# กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

# Case Study Variable Refrigerant Flow (VRF) in Engineering Buildings at Naresuan University


| | | |
|---|---|---|
| นายจิตรดิลก | ชูเพชร | รหัส 54360599 |
| นายสรวิศ | มาพิจารณ์ | รหัส 54360872 |
| นายศิวัช | หริ่มสืบ | รหัส 54363408 |



ว.687385


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557

# ใบรับรองโครงงาน

**หัวข้อโครงงาน** กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสาร ทำความเย็น (VRF )สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

**ผู้ดำเนิน**โครงงาน

| | | |
|---|---|---|
| นายจิตรดิลก | ชูเพชร | รหัสนิสิต 54360599 |
| นายสรวิศ | มาพิจารณ์ | รหัสนิสิต 54360872 |
| นายศิวัช | หริ่มสืบ | รหัสนิสิต 54363408 |

**ที่ปรึกษา**โครงงาน ผศ.ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์

**ภาควิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

**ปีการศึกษา** 2557

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรอนุมัติให้โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร บัณฑิตสาขาวิศวกรรมเครื่องกล

**คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล**

.....ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.นินนาทราชประดิษฐ์)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(อ.สุรเจษฎ์ สุขไชยพร)

# บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีขั้นตอนคือ สำรวจอาคารลักษณะการใช้งานอาคาร วิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็น เลือก Evaporator จากภาระทำความเย็นและลักษณะการใช้งานของแต่ละห้อง จัดกลุ่มห้องเพื่อเลือก Condenser วางระบบท่อสารทำความเย็น เปรียบเทียบราคากับระบบปรับอากาศชนิดอื่น และศึกษางานการติดตั้งจริงจากงานติดตั้งระบบปรับอากาศ(VRF)ของอาคาร CITCOM

จากการออกแบบพบว่าโมเดล Evaporator ที่เหมาสมคือ4 Way cassette และกลุ่มห้องถูกจัดให้มีภาระทำความเย็นที่ใกล้เคียงกันเพื่อเลือกโมเดล Condenser รุ่นเดียวกัน ซึ่งอาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ Condenser สูงสุด 11 ตัว และราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF สูงสุดอยู่ที่ 18.9 ล้านบาท คิดเป็น4.2 บาท/Btu/hrระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Chiller) สูงสุดอยู่ที่ 11.6 ล้านบาท คิดเป็น2.6 บาท/Btu/hrและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน(Sprit type) สูงสุดอยู่ที่ 7.5 ล้านบาท คิดเป็น1.7 บาท/Btu/hr ซึ่งราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF สูงที่สุด

# Abstract

The project aims to study and design of air conditioning system.Variable Refrigerant Flow (VRF) for the Faculty of Engineering at Naresuan University.

The steps areexplore the building, the use of the building,the cooling load analysis, selection evaporator from the cooling load and usage of each room,group rooms to choose condenser, the system's refrigerant pipes, compare prices with other types of air conditioning systems.And study the actual installation of the installation of air conditioning systems (VRF) of the building CITCOM. The design of the model is the right Evaporator 4 Way cassetteand the room was provided with the cooling load similar to the Condenser model.Engineering Building, which is the maximum condenser 11 and the device VRF system the most at 18.9 million baht to 4.2 baht/Btu/hr, Chiller air conditioning system, up to 11.6 million baht to 2.6 baht/Btu/hr, and air conditioning systems Sprit type a maximum of 7.5 million baht to 1.7 baht/Btu/ hr.The highest price for the equipment of VRF systems.

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยเรื่อง “กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร” ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีก็เนื่องจากความอนุเคราะห์ให้การช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.นินนา ราชประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน รวมทั้งนิติบุคคลและบุคคลหลายท่าน ที่ให้ข้อมูลในการวิจัยและคำแนะนำในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

- บริษัทYORK by JOHNSON CONTROLS
- คุณสุเมธี อริวันนา Sales Engineer ของ บริษัทYORK by JOHNSON CONTROLS
- กองแผนงานคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร
- เพื่อนผู้จัดทำโครงงาน กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สุดท้ายนี้ขอขอบใจเพื่อนๆ ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจมาโดยตลอด

นายจิตรดิลก ชูเพชร
นายสรวิศ มาพิจารณ์
นายศิวัช หริ่มสืบ

( คณะผู้นำเดินโครงการ )

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| ใบรับรองโครงงานวิศวกรมเครื่องกล | ก |
| บทคัดย่อ | ข |
| Abstract | ค |
| กิตติกรรมประกาศ | ง |
| สารบัญ | จ |
| สารบัญตาราง | ซ |
| สารบัญรูปภาพ | ญ |
| รายการสัญลักษณ์ | ฐ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงงาน | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 4 |
| 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน | 4 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี | 5 |
| 2.1 หลักการของระบบปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น | 5 |
| 2.2 ชนิดของระบบปรับอากาศ | 7 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของห้อง | 26 |
| 2.4 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องปรับอากาศ | 32 |
| 2.5 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ | 46 |
| 2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ | 48 |
| 2.7 วรรณกรรมปริทรรศน์ | 50 |
| บทที่ 3 วิเคราะห์ผลการทดลอง | 51 |
| 3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง | 51 |
| 3.2 สำรวจผังอาคารวิศวกรรมศาสตร์และข้อมูลการติดตั้งระบบปรับอากาศ | 51 |
| 3.3 ประมาณค่าภาระการทำความเย็นของอาคาร | 51 |
| 3.4 สำรวจการใช้งานระบบปรับอากาศของอาคาร | 51 |
| 3.5ศึกษาข้อมูลรายละเอียดทั้งทางด้านเทคนิคและราคาของระบบ VRF | 52 |
| 3.6ประเมินราคาค่าอุปกรณ์ของ VRF | 52 |
| 3.7เปรียบเทียบราคาค่าอุปกรณ์ของ VRF กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และแบบแยกส่วน | 52 |
| บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล | 53 |
| 4.1 การสำรวจอาคาร | 53 |
| 4.2 การออกแบบระบบ VRF กับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ | 54 |
| 4.3 ประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง | 77 |
| 4.4 ศึกษางานติดตั้งจริง | 78 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง | 80 |
| เอกสารอ้างอิง | 84 |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก รูปการติดตั้งจริง | 85 |
| ภาคผนวก ข ตารางการเลือกอุปกรณ์ | 90 |
| ภาคผนวก ค โครงงานแบบย่อ | 119 |
| ภาคผนวก ง โปสเตอร์ | 128 |
| ข้อเสนอแนะ | 130 |
| ประวัติผู้จัดทำโครงงาน | 131 |

# สารบัญตาราง


หน้า

ตารางที่ 1.1 การดำเนินงาน 3

ตารางที่ 2.1แสดงตัวอย่างการเลือกท่อทองแดง 20

ตารางที่ 2.2แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท 22

ตารางที่ 2.3แสดงการคำนวณหาภาระทำความเย็นแบบสำเร็จรูป 31

ตารางที่ 2.4ระยะห่างของCondenserกับสิ่งกีดขวางโดยรอบ 35

ตารางที่ 2.5ความยาวท่อและผลต่างความสูงที่อนุญาตสำหรับเครื่อง VRF 36

ตารางที่ 2.6การแปลงความยาวสมมูลของข้องอและข้อดักน้ำมัน 37

ตารางที่ 2.7การเดินท่อระหว่างท่อแยกและEvaporator ขนาดควรตรงกับ
ขนาดของรูท่อของEvaporator 37

ตารางที่ 4.1 ท่อและข้อต่อของระบบท่อสารทำความเย็นในอาคารวิศวกรรม 71

ตารางที่ 4.2เปรียบเทียบราคาของระบบปรับอากาศแต่ละระบบ 77

ตารางที่ 5.1จำนวนและขนาดของEvaporatorชนิด4 Way cassette ของบริษัท YORK 81

ตารางที่ 5.2จำนวนและขนาดของCondenserของอาคารวิศวกรรมอุตสาหการ 81

ตารางที่ 5.3จำนวนและขนาดของCondenserของอาคารวิศวกรรมโยธา 82

ตารางที่ 5.4จำนวนและขนาดของCondenserของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า 82

ตารางที่ 5.5แสดงค่าใช้จ่ายของแต่ละส่วนงาน 83

# สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา 91

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล 99

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า 107

ตารางที่ ข.4แสดงการเลือก Condenser และราคา 118

# สารบัญรูปภาพ


| | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 1.1ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) | 1 |
| รูปที่ 2.1วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ | 5 |
| รูปที่ 2.2หลักการของวัฏจักรทำความเย็น | 6 |
| รูปที่ 2.3แฟนคอยล์ยูนิตและคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน | 7 |
| รูปที่ 2.4ภาพจำลองการไหลเวียนของสารทำความเย็นภายในระบบ | 8 |
| รูปที่ 2.5การติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน | 9 |
| รูปที่ 2.6ลักษณะของเครื่องชิลเลอร์ | 12 |
| รูปที่ 2.7ลักษณะของ compressor | 13 |
| รูปที่ 2.8ระบบปรับอากาศแบบครบชุดในตัวระบายความร้อนด้วยอากาศ | 14 |
| รูปที่ 2.9 แผนผังวัฏจักรการทำงานของ Packaged Water-cooled | 15 |
| รูปที่ 2.10 Cooling Tower | 16 |
| รูปที่ 2.11 ลักษณะของระบบเทคโนโลยี VRV | 17 |
| รูปที่ 2.12 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันในระบบ VRF | 18 |
| รูปที่ 2.13 ท่อทองแดงชำรุด | 19 |
| รูปที่ 2.14 การจัดเก็บท่อทองแดงไม่ถูกต้อง มีฝุ่น ไม่ปิดปลายท่อ และวางกับพื้นคอนกรีตโดยตรง | 21 |
| รูปที่ 2.15 การจัดเก็บท่อทองแดงที่ถูกต้อง ปิดหัวท้าย และไม่วางสัมผัสกับคอนกรีตโดยตรง | 21 |
| รูปที่ 2.16 Cassette type ของ samsung | 40 |
| รูปที่ 2.17cassette type ของ york | 40 |

