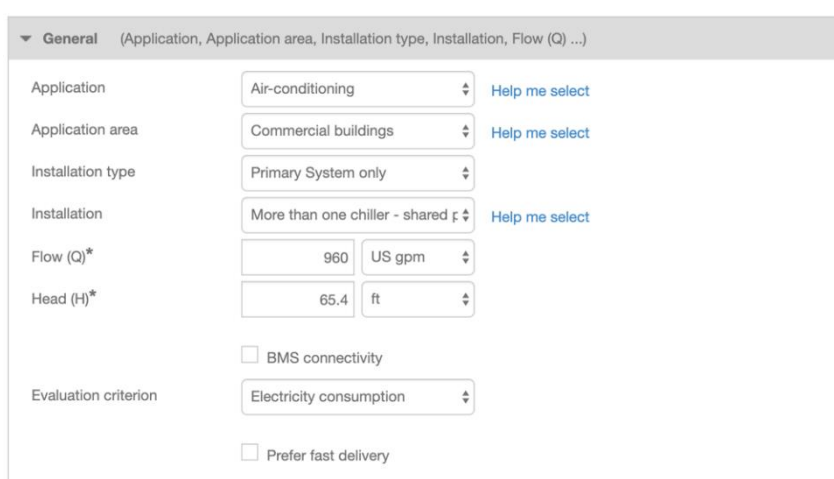
ง.8 Specification ปั๊มน้ำของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 17.13 kW จากบริษัท GRUNDFOS [28]



ง.9 Specification ปั๊มน้ำของหอทำความเย็นขนาด 20.67 kW จากบริษัท GRUNDFOS [28]

จากรูปที่ ง.8 ง.9 เป็น Specification ปั๊มน้ำของเครื่องทำน้ำเย็นและหอทำความเย็นโดยที่มาของ Specification ดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

นำค่าเสดปั๊มที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ ก.1 และ ก.2 และอัตราการไหลของเครื่องทำน้ำเย็นและหอทำความเย็นนำไปกรอกในเว็บไซต์ทางการของ GRUNDFOS [26] (<https://product-selection.grundfos.com/>) โดยตัวอย่างค่าที่จำเป็นต้องเลือกและต้องกรอกไปในเว็บไซต์แสดงดังรูปที่ ง.8 และ ง.9



▼ General (Application, Application area, Installation type, Installation, Flow (Q) ...)

Application: Air-conditioning Help me select

Application area: Commercial buildings Help me select

Installation type: Primary System only

Installation: More than one chiller - shared Help me select

Flow (Q)\*: 960 US gpm

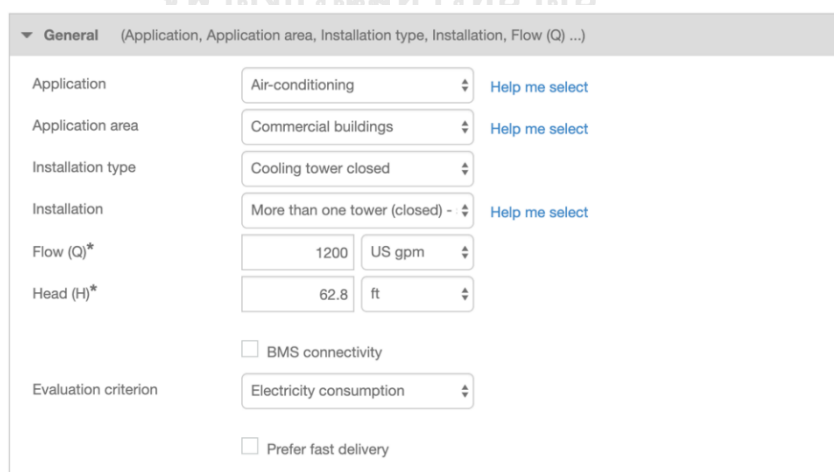
Head (H)\*: 65.4 ft

BMS connectivity

Evaluation criterion: Electricity consumption

Prefer fast delivery

ง.10 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลเสดปั๊มและอัตราการไหลเพื่อเลือกปั๊มในส่วนของเครื่องทำน้ำเย็นในเว็บไซต์ทางการของ GRUNDFOS [26]



▼ General (Application, Application area, Installation type, Installation, Flow (Q) ...)

Application: Air-conditioning Help me select

Application area: Commercial buildings Help me select

Installation type: Cooling tower closed

Installation: More than one tower (closed) - Help me select

Flow (Q)\*: 1200 US gpm

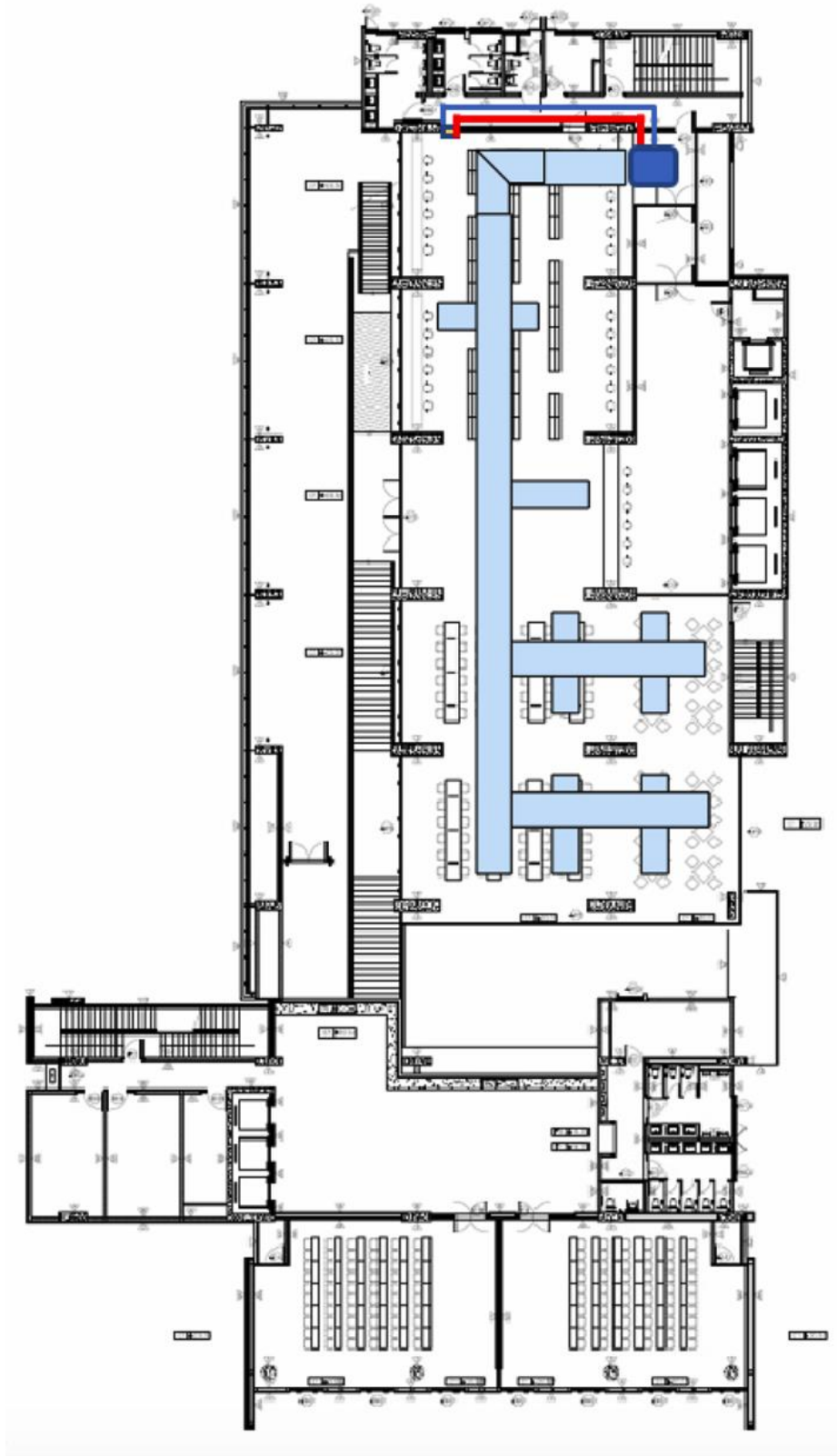
Head (H)\*: 62.8 ft

BMS connectivity

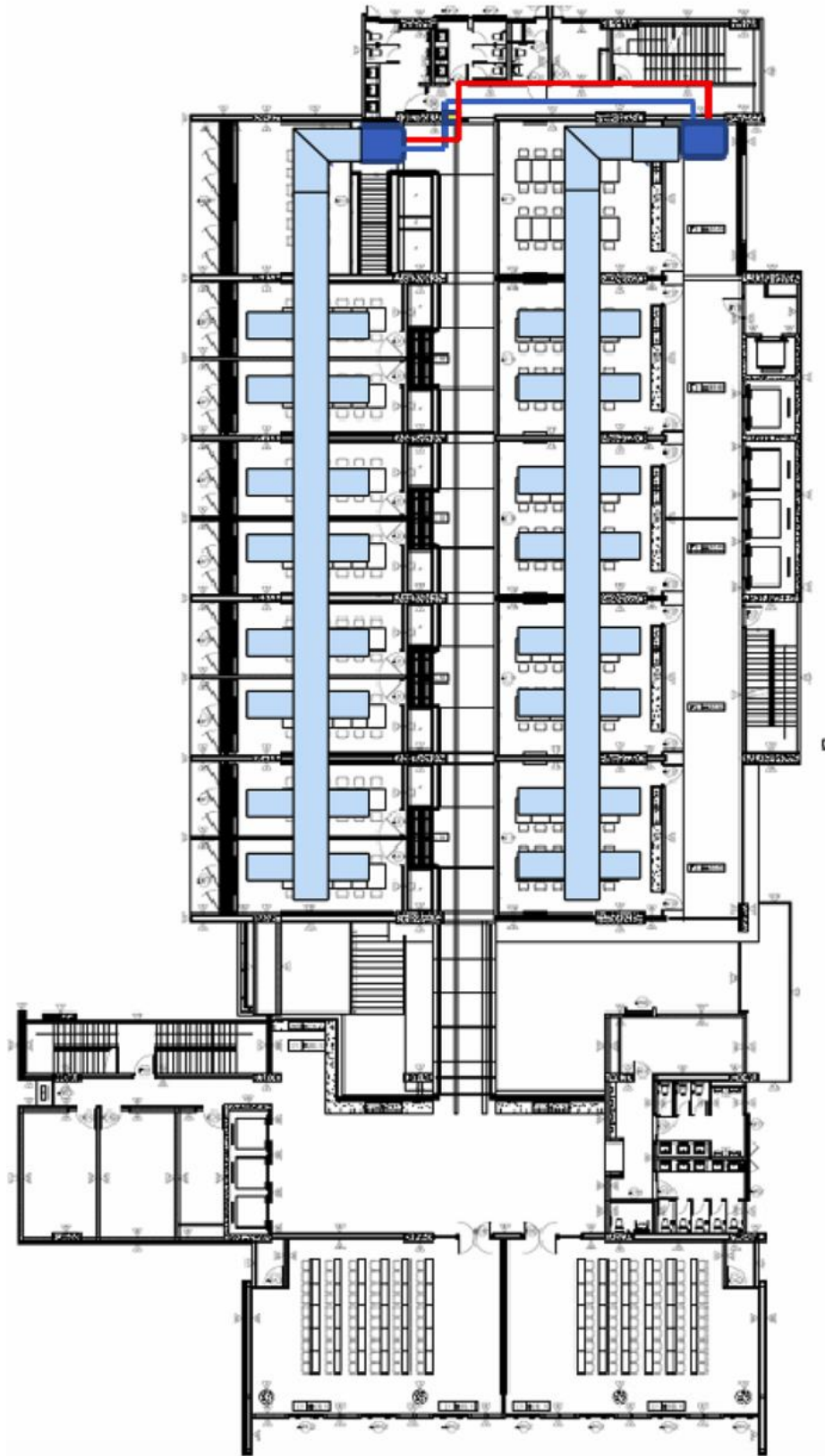
Evaluation criterion: Electricity consumption

Prefer fast delivery

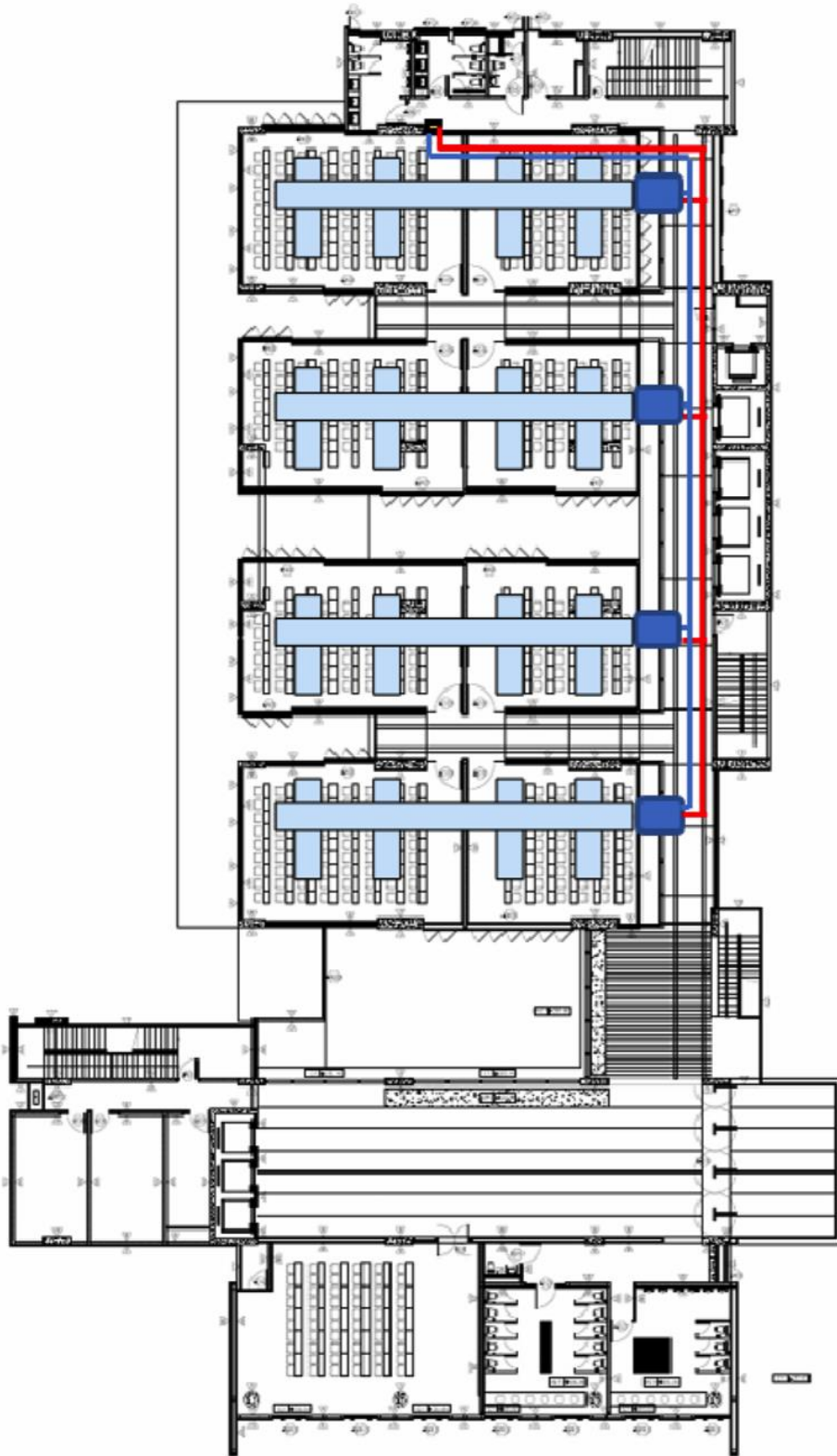
ง.11 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลเสดปั๊มและอัตราการไหลเพื่อเลือกปั๊มในส่วนของเครื่องหอทำความเย็นในเว็บไซต์ทางการของ GRUNDFOS [26]



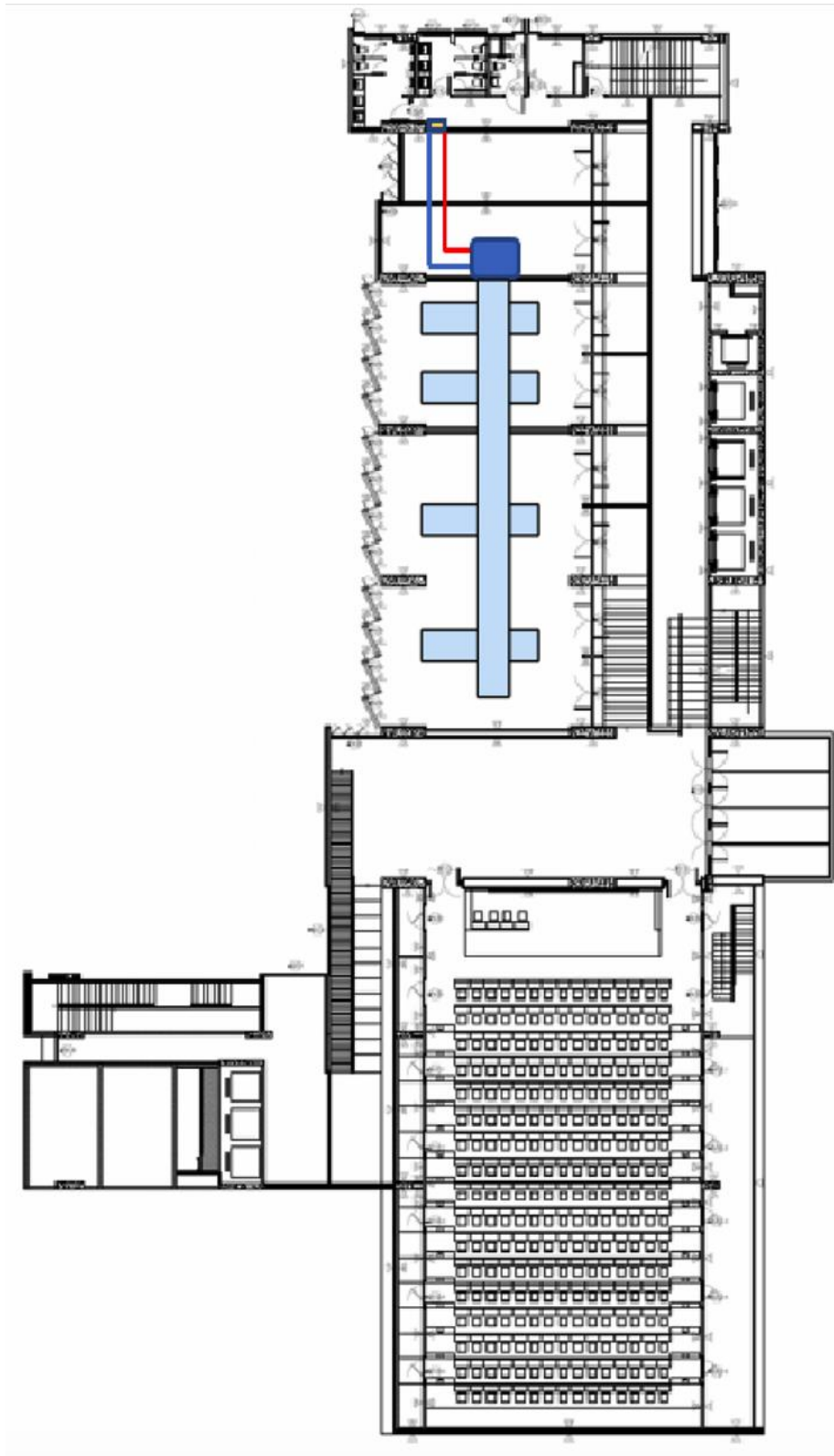
ง.12 ลักษณะการติดตั้งท่อน้ำเย็น, ท่อลมและเครื่องส่งลมเย็นของชั้นลอย 2 ถึงชั้น 2



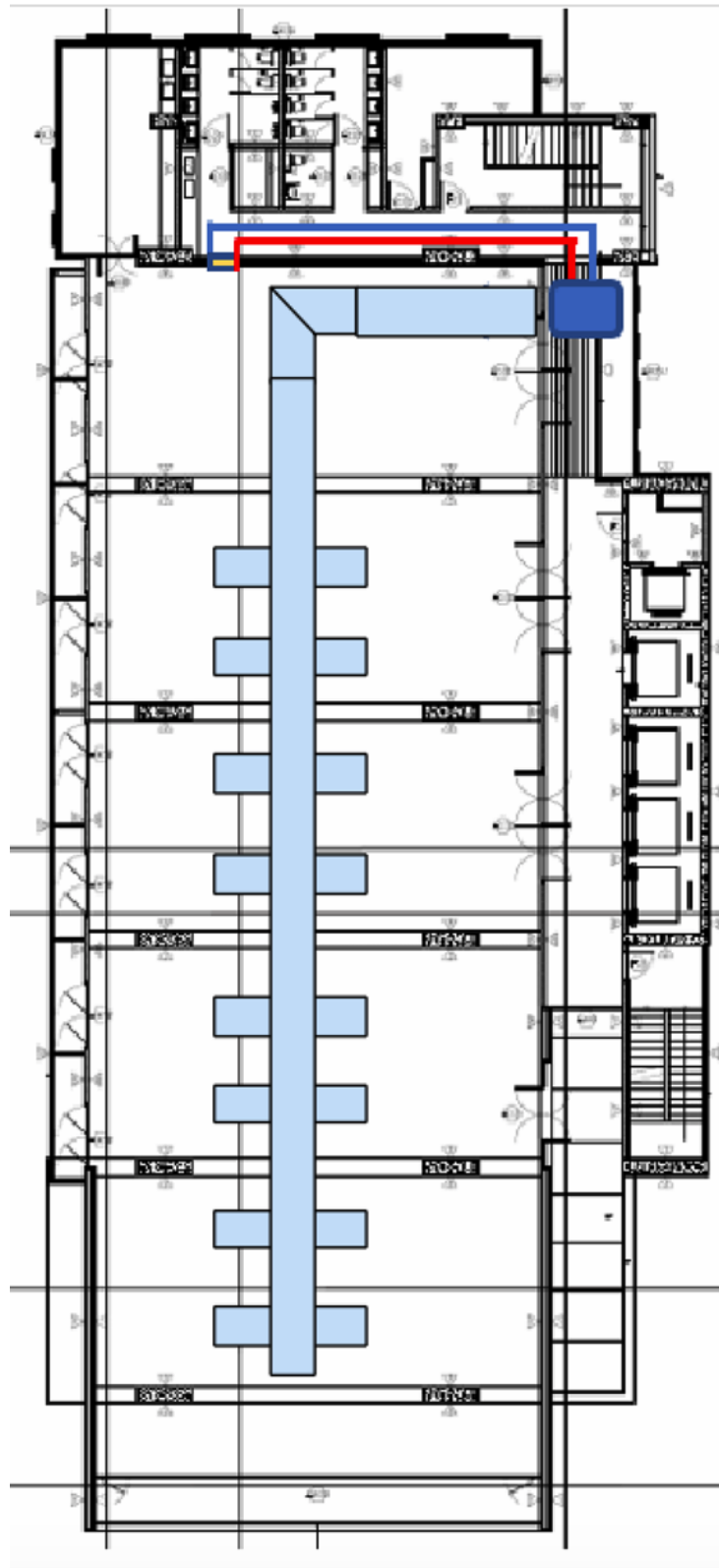
ง.13 ลักษณะการติดตั้งท่อน้ำเย็น, ท่อลมและเครื่องส่งลมเย็นของชั้น 3