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.18Duct type ของ samsung 41

รูปที่ 2.19Duct type ของ Daikin 41

รูปที่ 2.20Wall type ของ Mitsubishi 42

รูปที่ 2.21 Wall type ของ Samsung 42

รูปที่ 2.22FloorCeiling typeของ york 43

รูปที่ 2.23FloorCeiling type ของDaikin 43

รูปที่ 2.24Package type ของ Daikin 44

รูปที่ 2.25Package type ของ Samsung 44

รูปที่ 2.26Window type ของ Central air 45

รูปที่ 4.1 การจัดกลุ่มห้องตึก IE ชั้น1-3 55

รูปที่ 4.2 การจัดกลุ่มห้องตึก IE ชั้น 4-5 56

รูปที่ 4.3 การจัดกลุ่มห้องตึก CE ชั้น 1-3 57

รูปที่ 4.4 การจัดกลุ่มห้องตึก CE ชั้น 4-5 58

รูปที่ 4.5 การจัดกลุ่มห้องตึก EE ชั้น 1-3 59

รูปที่ 4.6 การจัดกลุ่มห้องตึก EE ชั้น 4-6 60

รูปที่ 4.7 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมอุตสาหการชั้น 1-2 62

รูปที่ 4.8 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมอุตสาหการชั้น 3-5 63

รูปที่ 4.9 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมโยธาชั้น 1-2 64

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า


รูปที่ 4.10 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมโยธาชั้น 3-5 65

รูปที่ 4.11 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมไฟฟ้าชั้น 1-3 66

รูปที่ 4.12 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมไฟฟ้าชั้น 3-6 67

รูปที่ 4.13 ท่อทองแดงของ York 68

รูปที่ 4.14 ข้อต่อรูปตัว Y 69

รูปที่ 4.15 ข้อต่อตรง 69

รูปที่ 4.16 ท่อสำหรับต่อเข้า 70

รูปที่ 4.17ท่อสำหรับต่อเข้า 79

รูปก 1 ชุด Condenser บนพื้นข้างตัวอาคาร 86

รูป ก2 ชุด Condenser บนดาดฟ้าอาคาร 86

รูป ก3Compressor และ Control ของ Condenser 86

รูปก 4 ท่อสารทำความเย็น 87

รูป ก 5 ฉนวนใช้หุ้มท่อสารทำความเย็น 87

รูป ก 6 การเดินท่อสารทำความเย็นภายใน 88

รูป ก 7 สารทำความเย็นที่ใช้ในระบบ(R410A) 88

รูป ก 8 การติดตั้ง Evaporator 89

รูป ก 9 การใช้งานจริง 89

# รายการสัญลักษณ์

| สัญลักษณ์ | | หน่วย |
|---|---|---|
| $Q$ | คือปริมาณความร้อน | $W$ |
| $Btu/hr$ | | |
| $Q_H$ | คือปริมาณความร้อนที่ออกจากคอนเดนเซอร์ | $W$ |
| $Q_L$ | คือปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อีวาบโพเรเตอร์ | $W$ |
| $W_{net,in}$ | คืองานทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ | $J$ |
| $COP$ | คืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน | - |
| $EER$ | คืออัตราส่วนประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ | - |
| $IEER$ | คืออัตราส่วนร้อยละภาระความร้อนแต่ละช่วงเทียบกับภาระสูงสุด | - |
| $SEER$ | คือประสิทธิภาพตามชั่วโมงทำงาน | - |
| $Cph$ | คือประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น | - |
| $TR$ | คือความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระเต็มพิกัด | ตันความเย็น |
| $F$ | คือปริมาณน้ำเย็นที่ไหลผ่านส่วนทำน้ำเย็น | $L/\min$ |
| $T_{in}$ | คืออุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าส่วนทำน้ำเย็น | $^oC$ |
| $T_{out}$ | คืออุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกส่วนทำน้ำเย็น | $^oC$ |
| $E_{com}$ | คือความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ | $kw$ |
| $CLTD$ | คือภาระทำความเย็น | $^oF$ |
| $U$ | คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม | $W/(m^{2o}C)$ |
| $A$ | คือพื้นที่คำนวณจากผังอาคาร | $ft^2$ |
| $CLTD_c$ | คือ Corrected cooling load temperature difference | $^oF$ |
| $LM$ | คือ Latitude-month correction | $^oF$ |
| $T_r$ | คือ Indoor design temperature | $^oF$ |
| $T_a$ | คือ Average outdoor design temperature | $^oF$ |
| $DB$ | คือ Daily temperature range | $^oF$ |
| $K$ | คือ Color adjustment factor | - |

## รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

| สัญลักษณ์ | | หน่วย |
|---|---|---|
| $SHGF$ | คือ Maximum solar heat gain factor | - |
| $SC$ | คือ Shading coefficients | - |
| $CLF$ | คือ Cooling load facto | - |
| $\Delta T$ | คือ Design temperature difference, Unconditioned area to room, partition, ceiling, floor | $°F$ |
| $BF$ | คือ ballast factor ( BF = 1.25 หลอดไฟฟลูออเรสเซนท์, BF=1 สำหรับหลอดไส้ ) | - |
| $Q_{sensible}$ | คือ Sensible heat gain | $Btu/hr$ |
| $Q_{latent}$ | คือ Latent heat gain | $Btu/hr$ |
| $CFM$ | คือปริมาณของอากาศที่แทรกซึมเข้าห้อง | $cfm$ |
| $TC$ | คือความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่แทรกซึมเข้ามากับอุณหภูมิห้อง | $°F$ |
| $w_o - w_i$ | คือความแตกต่างระหว่างค่าความชื้นจำเพาะของอากาศที่แทรกซึมเข้ามากับความชื้นจำเพาะของอากาศในห้อง | $lb/lb_{da}$ |
| $PB$ | คือระยะเวลาคืนทุน | - |
| $DPB$ | คือระยะเวลาคืนทุนคิดลด | - |
| $NPV$ | คือมูลค่าปัจจุบันสุทธิ | - |
| $C_o$ | คือเงินลงทุนเริ่มต้น | - |
| $C_t$ | คือกระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา | - |
| $T$ | คือช่วงอายุของโครงการในการลงทุน | - |
| $IRR$ | คืออัตราผลตอบแทนภายใน | - |
| $CF_t$ | คือกระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา | - |
| $n$ | คือช่วงอายุของโครงการลงทุน | - |
| $r$ | คือต้นทุนของเงินทุน | - |

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ระบบปรับอากาศมีความสำคัญและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ระบบปรับอากาศมีหลายแบบแต่ละแบบก็จะมีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละอย่าง ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกระบบปรับอากาศได้แก่ ขนาดพื้นที่ติดตั้ง ลักษณะการใช้งาน งบประมาณ ฯลฯ โครงการนี้จึงศึกษาความเหมาะสมในการเลือกระบบปรับอากาศของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ระบบปรับอากาศที่ทำการศึกษาคือ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller System) ซึ่งเป็นระบบเดิมที่คณะใช้อยู่ ซึ่งระบบ VRF มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า

รูปที่ 1.1 ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow)[10]

ข้อดีของ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow)

1. เป็นระบบที่สามารถปรับการจ่ายสารทำความเย็นทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ ทำให้หยัดค่าไฟเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศอื่นๆ
2. ใช้พื้นที่ในการติดตั้งไม่มาก ระบบมีความกะทัดรัดลงตัวติดตั้งง่าย และไม่ซับซ้อน
3. เป็นระบบที่มีหลากหลายขนาดและหลายรูปแบบสามารถลดข้อจำกัดในการออกแบบของสถานที่

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาและออกแบบการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. เป็นการสำรวจอาคารและการทำงานของระบบปรับอากาศในอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์
2. เป็นการศึกษาคิดค่าภาระการทำความเย็นในอาคารของคณะวิศวกรรมศาสตร์
3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบทั้งหมดจากบริษัท York
4. วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง
2. สำรวจผังอาคารวิศวกรรมศาสตร์และข้อมูลการติดตั้งระบบปรับอากาศ
3. ประมาณค่าภาระการทำความเย็นของอาคาร
4. สำรวจการใช้งานระบบปรับอากาศของอาคาร
5. ศึกษาข้อมูลรายละเอียดทั้งทางด้านเทคนิคและราคาของระบบ VRF ในท้องตลาดปัจจุบัน
6. ประเมินราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF กับอาคารวิศวกรรมศาสตร์
7. เปรียบเทียบราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน สรุปผลและจัดทำรายงาน

ระยะเวลาในการดำเนินงาน กรกฎาคม 2557 – มีนาคม 2558

ตาราง 1.1 การดำเนินงาน

| กิจกรรม | 2557 | | | | | | 2558 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. |
| 1.ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง | | | | | | | | | |
| 2.สำรวจผังอาคารวิศวกรรมศาสตร์และข้อมูลการติดตั้งระบบปรับอากาศ | | | | | | | | | |
| 3.ประมาณค่าภาระการทำความเย็นของอาคาร | | | | | | | | | |
| 4.สำรวจการใช้งานระบบปรับอากาศของอาคาร | | | | | | | | | |
| 5.ศึกษาข้อมูลรายละเอียดทั้งทางด้านเทคนิคและราคาของระบบ VRF | | | | | | | | | |
| 6.ออกแบบระบบปรับอากาศกับอาคารวิศวกรรมศาสตร์ | | | | | | | | | |
| 7.วิเคราะห์ราคาค่าอุปกรณ์และศึกางานติดตั้งจริง | | | | | | | | | |
| 8.สรุปผลและจัดทำรายงาน | | | | | | | | | |

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงการทำงานของระบบปรับอากาศแบบ VRF (Variable Refrigerant Flow)
2. ฝึกการวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์
3. เรียนการทำงานเป็นทีมและมองภาพการทำงานแบบวิศวกร

## 1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1. กระดาษ 500 บาท
2. จัดทำรูปเล่ม 2,000 บาท
3. ค่าอุปกรณ์อื่นๆ 500 บาท