ง.14 ลักษณะการติดตั้งท่อน้ำเย็น, ท่อลมและเครื่องส่งลมเย็นของชั้น 4 ถึงชั้น 6

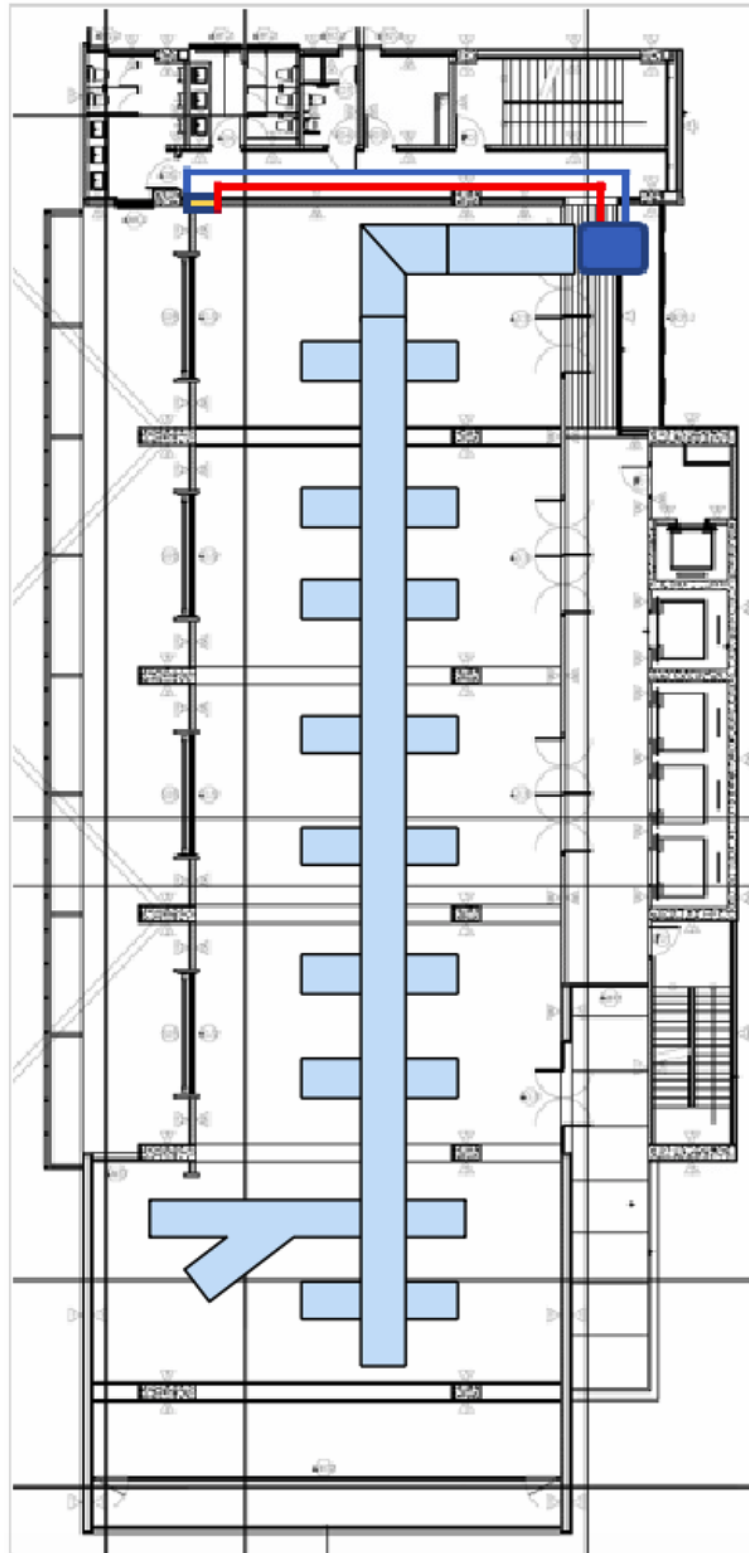


ง.15 ลักษณะการติดตั้งท่อน้ำเย็น, ท่อลมและเครื่องส่งลมเย็นของชั้น 7 ถึงชั้น 8



ง.16 ลักษณะการติดตั้งท่อน้ำเย็น, ท่อลมและเครื่องส่งลมเย็นของชั้น 10 ถึงชั้น 15



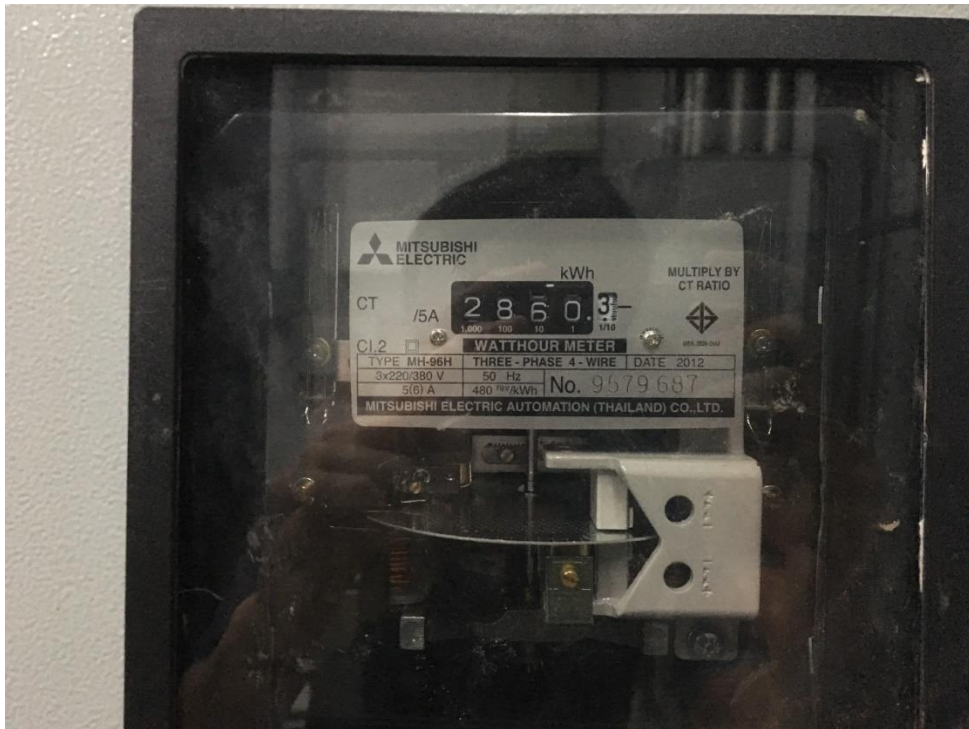


ง.17 ลักษณะการติดตั้งท่อน้ำเย็น, ท่อลมและเครื่องส่งลมเย็นของชั้น 16 ถึงชั้น 19

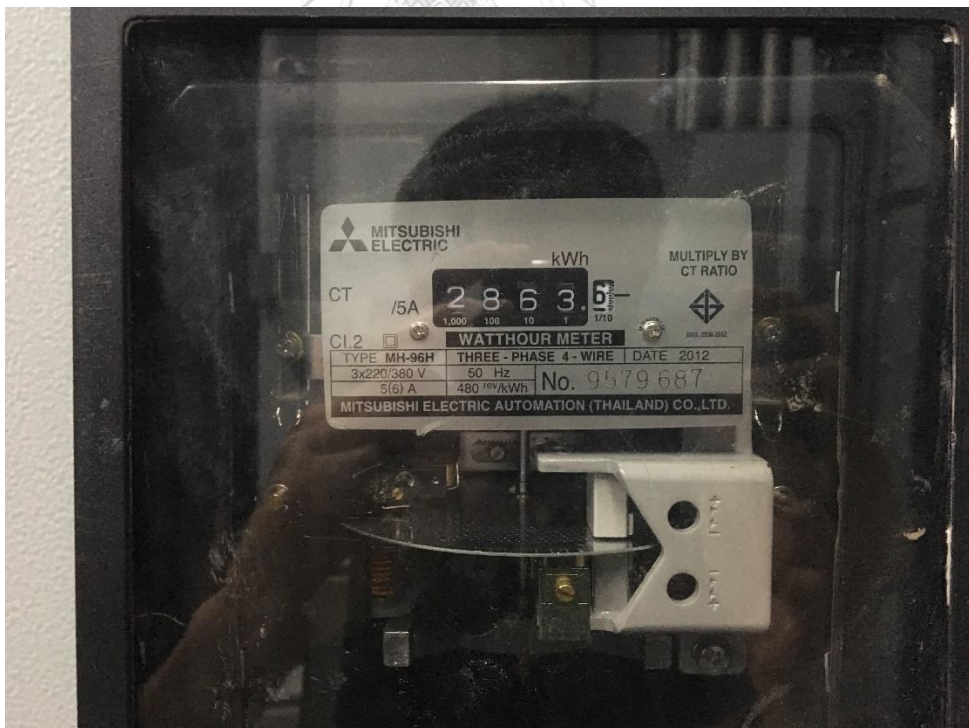
ภาคผนวก จ. ภาพถ่ายหน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 17  
มิถุนายน 2562 ถึงวันที่ 2 กรกฎาคม 2562



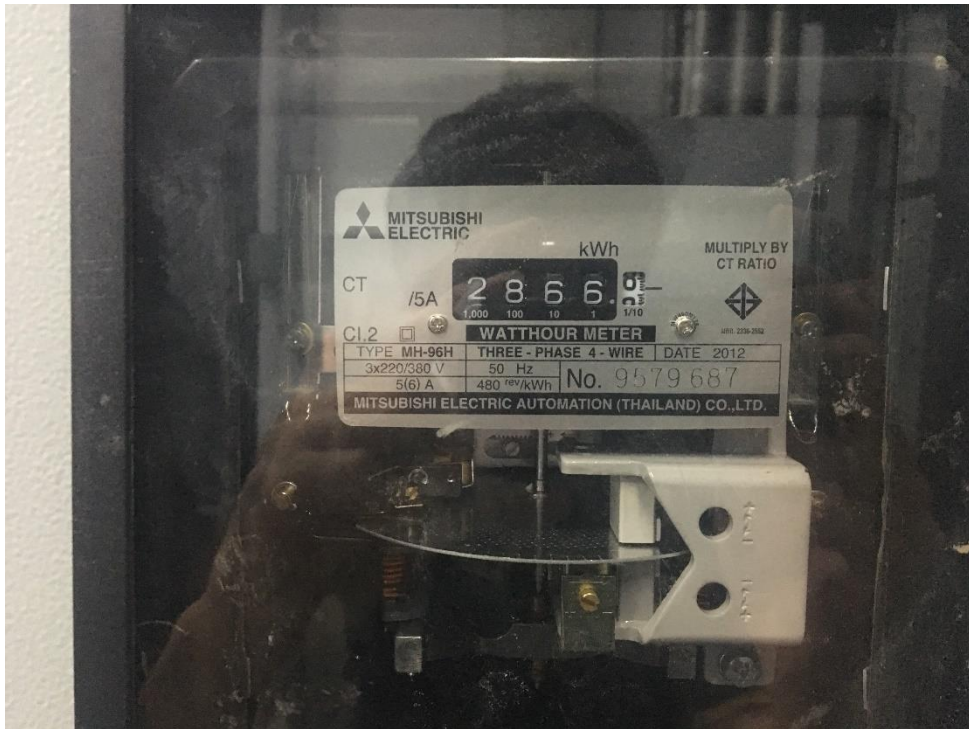
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