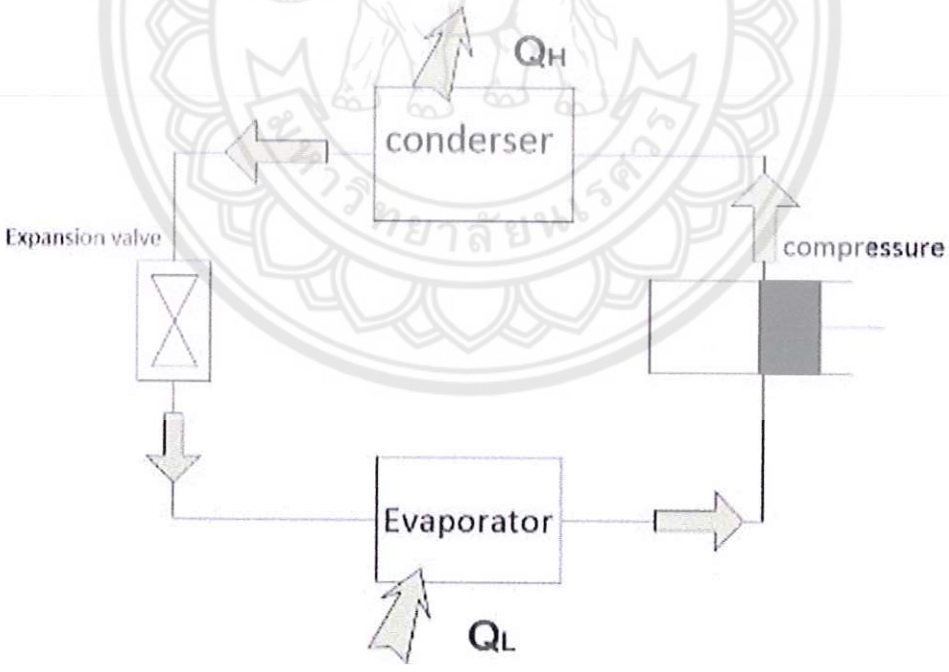
มหาวิทยาลัยนเรศวร

# บทที่ 2

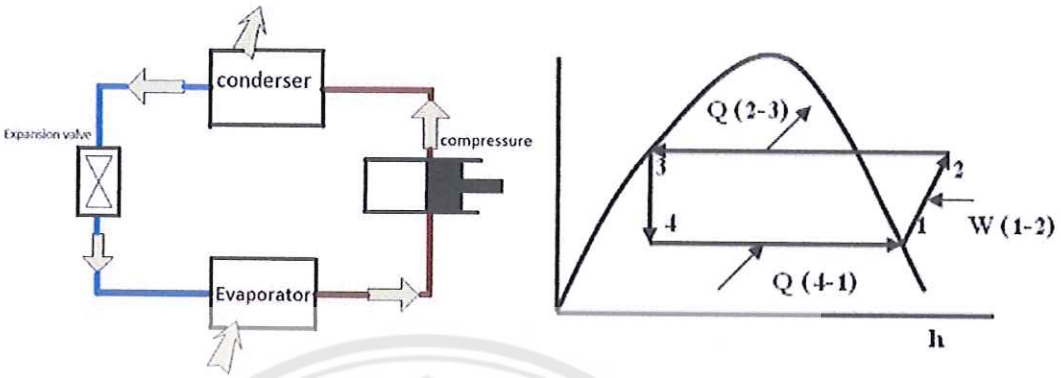
# หลักการและทฤษฎี

## 2.1 หลักการของระบบปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น[1]

หลักการทำงานของระบบปรับอากาศคือ การปรับสภาวะอากาศให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการ โดยทำให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัย ตามสถานที่ต่างๆเช่น บ้าน โรงเรียน โรงพยาบาล โรงแรม สำนักงาน เป็นต้น โดยระบบปรับอากาศแต่ละประเภทจะแตกต่างกันตามลักษณะการออกแบบ การติดตั้งและใช้งาน โดยทั่วไปสิ่งที่ต้องควบคุมของอากาศจะประกอบไปด้วย ความชื้น อุณหภูมิ ความเร็วลมที่ปะทะร่างกาย และความสะอาด สำหรับประเทศที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้นเช่น ประเทศไทย จะทำการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ซึ่งจะต้องใช้เครื่องทำความเย็นที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของวัฏจักรทำความเย็นดังรูปที่ 2.1




รูปที่ 2.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ




รปที่ 2.2 หลักการของวัภจักรทำความเย็น

สามารถอธิบายแต่ละบริเวณของกราฟในรูป 2.2 ได้ดังนี้

ช่วง 1 – 2 กระบวนการอัด (Compression) ที่กระบวนการนี้เครื่อง Compressor จะอัดสารทำความเย็นที่เป็นสถานะก๊าซที่ความดันต่ำให้เป็นก๊าซร้อนที่ความดันสูง

ช่วง 2 – 3 กระบวนการควบแน่น (Condenser) ที่กระบวนการนี้สารทำความเย็นที่สถานะก๊าซร้อนจะควบแน่นเป็นของเหลว และเกิดการคายความร้อนออกมา

ช่วง 3 – 4 กระบวนการขยายตัว (Expansion) ที่กระบวนการนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารทำความเย็นจากความดันสูงไปเป็นความดันต่ำพร้อมทั้งลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นลง และเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของเหลวผสมก๊าซ

ช่วง 4 – 1 การระเหย (Evaporation) ที่กระบวนการนี้ความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิต่ำ (น้ำหรืออากาศ) ที่เป็นสารตัวกลางจะถูกดูดเพื่อให้สารทำความเย็นใช้ในการระเหยเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ

สำหรับวัฏจักรทำความเย็นของจริงนั้นจะมีความแตกต่างจากวัฏจักรทำความเย็นในอุดมคติ คือ ระบบจะมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดกลายเป็นไอ หรือ เกิดไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated) มีการเย็นตัวต่ำกว่าจุดควบแน่นของของเหลว (Sub cool) และมีการสูญเสียแรงดัน (Pressure loss) ที่ condenser และ evaporator สารทำความเย็นก่อนผ่าน expansion valve จะต้องอยู่ในสถานะของเหลวเย็นยิ่งยวด (sub-cooling liquid) และก่อนเข้า compressor จะต้องมีสถานะเป็นไอร้อนยิ่งยวด (Superheat vapor)

## 2.2 ชนิดของระบบปรับอากาศ

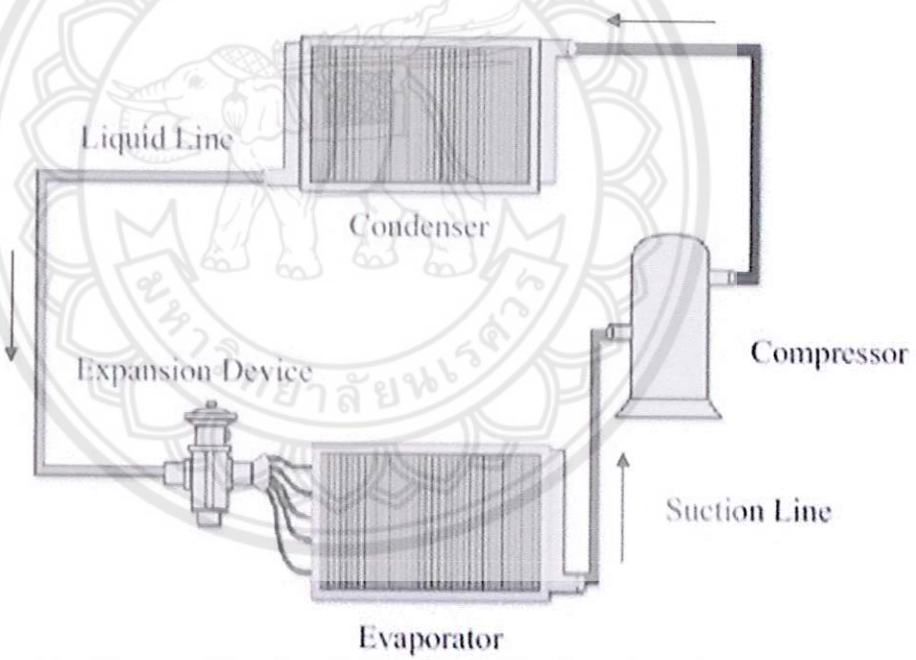
สำหรับระบบปรับอากาศที่นิยมใช้งานทั่วไปในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภทดังนี้

### 2.2.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split-type system)[2]

ระบบปรับอากาศที่นิยมใช้ตามบ้านเรือน หอพัก หรือสำนักงานขนาดเล็ก โดยส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไม่เกิน 40,000 BTU/hr. เป็นระบบปรับอากาศเป็นที่แยกเอาระบบระบายความร้อน (Condensing Unit) ซึ่งประกอบด้วย compressor ตัวควบแน่นและพัดลมระบายความร้อน (Condensing Fan) ติดตั้งไว้ภายนอกอาคารและนำระบบทำความเย็น (Evaporating-Unit) ซึ่งประกอบด้วยตัวทำความเย็น และพัดลม ซึ่งบางที่เรียกว่า ระบบทำความเย็น (Cooling Unit หรือ Indoor Unit) หรือแฟนคอยล์ยูนิตติดตั้งไว้ภายในตัวอาคาร ซึ่งระบบนี้สามารถเลือกปิด-เปิดเครื่องปรับอากาศได้ตามความต้องการใช้งาน

รูปที่ 2.3 แฟนคอยล์ยูนิตและคอมเพรสเซอร์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน[11]

หลักการทำงานมีลักษณะตามหลักของเครื่องทำความเย็น โดยการนำเอาความร้อนของอากาศภายในห้องถ่ายเทไปสู่อากาศด้านนอกโดยอาศัยตัวกลางคือ สารทำความเย็นหรือที่เรียกกันว่าน้ำยาแอร์ (สารทำความเย็นที่นิยมมากที่สุดคือ R-22) การทำงานเริ่มจากคอมเพรสเซอร์ทำการเพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นจนเปลี่ยนเฟสกลายเป็นไอมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น จากนั้นส่งไปยังส่วนคอนเดนเซอร์เพื่อลดอุณหภูมิและเปลี่ยนเฟสกลับมาเป็นของเหลว สารทำความเย็นความดันสูงที่ถูกลดอุณหภูมิแล้วจะถูกส่งต่อไปยังวาล์วลดความดัน (Expansion valve) เพื่อลดความดันก่อนส่งไปยังส่วนทำระเหยที่แฟนคอยล์ยูนิต แฟนคอยยูนิตจะดูดอากาศในห้องเป่าผ่านส่วนทำระเหยได้ลมเย็นออกมา นอกจากนี้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนยังมีแบบที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ ระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่ที่นิยมมากที่สุดเป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ