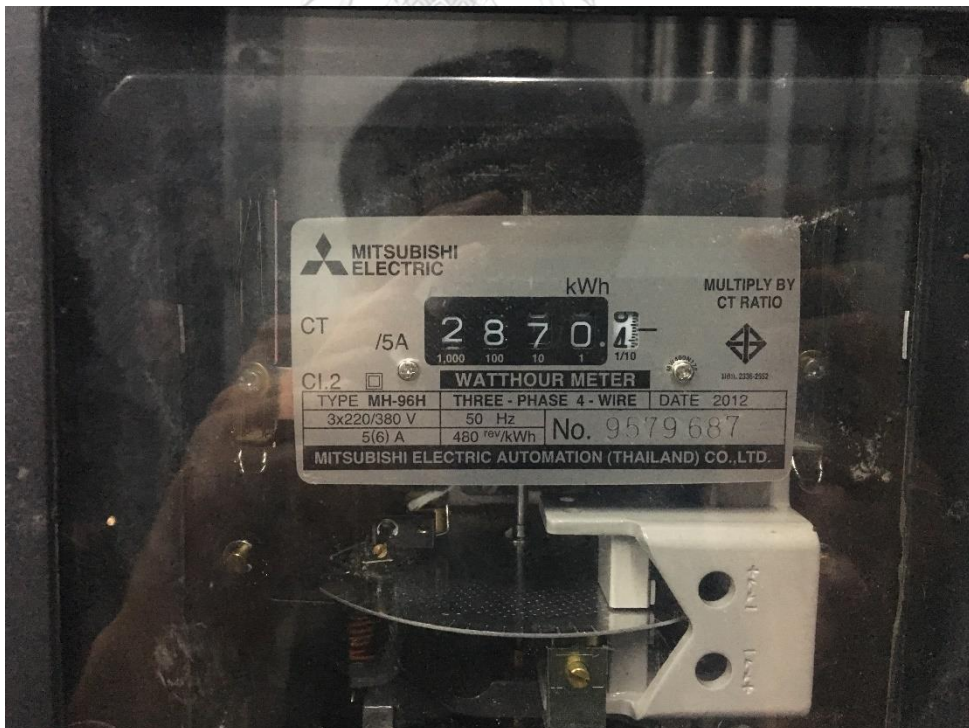
จ.1 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 17 มิถุนายน 2562



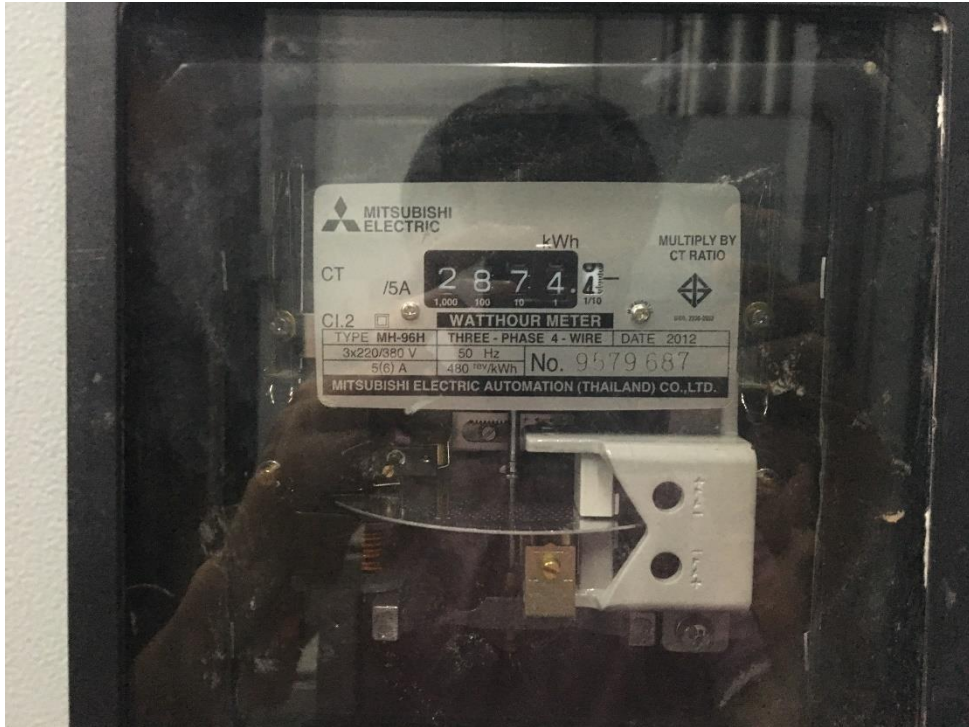
จ.2 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 18 มิถุนายน 2562



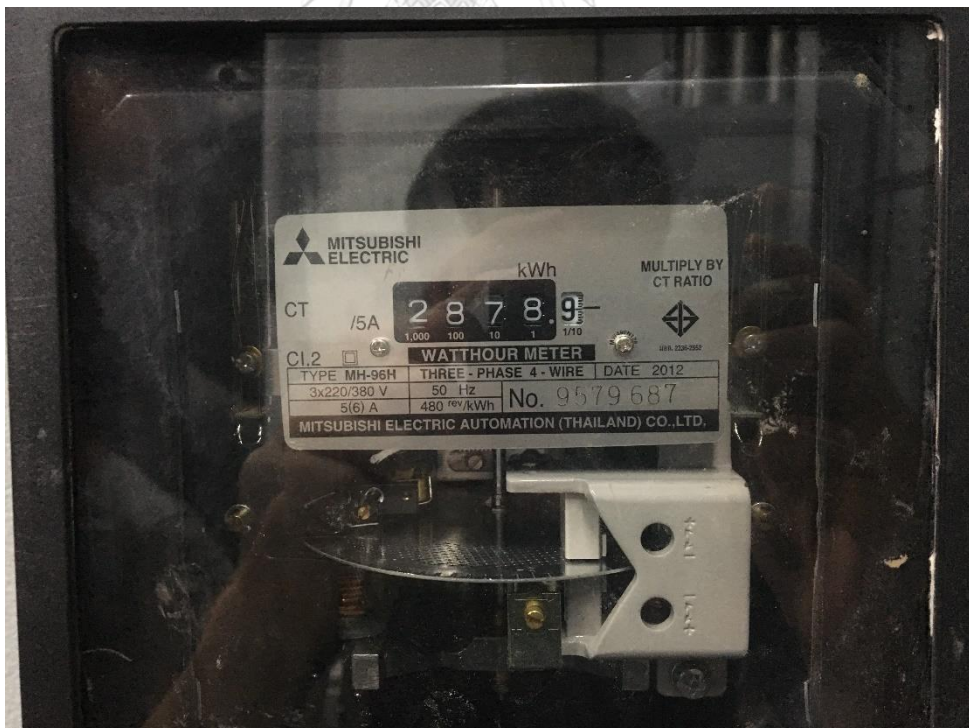
จ.3 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 19 มิถุนายน 2562



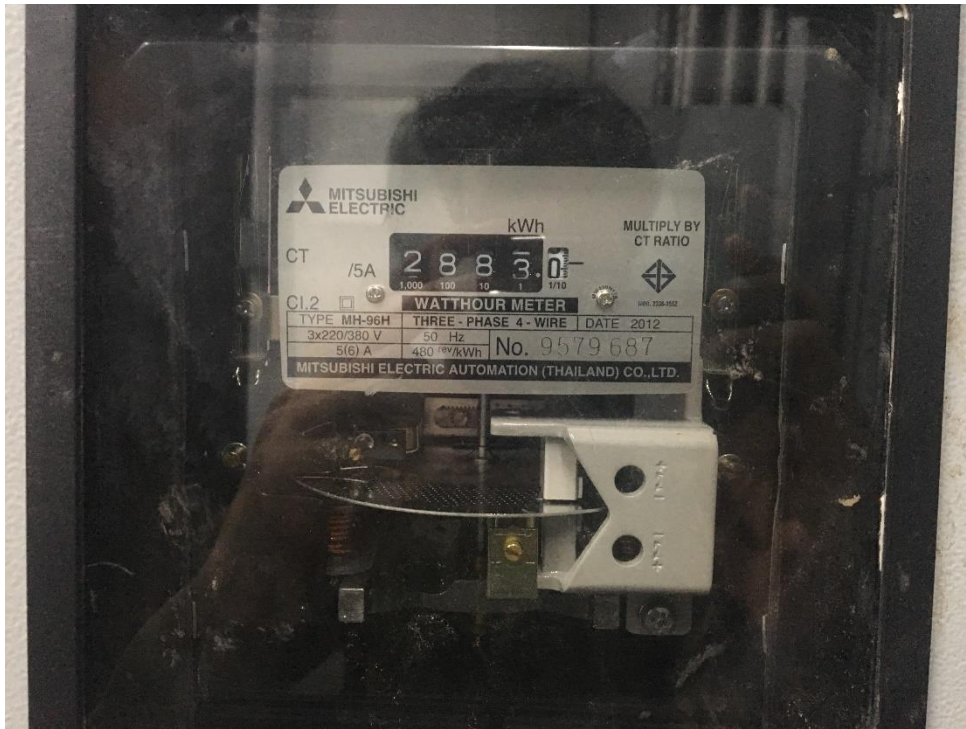
จ.4 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 20 มิถุนายน 2562



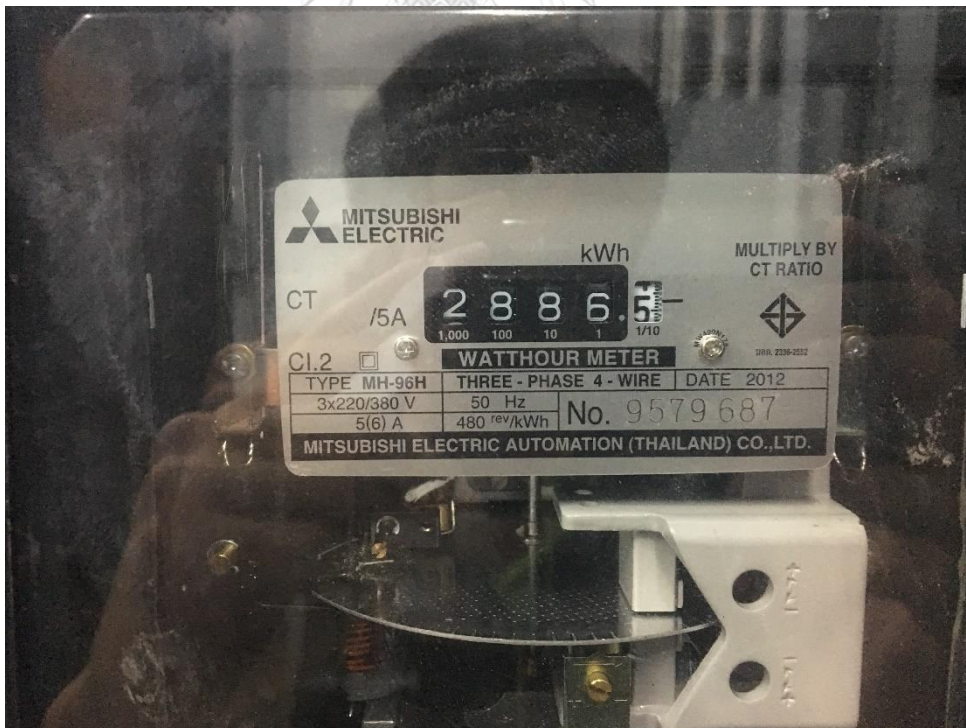
จ.5 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 21 มิถุนายน 2562