รูปที่ 2.4 ภาพจำลองการไหลเวียนของสารทำความเย็นภายในระบบ[11]

ลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม

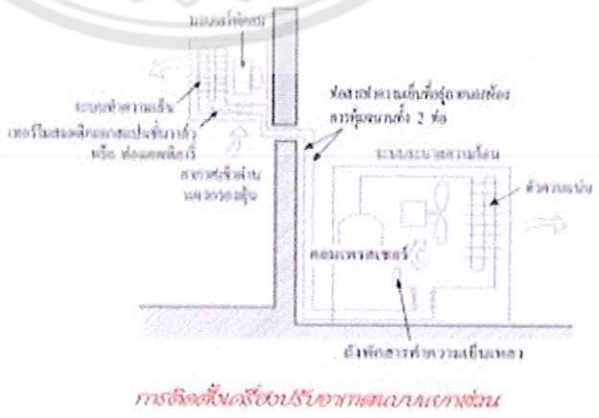
1. เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่วางขายทั่วไปจะเหมาะสำหรับบ้านหรือที่อยู่อาศัย เนื่องจากสะดวกในการหาซื้อ การติดตั้ง การดูแลรักษา
2. เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ระบายความร้อนด้วยน้ำเหมาะกับศูนย์การค้าหรืออาคารขนาดกลาง
3. เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ระบายความร้อนด้วยอากาศที่มีขนาดใหญ่เหมาะกับการใช้งานทั่วไปที่มีการใช้งานไม่มาก ต้องความเป็นอิสระในการใช้งาน

ลักษณะที่ไม่เหมาะสมในการใช้งาน

1. ไม่เหมาะกับการใช้งานที่มีชั่วโมงการใช้งานมากจนเกินไป เนื่องจากใช้พลังงานไฟฟ้ามากและประสิทธิภาพโดยรวมต่ำ
2. ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานกับสถานที่ที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากไม่มีการเฉลี่ยภาระความเย็น ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมต่ำและมีความต้องการไฟฟ้ามาก

ข้อแนะนำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ[3]

1. ระยะระหว่างเครื่องระบายความร้อนและเครื่องส่งลมเย็นไม่ควรเกิน 15 เมตร
2. เครื่องระบายความร้อนควรอยู่ในระบบที่สูงและเป่าความร้อนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ เพื่อไม่ให้ความร้อนสะสมรอบอาคาร
3. ถ้าเครื่องเป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ จะต้องรักษาคุณภาพน้ำให้สะอาด ไม่ให้มีสิ่งสกปรก
4. ควรติดตั้งให้สามารถดูแลรักษาความสะอาดได้ง่าย
5. ควรใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอิเลคทรอนิกส์ (Electronic thermostat)



รูปที่ 2.5 การติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน[11]

การดูแลรักษา

1. หมั่นทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อให้เครื่องสามารถจ่ายอากาศได้เต็มที่ตลอดเวลา
2. หมั่นทำความสะอาดแผงท่อทำความเย็นด้วยแปรงนิ่มๆ และน้ำผสมสบู่เหลว ทุกๆ 6 เดือน เพื่อให้เครื่องทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ
3. ทำความสะอาดใบส่งลมเย็น เพื่อขจัดฝุ่นละอองที่จับกันเป็นแผ่นแข็งและติดตามซี่ใบพัด ทุกๆ 6 เดือนเพื่อให้เครื่องส่งลมเย็นได้เต็มที่ตลอดเวลา
4. ทำความสะอาดแผงระบายความร้อน เพื่อให้สามารถระบายความร้อนจากในห้องไปทิ้งยังอากาศภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. ตรวจสอบฉนวนหุ้มท่อสารทำความเย็นอย่างสม่ำเสมอ หากเกิดการฉีดขาดให้รีบซ่อมแซม เพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน

2.2.2 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller System)

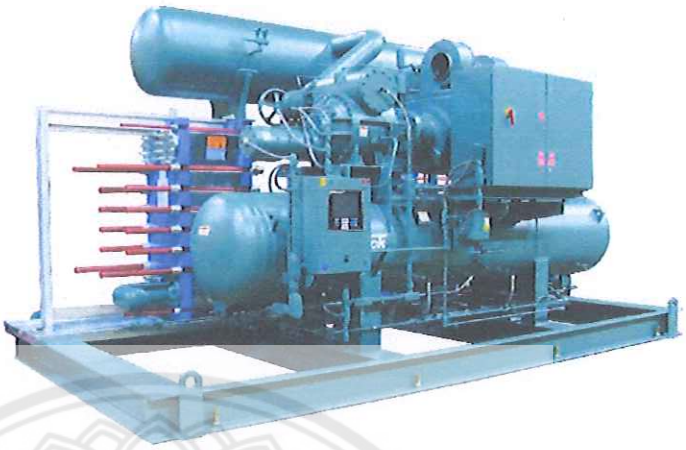
หรือระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central System) [8] เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นหรือชิล-เลอร์เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนโดยใช้สารทำความเย็นเป็นตัวดึงความร้อน ออกจากระบบแล้วถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อม ชิลเลอร์ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการรับภาระความร้อนจากบริเวณที่ต้องการปรับสภาวะของอากาศ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจากอากาศจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 5- 10 °C จากนั้นจะไหลเข้าสู่ทางเข้าของชิลเลอร์ (EWT) ก่อนที่จะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่ evaporator เพื่อที่จะให้น้ำมีอุณหภูมิลดต่ำลง ในการออกแบบค่าของอุณหภูมิน้ำที่ออกจากชิลเลอร์ (LWT) เพื่อไปรับความความร้อนจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 10 °C ส่วนประกอบของชิลเลอร์จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

1. เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ภายในจะประกอบไปด้วยระบบทำน้ำเย็น ที่มีส่วนประกอบ 4 ส่วนคือ เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องควบแน่น (Condenser) วาล์วลดความดัน (Expansion) และเครื่องอัดไอ (Compressor) โดยทั่วไปหากแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser)

สามารถแบงออกเป็น 2 ประเภท

1.) ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller) เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีพื้นที่ติดตั้งจำกัด ขนาดการทำความเย็นจะไม่เกิน 500 ตัน ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นชนิดนี้จะอยู่ที่ 1.4 - 1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน

2.) ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก เช่น โรงพยาบาล ศูนย์การค้าขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพการทำความเย็นดีกว่าระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยจะมีประสิทธิภาพอยู่ที่ 0.62-0.75 กิโลวัตต์ต่อตัน แต่อย่างไรก็ตามเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำต้องมีการลงทุนที่สูงกว่าเนื่องจากต้องมีการติดตั้งหอระบายความร้อน (Cooling Tower) เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump)



รูปที่ 2.6 ลักษณะของเครื่องชิลเลอร์[12]

ในส่วนของเครื่องระเหย (Evaporator) ที่ใช้งานกับเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 ประเภทนี้มีชนิดของเครื่องระเหย 3 ชนิดหลักๆ คือ

1.) DX Shell and Tube โดยสารทำความเย็นไหลภายในท่อ (Tube) และน้ำอยู่โดยรอบ (Shell)

2.) Brazed Plate มักใช้ในเครื่องทำน้ำเย็นขนาดต่ำกว่า 60 ตัน

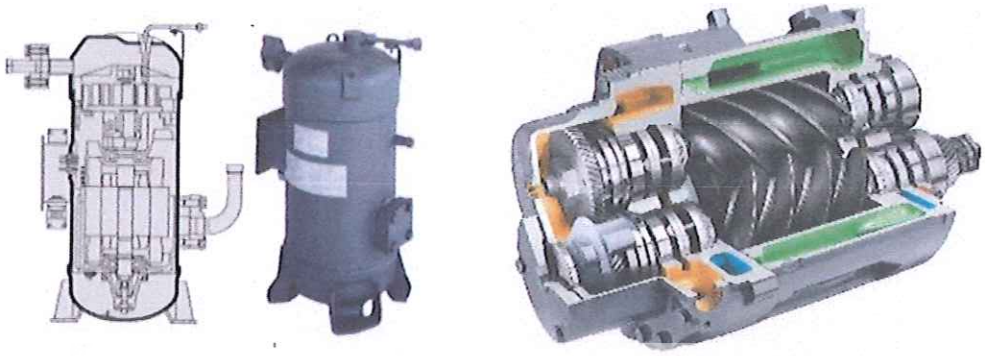
3.) Flooded Shell and Tube โดยสารทำความเย็นท่วมท่อ ส่วนน้ำจะไหลอยู่ภายในท่อ

ในส่วนของเครื่องอัดไอที่ใช้งานกับเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 ประเภทมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับขนาดการทำความเย็นและลักษณะการใช้งานได้แก่

1.) เครื่องอัดไอแบบสโครล์ (Scroll type)

2.) เครื่องอัดไอแบบสกรู (Screw type)

โดยทั่วไป compressor ที่ใช้สำหรับชิลเลอร์ มีดังนี้ scroll compressor สำหรับชิลเลอร์ขนาด 30- 60 ตันความเย็น compressor แบบลูกสูบ สำหรับ ชิลเลอร์ขนาด 30-150 ตันความเย็น และใช้ screw compressor สำหรับ ชิลเลอร์ที่มีขนาด 70 -200 ตันความเย็น



รูปที่ 2.7 ลักษณะของ compressor[12]

2. เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) ทำหน้าที่สูบน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3. เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) และท่อส่งลมเย็น (Air Duct System) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิอากาศภายนอก (Fresh Air) ให้อยู่ในระดับที่ควบคุม โดยอากาศจะถูกเป่าลมผ่านคอยล์เย็นซึ่งจะมีวาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็นที่ส่งมาจากเครื่องทำน้ำเย็นด้วยเครื่องสูบน้ำเย็นตามความต้องการของภาระการทำความเย็น

4. คอยล์ร้อน (Condensing Unit) ทำหน้าที่ ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็นจากก๊าซไปเป็นของเหลว

การพัฒนาให้ระบบมีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพประหยัดพลังงาน และยืดอายุการใช้งานของชิลเลอร์ด้วยการปรับปรุง compressor เครื่องสูบน้ำ มอเตอร์พัดลม ทำงานเปลี่ยนแปลงรอบการทำงานตามภาระความร้อนที่เกิดขึ้น เทคโนโลยีนี้เรียกว่า VDF (variation of voltage and frequency) ตัวอย่างเช่น เมื่อ compressor ของชิลเลอร์ทำงานในช่วงความที่ที่ 30 ถึง 130 รอบต่อวินาที (Hz) ขึ้นอยู่กับภาระความร้อนในอาคาร พบว่า compressor ที่ใช้ระบบ VDF จะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง 15 % เมื่อเปรียบเทียบกับ Compressor แบบปกติในช่วงการทำงานที่ 30 -50 Hz มอเตอร์พัดลมที่ condenser มีเสียงลดลง 20 DB หรือในกรณีที่เครื่องสูบน้ำสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 30 %

2.2.3 แอร์แบบเคลื่อนที่ คือเครื่องปรับอากาศชนิดหนึ่งที่ใช้งานได้แบบเดียวกันกับแอร์บ้านทั่วไป แต่พิเศษกว่าตรงที่สามารถเคลื่อนย้ายได้และไม่ต้องติดตั้งเข้ากับตัวบ้านเพียงแค่เสียบปลั๊กก็ใช้ได้เลย

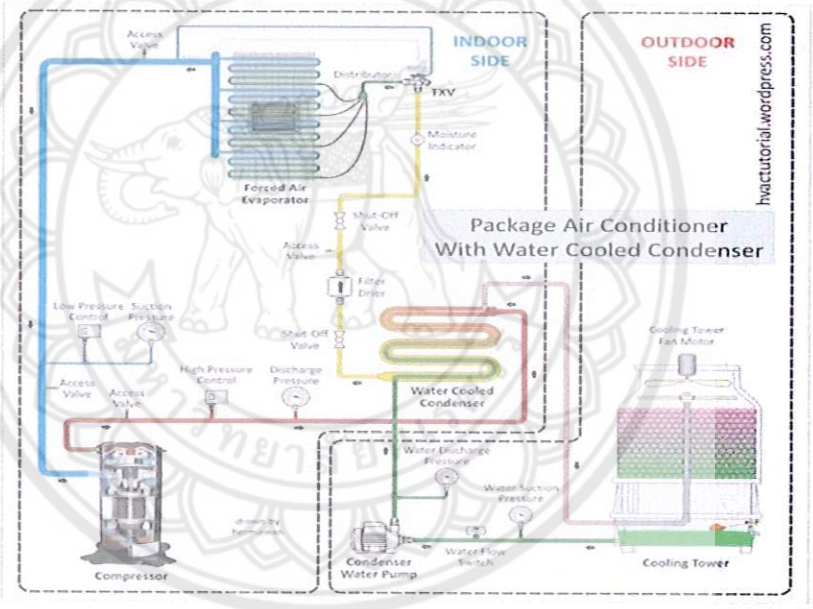
2.2.4 ระบบปรับอากาศแบบครบชุดในตัวระบายความร้อนด้วยอากาศ (packaged air cooled unit system)[2] เป็นระบบปรับอากาศที่ไม่ต่างจากระบบ Split type มีขนาดที่ไม่ใหญ่นักโดยปกติขนาดทำความเย็นไม่เกิน 30 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดในการติดตั้ง เช่น ในอาคารสำนักงานขนาดเล็ก คอนโดมิเนียม เนื่องจากติดตั้งง่ายและเป็นเอกเทศ ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องปรับอากาศของระบบนี้อยู่ที่ 1.4-1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน

รูปที่ 2.8 ระบบปรับอากาศแบบครบชุดในตัวระบายความร้อนด้วยอากาศ[12]

ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศระบบนี้ประกอบไปด้วยแผงคอยล์เย็น คอยล์ร้อน และเครื่องอัดสารทำความเย็น ทั้งหมดนี้จะถูกรวมไว้ในชุดเครื่องเดียวกันโดยมีท่อส่งลมเย็นและท่อส่งลมกลับซึ่งจะอยู่ภายในอาคารแล้วเชื่อมต่อเครื่องปรับอากาศที่อยู่ภายในนอกอาคาร ท่อส่งลมเย็นทำหน้าที่ส่งลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศที่ต้องการ ท่อลมกลับนำลมที่แลกเปลี่ยนอุณหภูมิกลับมายังแผงทำความเย็นอีกครั้ง นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ควบคุมปริมาณลมเย็นเพื่อปรับลมเย็นให้เหมาะสมกับภาระความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศ

2.2.5 Packaged Water-cooled Air-conditioner System[2]

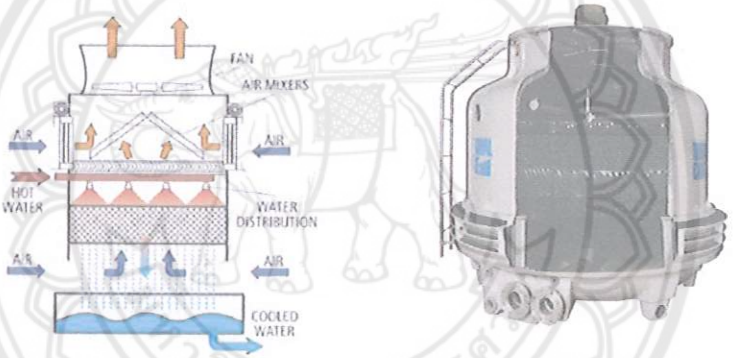
ลักษณะโดยทั่วไปจะคล้ายกับ Packaged Air-Cooled Air-conditioner แต่ใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า ระบบโดยทั่วไปจะกินไฟฟ้าทั้งระบบประมาณ 1.2 กิโลวัตต์/ตัน และเหมาะกับกรณีที่ไม่สามารถจัดหาสถานที่ตั้งเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยอากาศได้ โดยที่เครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องสามารถเปิด-ปิดได้อิสระ แต่จะมีข้อจำกัดมากกว่าเครื่องแบบ Air-cooled ตรงที่ต้องมีการดูแลการเปิดปิดหอระบายความร้อนด้วย อย่างไรก็ตามค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนและหอระบายความร้อนไม่สูงมากนัก แต่ในการคิดค่าใช้จ่ายต้องไม่ลืมที่จะคิดค่าน้ำและค่าพนักงานที่ต้องคอยดูแลด้วย ขนาดทำความเย็นอยู่ที่ 1-50 ตัน เหมาะกับสำนักงานและคอนโดมิเนียม




รูปที่ 2.9 แผนผังวัฏจักรการทำงานของ Packaged Water-cooled[12]

โดยระบบนี้จะมีการนำน้ำนี้ไปทำให้เย็นลง แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการลดค่าใช่จ่ายและทรัพยากร อุปกรณ์ที่ใช้ทำให้น้ำระบายความร้อนนี้ เรียกว่า หอระบายความร้อน (Cooling Tower) และน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนนี้ เรียกว่า Condenser Water หลักการทำงานของหอระบายความร้อน อาศัยหลักการระเหยของน้ำที่จะทำให้น้ำเย็นลงโดยการนำน้ำที่ร้อนหลังจากผ่านคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ 38 °C มาฉีดเพื่อให้สวนทางกับลมที่เกิดจากแรงดูดของพัดลมของหอระบายความร้อน ขั้นตอนนี้จะทำให้น้ำระเหยและคายความร้อนให้กับลม เมื่อตกลงมาที่อ่างรับน้ำก็จะมีอุณหภูมิลดเหลือประมาณ 32 °C สามารถนำกลับไปใช้ใน

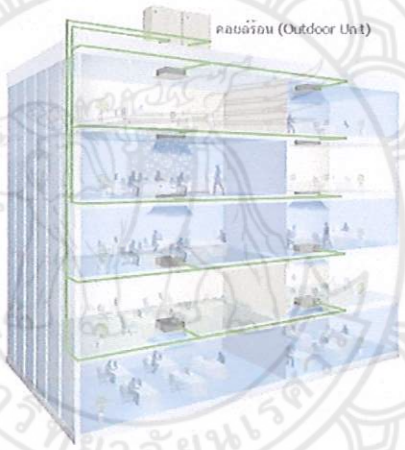
การระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ได้ใหม่ น้ำบางส่วน (ประมาณ 2 - 3 %) ของปริมาณน้ำหมุนเวียนทั้งหมดจะสูญเสียไป เนื่องจากการระเหยบ้าง โดนพัดลมเป่าไปบ้าง ล้นบ้าง จึงต้องมีการเติมน้ำเข้ามาชดเชยการระบายความร้อนด้วยน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ต่ำกว่าอากาศ และการถ่ายเทความร้อนผ่านน้ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการถ่ายเทผ่านอากาศ การใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำทำให้ต้องมีระบบท่อน้ำระบายความร้อน (Condenser Water System) เพิ่มขึ้นอีก 1 ระบบ ต้องใช้น้ำมากขึ้นและยังต้องการดูแลระบบน้ำนี้เพิ่มขึ้น เพราะน้ำจะแห้งไม่ได้ ต้องเติมสารเคมีเพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน ตะไคร่น้ำ และต้องรักษาทำความสะอาด Condenser และหอระบายความร้อนด้วย นอกจากนี้ขนาดถังน้ำสำรองใต้ดินก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นอีกเท่าตัวเพื่อสำรองน้ำที่ใช้ในการเติมหอระบายความร้อน




รูปที่ 2.10 Cooling Tower[12]