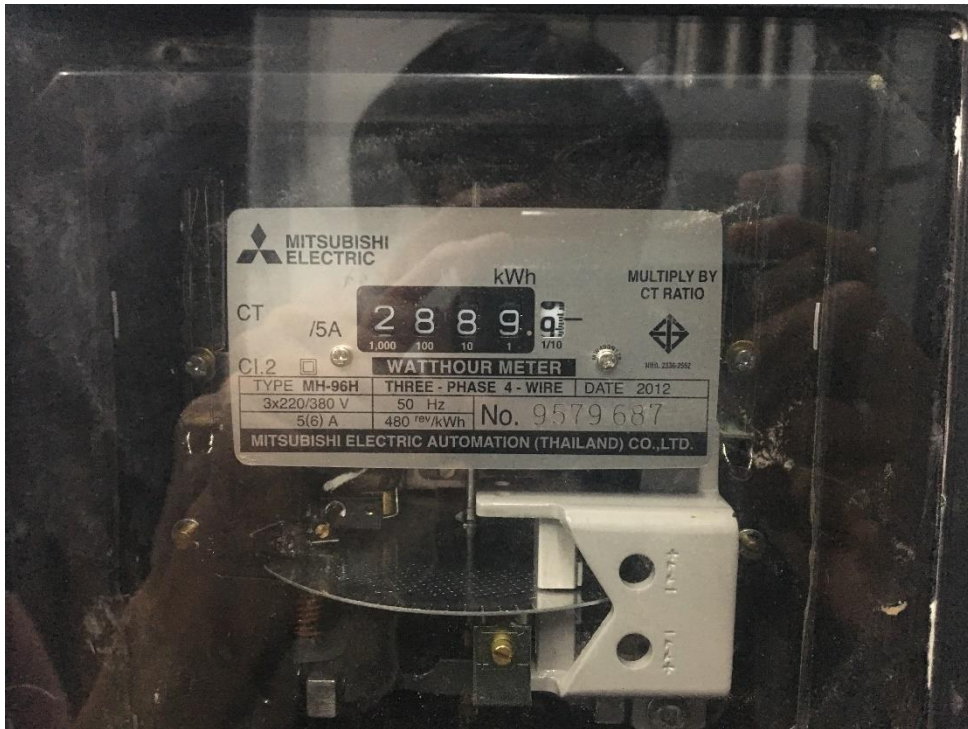
จ.6 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 22 มิถุนายน 2562



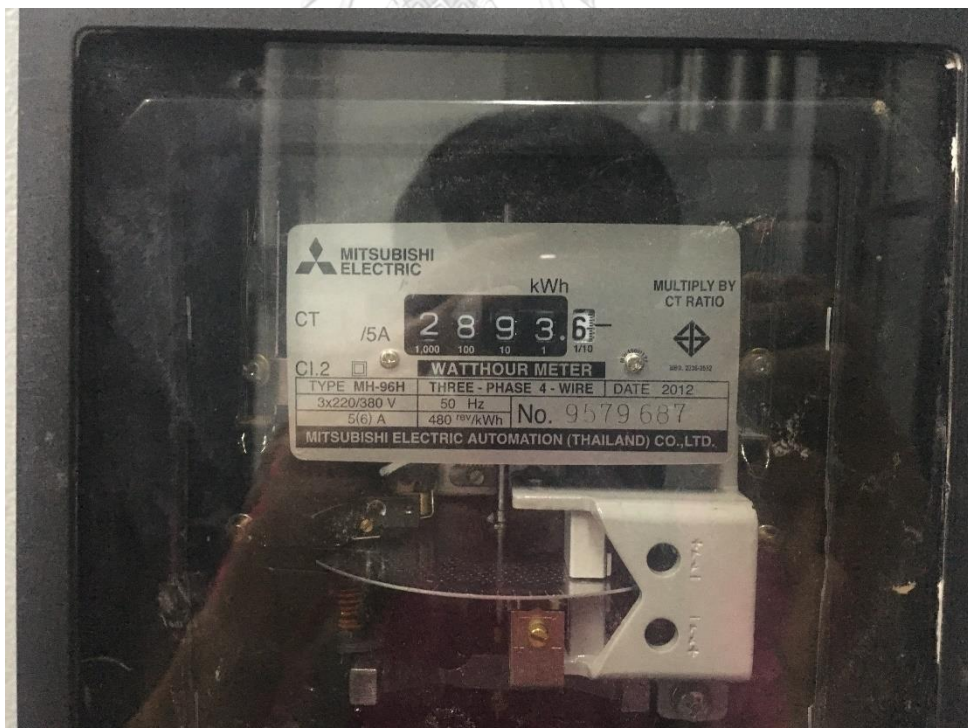
จ.7 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 23 มิถุนายน 2562



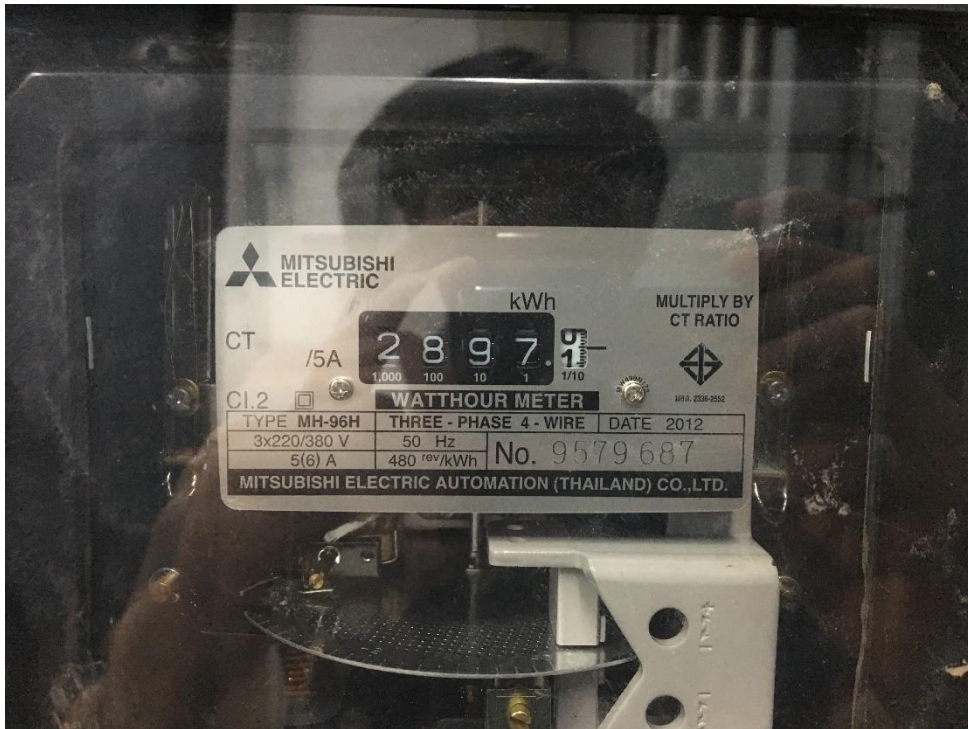
จ.8 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 24 มิถุนายน 2562