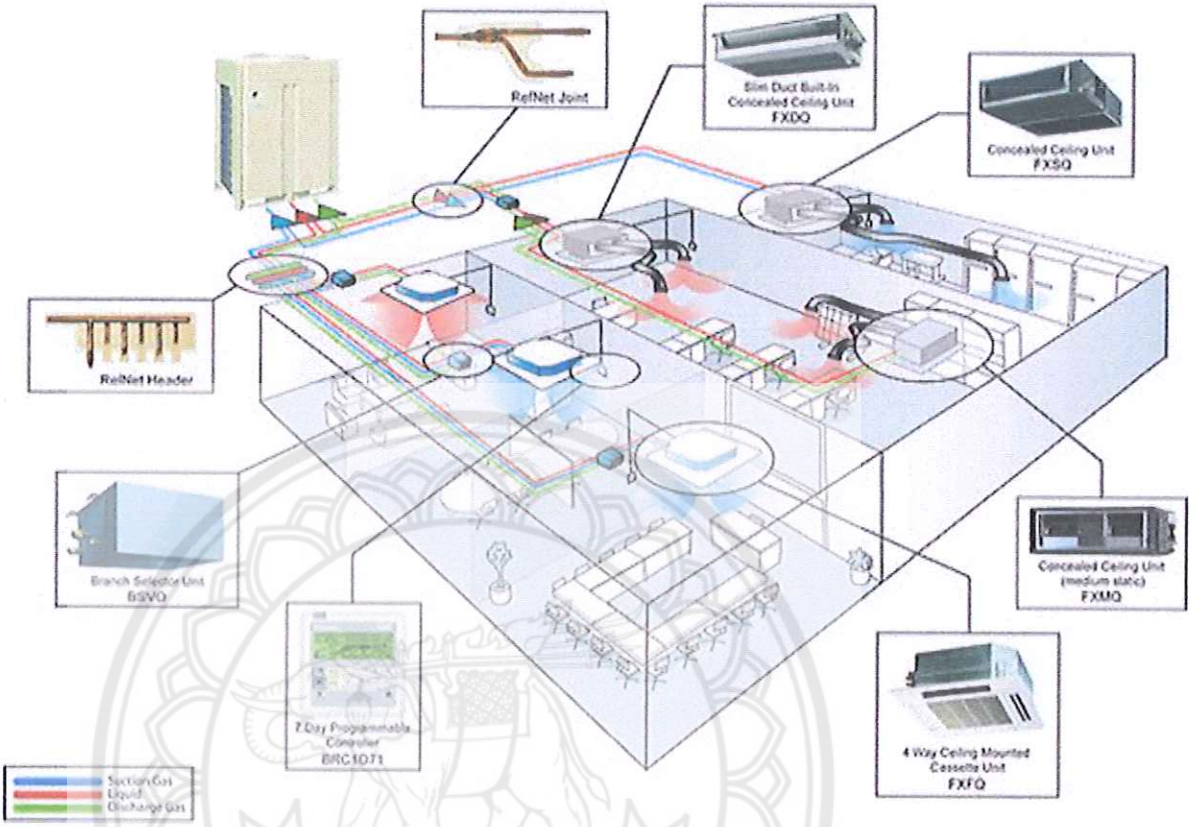
สถานที่ตั้งหอระบายความร้อนก็มีความสำคัญ เพราะละอองน้ำจากหอระบายความร้อนทำให้เกิดความชื้น ถ้าย้อนกลับมาเข้าทางช่องอากาศบริสุทธิ์ ก็จะทำให้ภายในอาคารมีความชื้นสูง อาจมีเชื้อราซึ่งมีผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจได้ หอระบายความร้อน มักจะมีขนาดใหญ่และต้องการการระบายอากาศที่ดีจึงจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากติดตั้งไว้ใกล้กับพื้นที่ที่ไม่ต้องการเสียงรบกวน หรือการสั่นสะเทือนรบกวน เช่น ห้องประชุม สำนักงานผู้บริหาร อพาร์ทเม้นท์ ห้องออกอากาศ ฯลฯ จะต้องพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์ลดความสั่นสะเทือน และจะต้องกำหนดให้ผู้ผลิตหอระบายความร้อนเลือกใช้พัดลมที่มีระดับเสียงต่ำ การลดการรบกวนในขณะที่เครื่องกำลังทำงาน

2.2.6 ระบบ VRV (Variable Refrigerant Volume) หรือ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow)[2] เป็นระบบของเครื่องปรับอากาศที่ปรับปริมาณสารทำความเย็นตามภาระโหลดของการทำความเย็นและจำนวนตัวเครื่องภายในที่ทำการติดตั้ง เป็นระบบเครื่องปรับอากาศในเชิงพาณิชย์ที่เหมาะในลักษณะการติดตั้งที่จำกัดด้วยพื้นที่ติดตั้งคอยล์ร้อน (Condenser) เนื่องจากคอยล์ 1 ตัว สามารถติดตั้งคอยล์เย็น (Evaporator) ได้หลายตัวและหลายชั้น ซึ่งคอยล์เย็นจะแยกการทำงานโดยอิสระจึงสามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบธรรมดา ระบบปรับอากาศแบบ VRV หรือ VRF จะควบคุมอุณหภูมิภายในห้องได้ดีกว่า เทคโนโลยีในปัจจุบันของระบบนี้สามารถกระจายเครื่อง Evaporator ได้หลายตัวโดยใช้ Condenser เพียงตัวเดียวตามรูปที่ 2.11 แต่อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังมีราคาสูงอยู่




รูปที่ 2.11 ลักษณะของระบบเทคโนโลยี VRV[10]

ลักษณะการทำงานของตัวเครื่องภายนอก (Condenser) จะทำความเย็นสารทำความเย็นในปริมานตามโหลดของตัวเครื่องภายใน (Evaporator) โดยตัวเครื่องภายนอกจะถูกออกแบบให้มีคอมเพรสเซอร์อย่างน้อย 2 unit ขึ้นไป ซึ่งคอมเพรสเซอร์จะทำงานสลับกันแล้วส่งสารทำความเย็นไปตามท่อของเหลว (Liquid side) ไปยังตัวเครื่องภายใน ซึ่งตัวเครื่องภายในก็จะมีวาล์วควบคุมปริมาณของสารทำความเย็น (PMV Valve) เป็นตัวจ่ายสารทำความเย็นตามภาระโหลดการทำงาน และตัวคอมเพรสเซอร์จะทำงานเต็มที่เมื่อมีการเปิดใช้จำนวนตัวเครื่องภายในมากขึ้น




รูปที่ 2.12 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันในระบบ VRF[10]

โดย Condenser 1 ชุด สามารถจ่ายความเย็นใน Evaporator ได้ถึง 64 ชุด โดยสามารถทำงาน Part Load (ภาระการทำความเย็นที่น้อยกว่าที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามภาระโหลดที่เกิดขึ้นจริง) ไปถึง 10% และค่า C.O.P (Consumption) สูงสุดถึง 3.5 (ประหยัดกว่าแอร์เบอร์ 5) หรือประหยัดไฟมากกว่าระบบ Split Type ถึง 20-25% ซึ่งเหมาะกับการใช้งานในอาคารสำนักงาน, สถานที่ราชการ, โรงแรม, รีสอร์ท , โรงพยาบาล, โรงเรียน และมหาวิทยาลัย เป็นต้น

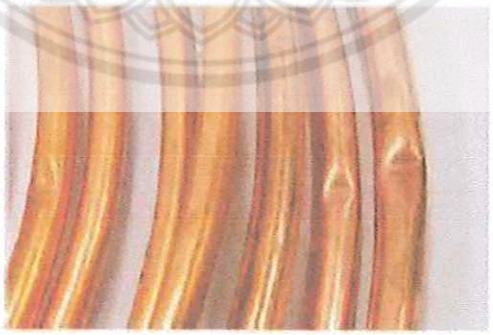
ข้อดีของระบบ VRV / VRF

1. เป็นระบบที่รองรับสารทำความเย็น R410A ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (R22) ทำให้ประหยัดไฟ ทำความเย็นได้รวดเร็ว และสารทำความเย็น R410a เป็นสาร HFCs มีค่า ODP = 0 จึงไม่ทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion Potential)
2. ระยะห่าง ระหว่าง Condenser (คอยล์ร้อน) ถึง Evaporator (คอยล์เย็น) ได้สูงสุด 185 เมตร
3. ประหยัดพลังงานกว่าระบบอื่นๆ โดยสามารถทำงาน Part Load ได้ต่ำถึง 10%
4. เสียงเงียบ เนื่องจากเป็นระบบ Inverter (ทั้ง Condenser และ Evaporator)
5. มีอุปกรณ์ควบคุมแบบรวมศูนย์ (Central Control) สามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดได้
6. รูปร่างอาคารจะสวยงาม เนื่องจากใช้พื้นที่รางคอยล์ร้อนน้อย
7. การใช้งานทนทานไม่ต้องเสียค่า Maintenance สูงเนื่องจากเป็นระบบ Inverter และไม่ต้องใช้ปั๊มน้ำ, Cooling Tower

ข้อเสียของระบบ VRV / VRF

1. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง จากทั้งสารทำความเย็นแบบใหม่ที่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และการติดตั้งต้องทำการฝังเข้าตู้หรือเพดานห้อง
2. อาจมีปัญหาน้ำซึมจากน้ำที่ควบแน่นในแฟนคอยล์
3. ระบบบำรุงรักษายาก เนื่องจากใช้สารทำความเย็นเป็นสารทำงาน ทำให้ตรวจสอบการรั่วยากกว่าน้ำ

รูปแบบท่องานระบบ VRV (Variable Refrigerant Volume) หรือ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) และการเลือกใช้ท่อทองแดงที่ถูกต้อง



รูปที่ 2.13 ท่อทองแดงชำรุด[10]

ระบบปรับอากาศแบบ VRV (Variable Refrigerant Volume) หรือ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) การเลือกใช้ท่อทองแดงเป็นสิ่งสำคัญมาก เนื่องจากระบบ VRV หรือ VRF มีการใช้น้ำสารความเย็น R-410a ซึ่งเป็นน้ำยาทำความเย็นที่มีแรงดันค่อนข้างสูง การเลือกวัสดุที่จะมาเป็น