จ.9 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 25 มิถุนายน 2562



จ.10 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 26 มิถุนายน 2562

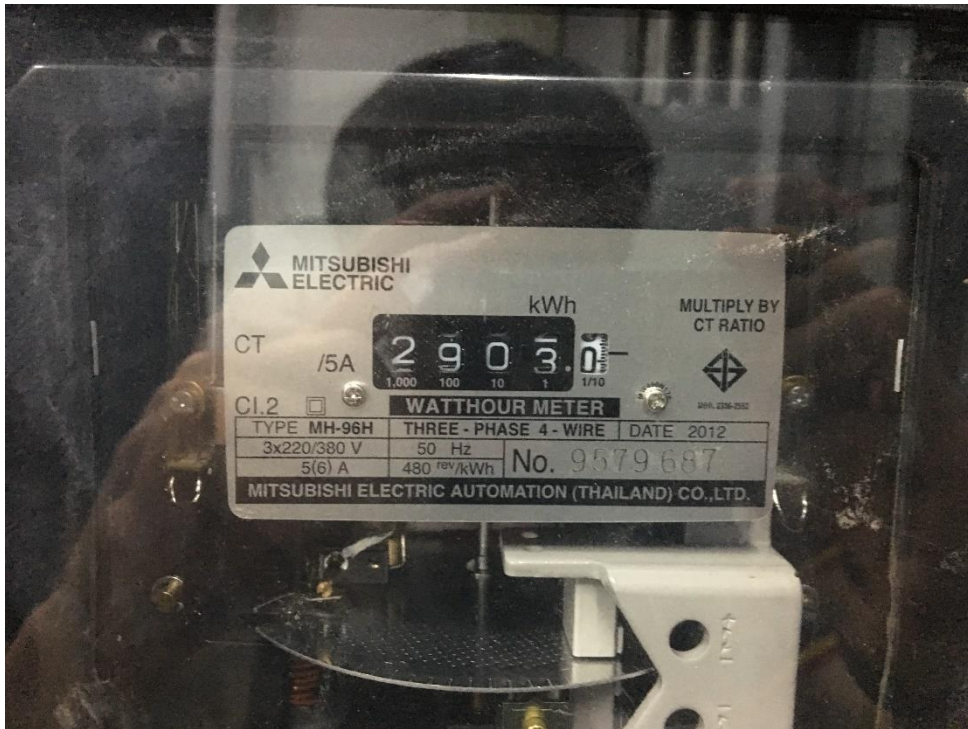


จ.11 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 27 มิถุนายน 2562



จ.12 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 28 มิถุนายน 2562

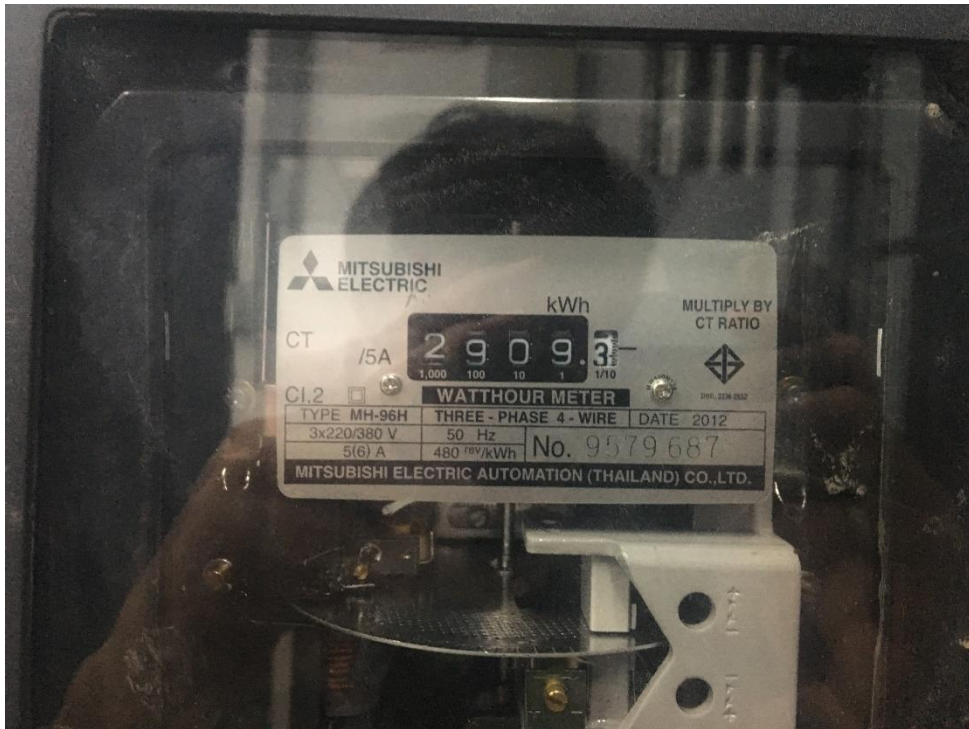




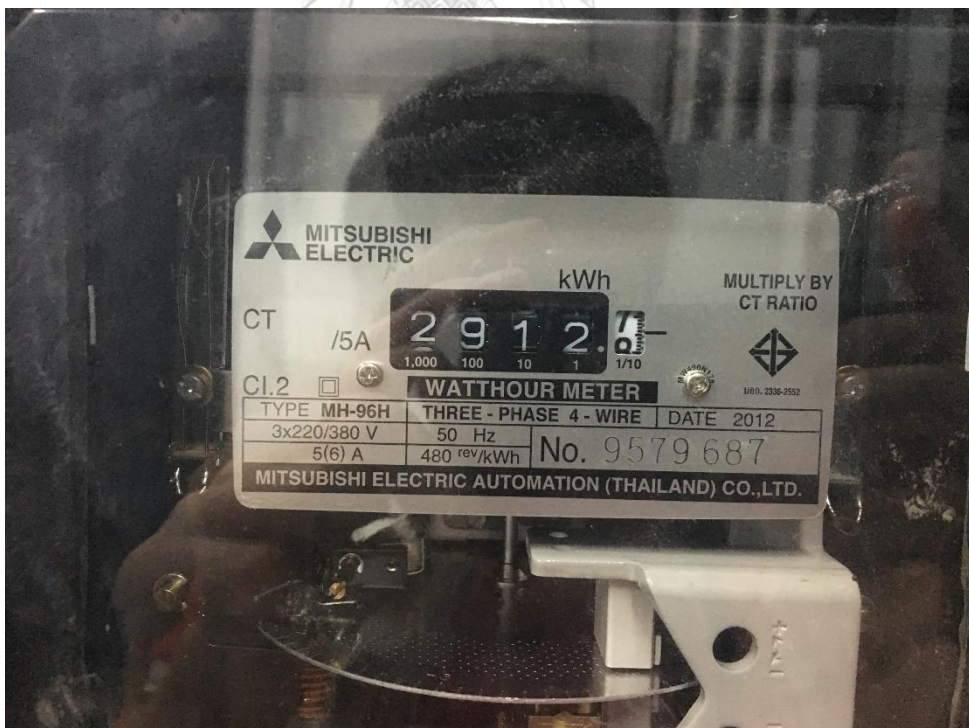
จ.13 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 29 มิถุนายน 2562



จ.14 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 30 มิถุนายน 2562



จ.15 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 1 กรกฎาคม 2562



จ.16 หน่วยวัดค่าไฟฟ้าจากมิเตอร์ของห้องสมุดชั้นที่ 2 ณ วันที่ 2 กรกฎาคม 2562



ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณขนาดปั๊มของเครื่องทำน้ำเย็น

Route Section	Description	Size (Inch)	Length/EQL (Ft)	Q'ty	Flow (GPM)	Friction Loss (Ft/100Ft)	Velocity (Ft/Sec)	Equip. Loss (Ft)	Total Dynamic Loss
From Chiller go	Pipe out from Chiller to Main Pipe	8	26.24	1	960	1.415	6.5	-	0.37
	Elbow 45	8	10.6	1	960	1.415	6.5	-	0.15
	Tee Branch	8	39.9	1	960	1.415	6.5	-	0.56
2 to 3	Main Pipe	14	51.988	1	2880	0.948	7	-	0.49
	Tee Line thru.	14	21.8	1	2880	0.948	7	-	0.21
3 to 4	Main Pipe	14	14.76	1	2745.56	0.865	6.5	-	0.13
	Tee Line	14	21.8	1	2745.56	0.865	6.5	-	0.19
4 to 5	Main Pipe	14	18.04	1	2611.12	0.786	6.2	-	0.14
	Tee Line	14	21.8	1	2611.12	0.786	6.2	-	0.17
5 to 6	Main Pipe	14	14.76	1	2465.08	0.705	5.8	-	0.10
	Tee Line	14	21.8	1	2465.08	0.705	5.8	-	0.15
6 to 7	Main Pipe	14	14.76	1	2290.8	0.613	5.4	-	0.09
	Tee Line	14	21.8	1	2290.8	0.613	5.4	-	0.13
7 to 8	Reduce	12	13	1	2116.52	0.847	6.1	-	0.11
	Main Pipe	12	14.76	1	2116.52	0.847	6.1	-	0.13
	Tee Line	12	19.9	1	2116.52	0.847	6.1	-	0.17
8 to 9	Main Pipe	12	16.728	1	1942.24	0.719	5.6	-	0.12
	Tee Line	12	19.9	1	1942.24	0.719	5.6	-	0.14
9 to 10	Main Pipe	12	16.728	1	1886.24	0.681	5.4	-	0.11
	Tee Line	12	19.9	1	1886.24	0.681	5.4	-	0.14
10 to 11	Main Pipe	12	24.6	1	1830.24	0.643	5.2	-	0.16
	Tee Line	12	19.9	1	1830.24	0.643	5.2	-	0.13
11 to 12	Reduce	10	11	1	1695.8	1.336	6.9	-	0.15
	Main Pipe	10	14.76	1	1695.8	1.336	6.9	-	0.20
	Tee Line	10	16.7	1	1695.8	1.336	6.9	-	0.22
12 to 13	Main Pipe	10	14.76	1	1561.36	1.142	6.4	-	0.17
	Tee Line	10	16.7	1	1561.36	1.142	6.4	-	0.19
13 to 14	Main Pipe	10	14.76	1	1426.92	0.962	5.8	-	0.14
	Tee Line	10	16.7	1	1426.92	0.962	5.8	-	0.16
14 to 15	Main Pipe	10	14.76	1	1292.48	0.797	5.3	-	0.12
	Tee Line	10	16.7	1	1292.48	0.797	5.3	-	0.13
15 to 16	Reduce	8	8.5	1	1158.04	2.024	7.4	-	0.17
	Main Pipe	8	14.76	1	1158.04	2.024	7.4	-	0.30
	Tee Line	8	13.3	1	1158.04	2.024	7.4	-	0.27

ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณขนาดปั๊มของเครื่องทำน้ำเย็น (ต่อ)

Route Section	Description	Size (Inch)	Length/EQL (Ft)	Q'ty	Flow (GPM)	Friction Loss (Ft/100Ft)	Velocity (Ft/Sec)	Equip. Loss (Ft)	Total Dynamic Loss	
16 to 17	Main Pipe	8	14.76	1	1023.6	1.599	6.6	-	0.24	
	Tee Line	8	13.3	1	1023.6	1.599	6.6	-	0.21	
17 to 18	Main Pipe	8	14.76	1	891.7	1.23	5.7	-	0.18	
	Tee Line	8	13.3	1	891.7	1.23	5.7	-	0.16	
18 to 19	Main Pipe	8	14.76	1	782.49	0.960	5.0	-	0.14	
	Tee Line	8	13.3	1	782.49	0.960	5.0	-	0.13	
19 to 20	Main Pipe	6	14.76	1	660.39	2.755	7.3	-	0.41	
	Tee Line	6	10.1	1	660.39	2.755	7.3	-	0.28	
	Reduce	4	3.8	1	660.39	2.755	7.3	-	0.10	
	Elbow 90	4	10.1	1	122.1	0.884	5.3	-	0.09	
	Pipe to AHU	4	6.56	1	122.1	0.884	5.3	-	0.06	
	Elbow 90	4	10.1	1	122.1	0.884	5.3	-	0.09	
	Pipe to AHU	4	49.2	1	122.1	0.884	5.3	-	0.43	
	Elbow 90	4	10.1	1	122.1	0.884	5.3	-	0.09	
	Pipe to AHU	4	8.2	1	122.1	0.884	5.3	-	0.07	
	Valve AHU (in\set)			1						
	Butterfly Valve	4	15.1	1	122.1	0.884	5.3	-	0.13	
	Strainer	4	83	1	122.1	0.884	5.3	-	0.73	
	Control Valve	4	114	1	122.1	0.884	5.3	-	1.01	
	Needle valve	4	0	1	122.1	0.884	5.3	-	0.00	
	Flexible	4	0	1	122.1	0.884	5.3	-	0.00	
	AHU 19			1	122.1	-	-	11.8	11.80	
	Valve AHU (out\set)			1						
	Flexible	4	0	1	122.1	0.884	5.3	-	0.00	
	Needle valve	4	0	1	122.1	0.884	5.3	-	0.00	
	Control Valve	4	114	1	122.1	0.884	5.3	-	1.01	
	Butterfly Valve	4	15.1	1	122.1	0.884	5.3	-	0.13	
	Pipe from AHU	4	6.56	1	122.1	0.884	5.3	-	0.06	
	Elbow 90	4	10.1	1	122.1	0.884	5.3	-	0.09	
	Pipe from AHU	4	44.28	1	122.1	0.884	5.3	-	0.39	
	Elbow 90	4	10.1	1	122.1	0.884	5.3	-	0.09	
	Pipe to AHU	4	4.92	1	122.1	0.884	5.3	-	0.04	
Tee Line	4	6.71	1	122.1	0.884	5.3	-	0.06		

ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณขนาดปั๊มของเครื่องทำน้ำเย็น (ต่อ)

Route Section	Description	Size (Inch)	Length/EQL (Ft)	Q'ty	Flow (GPM)	Friction Loss (Ft/100Ft)	Velocity (Ft/Sec)	Equip. Loss (Ft)	Total Dynamic Loss
20 to 21 Back	Pipe	6	3.28	1	538.29	1.866	6	-	0.06
	Elbow 90	6	15.2	1	538.29	1.866	6	-	0.28
	Pipe bypass	6	1.64	1	538.29	1.866	6	-	0.03
	Elbow 90	6	10.1	1	538.29	1.866	6	-	0.19
	Pipe	6	3.28	1	538.29	1.866	6	-	0.06
	Tee Line from AHU 19	6	30.3	1	538.29	1.866	6	-	0.57
21 to 22	Main Pipe	6	14.76	1	660.39	1.866	6	-	0.28
	Tee Line	6	30.3	1	660.39	1.866	6	-	0.57
22 to 23	Main Pipe	8	14.76	1	782.49	0.960	5	-	0.14
	flow from AHU 18				122.1				
	Tee Line	8	13.3	1	782.49	0.960	5	-	0.13
23 to 24	Main Pipe	8	14.76	1	891.7	1.230	5.7	-	0.18
	flow from AHU 17				109.21				
	Tee Line	8	13.3	1	891.7	1.230	5.7	-	0.16
24 to 25	Main Pipe	8	14.76	1	1023.6	1.599	6.6	-	0.24
	flow from AHU 16				131.9				
	Tee Line	8	13.3	1	1023.6	1.599	6.6	-	0.21
25 to 26	Main Pipe	8	14.76	1	1158.04	2.024	7.4	-	0.30
	flow from AHU 15				134.44				
	Tee Line	8	13.3	1	1158.04	2.024	7.4	-	0.27
26 to 27	Main Pipe	10	14.76	1	1292.48	0.797	5.3	-	0.12
	flow from AHU 14				134.44				
	Tee Line	10	16.7	1	1292.48	0.797	5.3	-	0.13
27 to 28	Main Pipe	10	14.76	1	1426.92	0.962	5.8	-	0.14
	flow from AHU 13				134.44				
	Tee Line	10	16.7	1	1426.92	0.962	5.8	-	0.16
28 to 29	Main Pipe	10	14.76	1	1561.36	1.142	6.4	-	0.17
	flow from AHU 12				134.44				
	Tee Line	10	16.7	1	1561.36	1.142	6.4	-	0.19
29 to 30	Main Pipe	10	14.76	1	1695.8	1.336	6.9	-	0.20
	flow from AHU 11				134.44				
	Tee Line	10	16.7	1	1695.8	1.336	6.9	-	0.22

ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณขนาดปั๊มของเครื่องทำน้ำเย็น (ต่อ)