ท่อสารทำความเย็นของ R-410a ต้องเป็นท่อทองแดงที่ทนต่อแรงดันน้ำยา โดยมาตรฐานท่อทองแดงที่ใช้ที่ทางเจ้าของผลิตภัณฑ์แนะนำ

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการเลือกท่อทองแดง

| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก | ชนิดของท่อทองแดง |
|---|---|
| 6.4 มม. หรือ 1/4“ | Soft Drawn (ท่อม้วน) ความหนาขั้นต่ำ 0.80 มม. |
| 9.5 มม. หรือ 3/8” | Soft Drawn (ท่อม้วน) ความหนาขั้นต่ำ 0.80 มม. |
| 12.7 มม. หรือ 1/2” | Soft Drawn (ท่อม้วน) ความหนาขั้นต่ำ 0.80 มม. |
| 15.9 มม. หรือ 5/8” | Soft Drawn (ท่อม้วน) ความหนาขั้นต่ำ 0.99 มม. |
| 19.1 มม. หรือ 3/4” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |
| 22.2 มม. หรือ 7/8” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |
| 25.4 มม. หรือ 1” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |
| 28.6 มม. หรือ 1 1/8” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |
| 31.8 มม. หรือ 1 1/4” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |
| 34.9 มม. หรือ 1 3/8” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |
| 38.1 มม. หรือ 1 1/2” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |
| 41.3 มม. หรือ 1 5/8” | Hard Drawn (ท่อตรง) Type L |

ข้อควรระวังสำหรับการเลือก การจัดเก็บและงานติดตั้งท่อทองแดง การเลือกท่อทองแดงที่ไม่ได้มาตรฐานก่อให้เกิดผลต่อการทำงานของระบบดังนี้

1. เลือกท่อทองแดงชนิดบางกว่ามาตรฐานอาจทำให้ท่อไม่สามารถทนแรงดันได้อาจทำให้เกิดการแตกและรั่วของสารทำความเย็น
2. ท่อบางหรือท่อม้วนบางอาจเกิดการบุบ เป็นรอยจากการคลี่ท่อ ทำให้สารทำความเย็นไหลไม่สะดวก ทำให้แอร์ไม่เย็นและอาจเกิดคาวิเตชั่นจากการเกิดฟอง

รูปที่ 2.14 การจัดเก็บท่อทองแดงไม่ถูกต้อง มีฝุ่น ไม่ปิดปลายท่อ และวางกับพื้นคอนกรีตโดยตรง[10]

รูปที่ 2.15 การจัดเก็บท่อทองแดงที่ถูกต้อง ปิดหัวท้าย และไม่วางสัมผัสกับคอนกรีตโดยตรง

ผลกระทบที่เกิดจากการจัดเก็บท่อที่ไม่ถูกวิธี ท่อมีฝุ่นแป้งภายใน ทำให้เกิดการอุดตันหรือไปกีดขวางทางเดินน้ำยาภายในทำให้เกิดน้ำแข็งเกาะที่บริเวณอุดตัน เนื่องจากแรงดันน้ำยาลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิลดลงตาม

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท

| ลักษณะการเปรียบเทียบ | Chillier System Air Cooled | Chillier System Water Cooled | Split Type System | Air Cooled Package System | Water Cooled Package System | VRF System |
|---|---|---|---|---|---|---|
| อุปกรณ์และการใช้พื้นที่ | - ต้องมีพื้นที่วาง Water FCU หรือ AHU โดยสามารถกระจายไปเป็นจุดย่อยๆ หรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่องก็ได้<br>- ต้องมีพื้นที่วาง Chiller | - ต้องมีพื้นที่วาง Water FCU หรือ AHU โดยสามารถกระจายไปเป็นจุดย่อยๆ หรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่องก็ได้<br>- ต้องมีพื้นที่วาง Chiller<br>- ต้องมีที่ตั้ง Cooling Tower และ ปั๊มน้ำ | - ต้องมีพื้นที่วาง FCU โดยสามารถกระจายไปเป็นจุดย่อยๆ ได้ | - ต้องมีพื้นที่วาง CDU+AHU มาก<br>- พื้นที่ตั้งเครื่องต้องสามารถระบายอากาศออกสู่ภายนอกได้ | - ต้องมีพื้นที่วาง CDU+AHU มาก ต้องมีพื้นที่วาง Cooling Tower | - ต้องมีพื้นที่วาง FCU โดยสามารถกระจาย FCU ไปเป็นจุดย่อยๆ หรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่องก็ได้<br>- ต้องมีพื้นที่วาง CDU รวมเป็นจุดใหญ่จุดเดียวหรือแบ่งเป็น Zone |
| การแบ่งช่วงการติดตั้งระบบ | - ต้องติดตั้งระบบทั้งหมดในครั้งเดียว | - ต้องติดตั้งระบบทั้งหมดในครั้งเดียว | - สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆ ได้ ตามการเปิดใช้งานของอาคาร | - สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆ ได้ ตามการเปิดใช้งานของอาคาร | - ต้องติดตั้งระบบน้ำหล่อเย็นทั้งหมดในครั้งเดียว | - สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆได้ ตามการเปิดใช้งานของอาคาร |

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท (ต่อ)

| ลักษณะการเปรียบเทียบ | Chillier System Air Cooled | Chillier System Water Cooled | Split Type System | Air Cooled Package System | Water Cooled Package System | VRF System |
|---|---|---|---|---|---|---|
| การวางอุปกรณ์แต่ละส่วน | - สามารถแยก Water FCU, Chiller แต่ละส่วนอยู่ห่างกันได้มาก<br>- ท่อน้ำเย็นที่เดินเข้าไปในพื้นที่ มีขนาดใหญ่กว่าท่อน้ำยาปรับอากาศ | - สามารถแยก Water FCU, Chiller และ Cooling Tower แต่ละส่วนอยู่ห่างกันได้มาก<br>- ท่อน้ำเย็นที่เดินเข้าไปในพื้นที่ มีขนาดใหญ่กว่าท่อน้ำยาปรับอากาศ | - ต้องมีพื้นที่วาง CDU ตำแหน่งควรอยู่ใกล้ FCU | - CDU และ AHUอยู่ติดกัน<br>- ไม่มีท่อสารทำความเย็นหรือท่อน้ำเย็น | - CDU และ AHUอยู่ติดกัน โดย Cooling Tower สามารถอยู่แยกห่างออกมาได้<br>- มีท่อน้ำเย็นหลักเฉพาะจากเครื่องไปที่ Cooling Tower | - ระยะห่างของ CDU กับ FCU สูงสุดได้ถึง 200 เมตร และความสูงสูงสุด 110 เมตร<br>- ท่อสารทำความเย็นที่เดินเข้าไปในพื้นที่ มีขนาดเล็ก |
| ผลกระทบต่อรูปแบบสถาปัตยกรรมภายนอก | - ต้องมีการระบายอากาศในบริเวณที่ตั้งของ ชิลเลอร์กรณีระบายความร้อนด้วยอากาศ | - กรณีระบายความร้อนด้วยน้ำต้องมีที่ตั้ง Cooling Tower และปั๊มน้ำ | - ต้องมี CDU กระจายไปทั่วอาคาร | - ต้องมีเกล็ดระบายอากาศ ที่ผนังทุกส่วนที่ติดตั้งอุปกรณ์ | - การระบายอากาศมีเฉพาะบริเวณที่ตั้งของ Cooling Tower | - ต้องมีที่ตั้ง CDU แต่สามารถนำ CDU มารวมไว้ในบริเวณเดียวกันได้ |

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท (ต่อ)

| ลักษณะการเปรียบเทียบ | Chillier System Air Cooled | Chillier System Water Cooled | Split Type System | Air Cooled Package System | Water Cooled Package System | VRF System |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ลักษณะเด่น | - ค่าลงทุนไม่แพงนัก<br>- ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและการขยายตัว<br>- ไม่ต้องมี Cooling tower<br>- ควบคุมอุณหภูมิได้ดี<br>- ซ่อมบำรุงที่รวมศูนย์ | - ประหยัดพลังงาน<br>- ยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงและการขยายตัว<br>- ควบคุมอุณหภูมิได้ดี<br>- ซ่อมบำรุงที่ที่รวมศูนย์ | - เปิดปิดได้อิสระ<br>- ซ่อมบำรุงง่าย<br>- ลงทุนต่ำ<br>- คิดค่าแอร์แยกได้อิสระ | - ลงทุนต่ำ<br>- อุปกรณ์ส่วนกลางน้อย<br>- คิดค่าไฟง่าย<br>- ซ่อมบำรุงง่าย | - ลงทุนต่ำ<br>- อุปกรณ์ส่วนกลางน้อย<br>- คิดค่าไฟง่าย<br>- ซ่อมบำรุงง่าย<br>- ประสิทธิภาพดีกว่า Air Cooled Package System | - ประหยัดพลังงานกว่าระบบอื่น<br>- เสียงเงียบ เนื่องจากเป็นระบบ Inverter<br>- ควบคุมด้วยซอฟแวร์<br>- สามารถทำงานที่ภาระทำความเย็น 10% ของที่ออกแบบไว้<br>- ตั้งเวลาเปิด – ปิดได้ |
| ลักษณะด้อย | - กินไฟมากกว่า Chillier System Water Cooled<br>- เสียงดังรบกวน<br>- ปล่อยลมร้อนในปริมาณมาก | - ลงทุนสูง<br>- มี Cooling Tower ต้องใช้น้ำเติมมาก<br>- ใช้พื้นที่ห้องเครื่องมาก<br>- ทำความสะอาดยากเนื่องจากเป็นระบบที่ใช้น้ำ | - ต้องหาที่วาง Condenser Unit<br>- ควบคุมอุณหภูมิได้ไม่ดี<br>- กินไฟมาก<br>- การซ่อมบำรุงกระจายเป็นบริเวณกว้าง | - ระบบจ่ายไฟฟ้าจะมีราคาแพง<br>- มีเสียงดัง<br>- กินไฟมาก<br>- การซ่อมบำรุงกระจายเป็นบริเวณกว้าง | - ควบคุมอุณหภูมิได้ไม่ดี<br>- กินไฟมาก<br>- การซ่อมบำรุงกระจายเป็นบริเวณกว้าง | -มีราคาแพงในการติดตั้ง<br>-ยากต่อการซ่อมบำรุง<br>-ข้อจำกัดในการออกแบบจากแรงดันน้ำยา |

ตารางที่ 2.2 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท (ต่อ)

| ลักษณะการเปรียบเทียบ | Chillier System Air Cooled | Chillier System Water Cooled | Split Type System | Air Cooled Package System | Water Cooled Package System | VRF System |
|---|---|---|---|---|---|---|
| พื้นที่เหมาะสมกับการใช้งาน | - เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศที่ขนาดใหญ่ | - เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศที่ขนาดใหญ่ | - เหมาะสำหรับการทำความเย็นในอาคารหรือสำนักงานขนาดเล็ก | - เหมาะสมกับการใช้งานทั่วไปตามสำนักงานคอนโดมิเนียม<br>- ใช้กับอาคารสูงที่แบ่งพื้นที่ให้เช่าเป็นส่วนห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ | - เหมาะกับศูนย์การค้าขนาดกลาง<br>- มักใช้กับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ที่แบ่งพื้นที่ขายหรือให้เช่าออกเป็นส่วน ๆ | - เหมาะสำหรับการทำความเย็นในอาคารหรือสำนักงานขนาดเล็ก<br>- เหมาะสำหรับหรับอาคารสำนักงาน ที่มีความต้องการ การปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ต่างกัน |
| การใช้งานและบำรุงรักษา | - ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ ตรวจสอบและดูแลทุกวัน | - ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ ตรวจสอบและดูแลทุกวัน | - ใช้ช่างทั่วๆไปในการ ซ่อมบำรุง | - ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ | - ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ | - ใช้ช่างเทคนิคที่มีความรู้ โดยเฉพาะ |

9588689-1

## 2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของห้อง

การคำนวณหาภาระการทำความเย็นนั้น สามารถหาได้โดยประมาณด้วย 3 วิธีดังนี้

### 2.3.1 วิธี *CLTD*

#### 2.3.1.1 ความร้อนถ่ายเทจากผนังด้านนอก

$$Q_w = U_W \times A_W \times CLTD_C \tag{2.1}$$

และสามารถคำนวณค่า $CLTD_C$ ได้จากสมการ

$$CLTD_C = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_a - 85) \tag{2.2}$$

$Q_W$ = ภาระการทำความเย็นจากผนัง $[BTU/hr]$

$U_W$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ $[BTU/hr \cdot ft^2 \cdot {}^oF]$

$A_W$ = พื้นที่ของผนัง $[ft^2]$

$CLTD_C$ = ค่าแก้ผลต่างอุณหภูมิของภาระการทำความเย็นของผนัง $[{}^oF]$

$CLTD$ = ผลต่างอุณหภูมิของภาระการทำความเย็นของผนัง $[{}^oF]$

$LM$ = Latitude-month correction $[{}^oF]$

$t_r$ = Indoor design temperature $[{}^oF]$

$t_a$ = Average outdoor design temperature $[{}^oF]$

จากสมการ $t_a = t_o - \frac{DB}{2}$ โดยที่ $t_o$ และ $DB$

$DB$ = Daily temperature range $[{}^oF]$

$K$ = Color adjustment factor

2.3.1.2 การถ่ายเทความร้อนจากหลังคา

การคำนวณภาระการทำความเย็นของการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา ใช้สมการที่คล้ายกับการหาภาระการทำความเย็นจากความร้อนถ่ายเทจากผนังด้านนอก แต่เปลี่ยนตารางในการนำค่ามาคำนวณและสามารถคำนวณค่า $CLTD_C$ ได้จากสมการ

$$Q_r = U_r \times A_r \times CLTD_C \tag{2.3}$$

และสามารถคำนวณค่า $CLTD_C$ ได้จากสมการ

$$CLTD_C = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_a - 85) \tag{2.4}$$

$Q_r$ = ภาระการทำความเย็นจากหลังคา $[BTU/hr]$

$U_r$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา $[BTU/hr \cdot ft^2 \cdot {}^oF]$

$A_r$ = พื้นที่หลังคา $[ft^2]$

$CLTD_C$ = ค่าแก้ผลต่างอุณหภูมิของภาระการทำความเย็นของหลังคา $[{}^oF]$

$CLTD$ = ผลต่างอุณหภูมิของภาระการทำความเย็นของหลังคา $[{}^oF]$

2.3.1.3 ความร้อนถ่ายเทผ่านกระจก

ภาระการทำความเย็นจากความร้อนผ่านกระจกเราสามารถแยกตามลักษณะของความร้อนที่เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ

1. ความร้อนเนื่องจากการนำความร้อน

การคำนวณภาระการทำความเย็นความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนของกระจก ใช้สมการที่คล้ายกับการหาภาระการทำความเย็นจากความร้อนถ่ายเทจากผนังด้านนอก แต่เปลี่ยนตารางในการนำค่ามาคำนวณ

$$Q_f = U_f \times A_f \times CLTD_C \tag{2.5}$$

และสามารถคำนวณค่า $CLTD_C$ ได้จากสมการ

$$CLTD_C = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_a - 85) \quad (2.6)$$

$Q_f$ = ภาระการทำความเย็นจากกระจก $[BTU/hr]$

$U_f$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก $[BTU/hr \cdot ft^2 \cdot {}^oF]$

$A_f$ = พื้นที่กระจก $[ft^2]$

$CLTD_C$ = ค่าแก้ผลต่างอุณหภูมิของภาระการทำความเย็นของกระจก $[{}^oF]$

$CLTD$ = ผลต่างอุณหภูมิของภาระการทำความเย็นของกระจก $[{}^oF]$

2. ความร้อนจากการแผ่รังสีความร้อน

$$Q = A \times SC \times SHGF \times CLF \quad (2.7)$$

$SHGF$ = Maximum solar heat gain factor
แฟคเตอร์ความร้อนสูงสุดที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ ที่กระทำต่อพื้นผิวโลก ซึ่งสัมพันธ์และแปรผันกับ ตำแหน่งองศาละติจูด ทิศทางของกระจกกับดวงอาทิตย์ และเดือนที่ใช้ในการพิจารณา

$SC$ = สัมประสิทธิ์การบังแดดหน้าต่าง

$CLF$ = Cooling load factor

ค่าตัวแปรภาระการทำความเย็นของกระจกซึ่งสัมพันธ์และแปรผันกับทิศทางของกระจกและดวงอาทิตย์ ลักษณะและรูปแบบโครงสร้างของกระจกและเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

2.3.1.4 ความร้อนผ่านผนังภายใน ฝ้าเพดาน และพื้น

$$Q = U \times A \times \Delta T \tag{2.8}$$

$\Delta T$ = design temperature difference, unconditioned area to room, partition, ceiling, floor [ $^{\circ}F$ ] ในกรณีไม่ทราบค่าหากอีกด้านไม่มีการปรับอากาศอาจสมมุติให้มีค่า 5 $^{\circ}F$

2.3.1.5 ความร้อนจากแสงสว่าง

$$Q = U \times A \times CLTD_c \tag{2.9}$$

$Q$ = ปริมาณความร้อนจากแสงสว่าง [$BTU$ / hr]
$W$ = ค่าความจุความร้อนของแสงสว่าง [$W$]
$BF$ = ballast factor ( $BF$ = 1.25 สำหรับ หลอดไฟ ฟลูออเรสเซนต์, $BF$ =1 สำหรับหลอดไส้)
$CLF$ = ค่าตัวแปรภาระความเย็นของไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสัมพันธ์กับเวลาในการเปิดไฟฟ้าและระยะเวลาในการใช้งานประสิทธิภาพของไฟฟ้าแสงสว่างและชนิดของไฟฟ้าแสงสว่าง (โดยปกติจะใช้ $CLF$ = 1)

2.3.1.6 ความร้อนจากคน

$$Q_{sensible} = n \times Q_s \times CLF \tag{2.10}$$

$$Q_{latent} = n \times Q_l \tag{2.11}$$

$n$ = จำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่
$Q_s$ = ความร้อนสัมผัส [$BTU$ / hr]
$Q_l$ = ความร้อนจำเพาะ [$BTU$ / hr]
$CLF$ = ตัวแปรภาระความเย็นของคนซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้เครื่องปรับอากาศและช่วงเวลาที่คนเข้าไปในพื้นที่การทำความเย็น $CLF$ = 1เมื่อเครื่องปรับอากาศถูกปิดในเวลากลางคืน

2.3.1.7 ความร้อนจากเครื่องมือและอุปกรณ์

$$Q_{sensible} = Q_l \tag{2.12}$$

$$Q_{latent} = Q_s \tag{2.13}$$

$Q_s$ = ความร้อนสัมผัส $[BTU/\text{hr}]$

$Q_l$ = ความร้อนจำเพาะ $[BTU/\text{hr}]$

2.3.1.8 ความร้อนจากอากาศรั่ว

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times TC \tag{2.14}$$

$$Q_l = 4840 \times CFM \times (w_o - w_i) \tag{2.15}$$

$Q_s$ = ความร้อนสัมผัส $[BTU/\text{hr}]$

$Q_l$ = ความร้อนจำเพาะ $[BTU/\text{hr}]$

$CFM$ = ปริมาณของอากาศที่แทรกซึมเข้าห้อง $(\text{cfm})$

$TC$ = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศที่แทรกเข้ามากับอุณหภูมิห้อง $\left[{}^{\circ}F\right]$

$w_o - w_i$ = ความแตกต่างระหว่างค่าความชื้นจำเพาะของ อากาศที่แทรกซึมเข้ามากับความชื้นจำเพาะของอากาศในห้อง $lb/lb_{da}$

2.3.1.9 ความร้อนจากการระบายอากาศ

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times TC \tag{2.16}$$

$$Q_l = 4840 \times CFM \times (w_o - w_i) \tag{2.17}$$

$Q_s$ = ความร้อนสัมผัส $[BTU/\text{hr}]$

$Q_L$ = ความร้อนจำเพาะ $[BTU/\text{hr}]$

$