Route Section	Description	Size (Inch)	Length/EQL (Ft)	Q'ty	Flow (GPM)	Friction Loss (Ft/100Ft)	Velocity (Ft/Sec)	Equip. Loss (Ft)	Total Dynamic Loss
30 to 31	Main Pipe	12	24.6	1	1830.24	1.546	7.4	-	0.38
	flow from AHU 10				134.44				
	Tee Line	12	19.9	1	1830.24	1.546	7.4	-	0.31
31 to 32	Main Pipe	12	16.728	1	1886.24	0.681	5.4	-	0.11
	flow from AHU 8				56				
	Tee Line	12	19.9	1	1886.24	0.681	5.4	-	0.14
32 to 33	Main Pipe	12	16.728	1	1942.24	0.719	5.6	-	0.12
	flow from AHU 7				56				
	Tee Line	12	19.9	1	1942.24	0.719	5.6	-	0.14
33 to 34	Main Pipe	12	14.76	1	2116.52	0.847	6.1	-	0.13
	flow from AHU 6				174.28				
	Tee Line	12	19.9	1	2116.52	0.847	6.1	-	0.17
34 to 35	Main Pipe	14	14.76	1	2290.8	0.613	5.4	-	0.09
	flow from AHU 5				174.28				
	Tee Line	14	21.8	1	2290.8	0.613	5.4	-	0.13
35 to 36	Main Pipe	14	14.76	1	2465.08	0.705	5.8	-	0.10
	flow from AHU 4				174.28				
	Tee Line	14	21.8	1	2465.08	0.705	5.8	-	0.15
36 to 37	Main Pipe	14	18.204	1	2611.12	0.786	6.2	-	0.14
	flow from AHU 3				146.04				
	Tee Line	14	21.8	1	2611.12	0.786	6.2	-	0.17
37 to 38	Main Pipe	14	14.76	1	2745.56	0.865	6.5	-	0.13
	flow from AHU 2				134.44				
	Tee Line	14	21.8	1	2745.56	0.865	6.5	-	0.19
38 to 1	Main Pipe	14	51.988	1	2880	0.948	6.8	-	0.49
	flow from AHU 1				134.44				
	Elbow 90	14	21.8	1	2880	0.948	6.8	-	0.21
1 to chiller	Tee Line	8	13.3	1	960	1.415	6.2	-	0.19
	Elbow 45	8	10.6	1	960	1.415	6.2	-	0.15
	Valve Pump (in) ก่อนเข้าปั๊ม			3	960				
	Butterfly Valve	8	29.9	1	960	1.415	6.2	-	0.42
	Strainer	8	167	1	960	1.415	6.2	-	2.36
	Flexible	8	0	1	960	1.415	6.2	-	0.00
	Valve Pump (out) หลังออกปั๊ม			3	960				
Flexible	8	0	1	960	1.415	6.2	-	0.00	

ตารางที่ ก.1 รายการคำนวณขนาดปั๊มของเครื่องทำน้ำเย็น (ต่อ)

Route Section	Description	Size (Inch)	Length/EQL (Ft)	Q'ty	Flow (GPM)	Friction Loss (Ft/100Ft)	Velocity (Ft/Sec)	Equip. Loss (Ft)	Total Dynamic Loss
1 to chiller	Swing Check Valve	8	33.3	1	960	1.415	6.2	-	0.47
	Butterfly Valve	8	29.9	1	960	1.415	6.2	-	0.42
	Valve Chiller (in)(set)			3					
	Butterfly Valve	8	29.9	1	960	1.415	6.2	-	0.42
	Control Valve (Globe valve)	8	226	1	960	1.415	6.2	-	3.20
	Flexible	8	0	1	960	1.415	6.2	-	0.00
	Valve Chiller (out)(set)			3					
	Flexible	8	0	1	960	1.415	6.2	-	0.00
	Flow switch	8	0	1	960	1.415	6.2	-	0.00
	Control Valve (Globe valve)	8	226	1	960	1.415	6.2	-	3.20
	Butterfly Valve	8	29.9	1	960	1.415	6.2	-	0.42
	Pipe from Main Pipe to Chiller	8	27.88	3	960	1.415	6.2	-	1.18
Chiller			3	960	-	-	20.1	20.1	
<b>Total</b>									<b>65.4</b>



ตารางที่ ก.2 รายการคำนวณขนาดปั๊มของหอทำความเย็น

Route Section	Description	Size (Inch)	Length/EQL (Ft)	Q'ty	Flow (GPM)	Friction Loss (Ft/100Ft)	Velocity (Ft/Sec)	Equip. Loss (Ft)	Total Dynamic Loss
Conden Plant	Condenser			3	1200	-	-	17.3	17.3
	Pipe to CT	10	55.104	1	1200	1.227	4.9	-	0.68
	Valve Conden (out)(set)			3	1200				
	Flexible	10	0	1	1200	1.227	4.9	-	0.00
	Flow switch	10	0	1	1200	1.227	4.9	-	0.00
	Control Valve (Globe valve)	10	284	1	1200	1.227	4.9	-	3.48
	Butterfly Valve	10	29.2	1	1200	1.227	4.9	-	0.36
1 to 2	out from plant	16	55.104	1	3600	1.308	6.5	-	0.72
	Elbow 90	16	23	1	3600	1.308	6.5	-	0.30
	Pipe to CT	16	377.2	1	3600	1.308	6.5	-	4.93
CT Plant	Elbow 90	10	16	1	1200	1.227	4.9	-	0.20
	Pipe to CT	10	13.12	1	1200	1.227	4.9	-	0.16
	Valve CT (in)(set)			2					
	Control Valve (Globe valve)	10	284	1	1200	1.227	4.9	-	3.48
	Butterfly Valve	10	29.2	1	1200	1.227	4.9	-	0.36
	Cooling tower			3	1200	-	-	16.73	16.73
	Pipe out from CT	16	49.2	1	3600	1.308	6.5	-	0.64
3 to 4	Elbow 90	16	23	1	3600	1.308	6.5	-	0.30
	Pipe to Conden	16	364.408	1	3600	1.308	6.5	-	4.77
Conden Plant	Elbow 45	10	13	1	1200	1.227	4.9	-	0.16
	Pipe to Conden	10	49.2	1	1200	1.227	4.9	-	0.60
	Valve pump (in)(set) ก่อนเข้าปั๊ม			3	1200				
	Butterfly Valve	10	29.2	1	1200	1.227	4.9	-	0.36
	Strainer	10	208	1	1200	1.227	4.9	-	2.55
	Flexible	10	0	1	1200	1.227	4.9	-	0.00
	Valve pump (out)(set) ออกจากปั๊ม			3	1200				
	Flexible	10	0	1	1200	1.227	4.9	-	0.00
	Swing Check Valve	10	41.8	1	1200	1.227	4.9	-	0.51
	Butterfly Valve	10	29.2	1	1200	1.227	4.9	-	0.36

ตารางที่ ก.2 รายการคำนวณขนาดปั๊มของหอทำความเย็น (ต่อ)

Route Section	Description	Size (Inch)	Length/EQL (Ft)	Q'ty	Flow (GPM)	Friction Loss (Ft/100Ft)	Velocity (Ft/Sec)	Equip. Loss (Ft)	Total Dynamic Loss
Conden Plant	Valve Conden (in)(set)			3					
	Butterfly Valve	10	29.2	1	1200	1.227	4.9	-	0.36
	Control Valve (Globe valve)	10	284	1	1200	1.227	4.9	-	3.48
	Flexible	10	0	1	1200	1.227	4.9	-	0.00
Total									62.80



ตารางที่ ก.3 ค่าแสงสว่างและการระบายอากาศที่ใช้งานจริงภายในอาคารเฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา  
ในแต่ละชั้น

Floor	Lighting (W)	Ventilation (m <sup>3</sup> /s-m <sup>2</sup> )
1(M2)	6048	0.00112
2	6664	0.00112
3 zone 1	2296	0.00114
3 zone 2	4200	0.00000
4 zone 1	1664	0.00156
4 zone 2	1664	0.00159
4 zone 3	1664	0.00159
4 zone 4	1664	0.00148
5 zone 1	1664	0.00156
5 zone 2	1664	0.00159
5 zone 3	1664	0.00159
5 zone 4	1664	0.00148
6 zone 1	1664	0.00156
6 zone 2	1664	0.00159
6 zone 3	1664	0.00159
6 zone 4	1664	0.00148
7	1872	0.00128
8	1872	0.00128
10	7134	0.00110
11	7134	0.00110
12	7134	0.00110
13	7134	0.00110
14	7134	0.00110
15	7134	0.00110
16	7134	0.00110
17	7134	0.00133
18	6798	0.00133
19	6798	0.00133

ตารางที่ ก.4 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นของอาคารเฉลิมราช  
กุมารี 60 พรรษา

No.	Condition	Electricity [MWh]	
1	VRF system	VRF Cooling	552.08
		Fans	150.24
		Pumps	
		Cooling tower Fans	
		<b>Total</b>	<b>702.32</b>
2	Chiller system pump constant flow Uniform load Chiller type 1	Chiller	489.99
		AHU Fans	133.21
		Pumps	177.35
		Cooling tower Fans	37.56
		<b>Total</b>	<b>838.10</b>
3	Chiller system pump variable flow Uniform load Chiller type 2	Chiller	477.16
		AHU Fans	133.21
		Pumps	117.58
		Cooling tower Fans	36.04
		<b>Total</b>	<b>763.99</b>
4	Chiller system pump constant flow Optimal Chiller type 3	Chiller	460.0
		AHU Fans	133.21
		Pumps	100.14
		Cooling tower Fans	35.65
		<b>Total</b>	<b>729.01</b>
5	Chiller system pump variable flow Optimal Chiller type 4	Chiller	416.14
		AHU Fans	133.21
		Pumps	69.98
		Cooling tower Fans	32.39
		<b>Total</b>	<b>651.72</b>

ตารางที่ ก.5 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีรายเดือนภายในอาคาร  
เฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร

Chiller pump constant flow Uniform (Chiller type 1)					
Months/ Electric Power	Chiller Electric Power [MWh]	Fan Electric Power [MWh]	Pump Electric Power [MWh]	Cooling Tower Fan Electric Power [MWh]	Total [MWh]
January	38.37	11.74	15.63	2.22	67.95
February	33.61	10.21	13.59	1.89	59.31
March	44.11	11.23	14.95	3.61	73.90
April	42.84	10.72	14.27	3.69	71.52
May	46.65	11.74	15.63	4.27	78.28
June	42.15	10.72	14.27	3.56	70.69
July	41.81	11.23	14.95	3.32	71.31
August	42.46	11.74	15.63	3.32	73.15
September	37.04	10.21	13.59	2.98	63.82
October	43.95	11.74	15.63	3.63	74.95
November	40.76	11.23	14.95	2.94	69.88
December	36.23	10.72	14.27	2.11	63.33
<b>Total</b>	<b>489.99</b>	<b>133.21</b>	<b>177.35</b>	<b>37.56</b>	<b>838.10</b>
Chiller pump variable flow Uniform (Chiller type 2)					
Months/ Electric Power	Chiller Electric Power [MWh]	Fan Electric Power [MWh]	Pump Electric Power [MWh]	Cooling Tower Fan Electric Power [MWh]	Total [MWh]
January	37.81	11.74	10.01	2.14	61.70
February	33.16	10.21	8.74	1.83	53.95
March	42.57	11.23	10.11	3.45	67.36
April	41.12	10.72	9.69	3.51	65.03
May	44.70	11.74	10.54	4.05	71.03
June	40.76	10.72	9.66	3.40	64.55
July	40.92	11.23	9.96	3.21	65.33
August	41.61	11.74	10.31	3.21	66.88
September	36.40	10.21	8.98	2.90	58.48
October	42.83	11.74	10.41	3.50	68.48
November	39.63	11.23	9.88	2.80	63.54
December	35.64	10.72	9.28	2.03	57.67
<b>Total</b>	<b>477.16</b>	<b>133.21</b>	<b>117.58</b>	<b>36.04</b>	<b>763.99</b>

ตารางที่ ก.5 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีรายเดือนภายในอาคาร  
เฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร (ต่อ)

Chiller pump constant flow Optimal (Chiller type 3)					
Months/ Electric Power	Chiller Electric Power [MWh]	Fan Electric Power [MWh]	Pump Electric Power [MWh]	Cooling Tower Fan Electric Power [MWh]	Total [MWh]
January	31.67	11.74	8.03	2.18	53.62
February	28.09	10.21	7.02	1.89	47.21
March	44.98	11.23	9.49	3.52	69.22
April	44.84	10.72	9.56	3.65	68.76
May	46.96	11.74	9.67	3.97	72.34
June	42.20	10.72	8.51	3.34	64.76
July	39.00	11.23	8.06	3.07	61.36
August	38.11	11.74	8.12	3.03	61.00
September	33.66	10.21	7.10	2.71	53.68
October	41.42	11.74	8.48	3.32	64.96
November	38.06	11.23	8.58	2.86	60.73
December	31.00	10.72	7.52	2.12	51.36
<b>Total</b>	<b>460.01</b>	<b>133.21</b>	<b>100.14</b>	<b>35.65</b>	<b>729.01</b>
VRF system					
Months/ Electric Power	VRF Electric Power [MWh]	VRF Air Terminal Cooling Electric Power [MWh]	Fan Electric Power [MWh]	Total [MWh]	
January	38.00	0.46	13.23	51.70	
February	32.59	0.42	11.50	44.51	
March	50.17	0.47	12.66	63.31	
April	49.72	0.45	12.09	62.26	
May	54.52	0.47	13.24	68.23	
June	49.32	0.45	12.09	61.87	
July	48.83	0.47	12.67	61.96	
August	47.80	0.47	13.24	61.52	
September	43.06	0.45	11.51	55.03	
October	51.10	0.47	13.24	64.81	
November	44.40	0.45	12.66	57.52	
December	37.06	0.47	12.09	49.61	
<b>Total</b>	<b>546.58</b>	<b>5.50</b>	<b>150.24</b>	<b>702.32</b>	

ตารางที่ ก.5 ผลการจำลองพลังงานของระบบปรับอากาศทุกชนิดตลอดทั้งปีรายเดือนภายในอาคาร  
เฉลิมราชกุมารี 60 พรรษา ของทุกชั้นในอาคาร (ต่อ)

Chiller pump variable flow Optimal (Chiller type 4)					
Months/ Electric Power	Chiller Electric Power [MWh]	Fan Electric Power [MWh]	Pump Electric Power [MWh]	Cooling Tower Fan Electric Power [MWh]	Total [MWh]
January	30.23	11.74	5.77	2.09	49.83
February	26.72	10.21	5.07	1.81	43.80
March	38.66	11.23	6.12	3.03	59.04
April	37.63	10.72	5.91	3.03	57.29
May	40.69	11.74	6.39	3.44	62.26
June	37.07	10.72	5.86	2.97	56.61
July	36.10	11.23	5.95	2.88	56.17
August	35.98	11.74	6.11	2.90	56.72
September	31.63	10.21	5.32	2.59	49.75
October	37.87	11.74	6.22	3.08	58.91
November	34.22	11.23	5.85	2.57	53.87
December	29.33	10.72	5.41	2.01	47.47
<b>Total</b>	<b>416.14</b>	<b>133.21</b>	<b>69.98</b>	<b>32.39</b>	<b>651.72</b>

ตารางที่ ก.6 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานเพียงบางชั้นของอาคารเฉลิม  
ราชกุมารี 60 พรรษา

No.	Condition	Electricity	VRF system [MWh]	Chiller pump constant flow uniform [MWh]	Chiller pump variable flow uniform [MWh]	Chiller pump constant optimal [MWh]	Chiller pump variable optimal [MWh]
1	Running 1-10 floor (5860.83 m2) 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun	VRF/Chiller Cooling	260.96	370.17	368.83	240.38	237.14
		Indoor/ AHU Fans	71.67	68.78	68.78	68.78	68.78
		Pumps		177.35	106.48	89.28	58.31
		Cooling tower Fans		20.33	20.05	18.25	17.78
		<b>Total</b>	<b>332.63</b>	<b>636.62</b>	<b>564.13</b>	<b>416.69</b>	<b>382.01</b>
2	Running 1-11 floor (6631.37 m2) 9.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun	VRF/Chiller Cooling	294.68	377.36	374.84	257.54	253.76
		Fans	80.81	76.01	76.01	76.01	76.01
		Pumps		177.35	107.79	89.54	59.67
		Cooling tower Fans		21.62	21.00	20.17	19.73
		<b>Total</b>	<b>375.49</b>	<b>652.35</b>	<b>579.64</b>	<b>443.26</b>	<b>409.17</b>
3	Running 1-12 floor (7401.91 m2) 9.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun	VRF/Chiller Cooling	320.77	387.90	384.25	275.79	271.68
		Fans	91.34	83.31	83.31	83.31	83.31
		Pumps		177.35	109.08	89.79	61.03
		Cooling tower Fans		23.46	22.64	22.05	21.63
		<b>Total</b>	<b>412.11</b>	<b>672.03</b>	<b>599.28</b>	<b>470.94</b>	<b>437.66</b>
4	Running 1-13 floor (8172.45 m2) 9.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun	VRF/Chiller Cooling	362.43	400.15	395.91	294.93	290.61
		Fans	99.10	90.56	90.56	90.56	90.56
		Pumps		177.35	110.39	90.06	62.40
		Cooling tower Fans		25.48	24.59	23.84	23.44
		<b>Total</b>	<b>461.53</b>	<b>693.54</b>	<b>621.45</b>	<b>499.39</b>	<b>467.01</b>
5	Running 1-16 floor (10484.07 m2) 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun	VRF/Chiller Cooling	464.66	442.16	436.85	363.04	353.27
		Fans	126.09	112.48	112.48	112.48	112.48
		Pumps		177.35	114.25	90.79	66.47
		Cooling tower Fans		31.64	30.76	29.09	28.42
		<b>Total</b>	<b>590.75</b>	<b>763.63</b>	<b>694.34</b>	<b>595.40</b>	<b>560.64</b>



ตารางที่ ก.7 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นโดยปิดการใช้งานระหว่างวัน

No.	Condition	Electricity	Chiller pump constant flow Uniform [MWh]	Chiller pump variable flow Uniform [MWh]	Chiller pump constant flow Optimal [MWh]	VRF system [MWh]	Chiller pump variable flow Optimal [MWh]
1	Running all floor 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun <b>Not close</b>	VRF Cooling/Chiller	489.99	477.16	460.01	552.08	416.14
		Indoor/AHU Fans	133.21	133.21	133.21	150.24	133.21
		Pumps	177.40	117.58	100.14		69.98
		Cooling tower Fans	37.56	36.04	35.65		32.39
		<b>Total</b>	<b>838.16</b>	<b>763.99</b>	<b>729.01</b>	<b>702.32</b>	<b>651.72</b>
2	Running all floor 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun <b>close 12:15-12:45 (0.5hr)</b>	VRF Cooling/Chiller	465.94	457.26	439.18	520.88	400.29
		Indoor/AHU Fans	125.76	125.76	125.76	141.86	125.76
		Pumps	167.50	111.31	95.74		67.09
		Cooling tower Fans	35.56	34.44	33.98		31.08
		<b>Total</b>	<b>794.77</b>	<b>728.77</b>	<b>694.66</b>	<b>662.75</b>	<b>624.22</b>
	Energy reduce	Reduce [MWh]	43.39	35.22	34.35	39.57	27.50
		Reduce [%]	-5.18	-4.61	-4.71	-5.63	-4.22
3	Running all floor 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun <b>close 12:00-13:00 (1.0hr)</b>	VRF Cooling/Chiller	443.62	434.81	419.16	502.54	382.10
		Indoor/AHU Fans	118.33	118.33	118.33	133.51	118.33
		Pumps	157.64	105.01	91.14		63.59
		Cooling tower Fans	33.90	32.75	32.35		29.55
		<b>Total</b>	<b>753.49</b>	<b>690.89</b>	<b>660.98</b>	<b>636.05</b>	<b>593.57</b>
	Energy reduce	Reduce [MWh]	84.67	73.09	68.03	66.27	58.16
		Reduce [%]	-10.10	-9.57	-9.33	-9.44	-8.92
4	Running all floor 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun <b>close 11:45-13:15 (1.5hr)</b>	VRF Cooling/Chiller	419.90	411.61	399.25	480.56	363.30
		Indoor/AHU Fans	110.89	110.89	110.89	125.16	110.89
		Pumps	147.79	98.74	86.56		60.16
		Cooling tower Fans	32.11	31.01	30.74		28.00
		<b>Total</b>	<b>710.69</b>	<b>652.25</b>	<b>627.43</b>	<b>605.72</b>	<b>562.35</b>
	Energy reduce	Reduce [MWh]	127.47	111.74	101.58	96.60	89.38
		Reduce [%]	-15.21	-14.63	-13.93	-13.75	-13.71
5	Running all floor 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun <b>close 11:30-13:30 (2.0hr)</b>	VRF Cooling/Chiller	395.66	388.34	378.72	455.28	344.36
		Indoor/AHU Fans	103.46	103.46	103.46	116.81	103.46
		Pumps	137.91	92.44	81.82		56.76
		Cooling tower Fans	30.24	29.26	29.04		26.45
		<b>Total</b>	<b>667.28</b>	<b>613.50</b>	<b>593.05</b>	<b>572.09</b>	<b>531.03</b>
	Energy reduce	Reduce [MWh]	170.88	150.49	135.96	130.23	120.69
		Reduce [%]	-20.39	-19.70	-18.65	-18.54	-18.52

ตารางที่ ก.7 ผลการจำลองพลังงานจากการกำหนดรูปแบบการใช้งานทุกชั้นโดยปิดการใช้งานระหว่างวัน (ต่อ)

No.	Condition	Electricity	Chiller pump constant flow Uniform [MWh]	Chiller pump variable flow Uniform [MWh]	Chiller pump constant flow Optimal [MWh]	VRF system [MWh]	Chiller pump variable flow Optimal [MWh]
6	Running all floor 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun <b>close 11:15-13:45 (2.5hr)</b>	VRF Cooling/Chiller	372.37	364.89	358.39	429.03	325.32
		Indoor/AHU Fans	96.04	96.04	96.04	108.45	96.04
		Pumps	128.09	86.16	77.04		53.32
		Cooling tower Fans	28.49	27.50	27.42		24.89
		Total	624.98	574.59	558.90	537.48	499.57
	Energy reduce	Reduce [MWh]	213.18	189.40	170.11	164.84	152.15
		Reduce [%]	-25.43	-24.79	-23.33	-23.47	-23.35
7	Running all floor 8.00 - 17.00 Mon-Fri close Sat-Sun <b>close 11:00-14:00 (3.0hr)</b>	VRF Cooling/Chiller	348.09	341.16	337.24	401.23	305.67
		Indoor/AHU Fans	88.62	88.62	88.62	100.11	88.62
		Pumps	118.23	79.84	72.17		49.81
		Cooling tower Fans	26.63	25.71	25.72		23.29
		Total	581.57	535.32	523.74	501.33	467.39
	Energy reduce	Reduce [MWh]	256.59	228.67	205.27	200.99	184.33
		Reduce [%]	-30.61	-29.93	-28.16	-28.62	-28.28

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อุกฤษฏ์ ใจงาม
วัน เดือน ปี เกิด	23 มกราคม 2535
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2554
ที่อยู่ปัจจุบัน	80 ประชาณุกุล 3 ซอย 1 เขตบางซื่อ แขวงวงศ์สว่าง กรุงเทพมหานคร 10800



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY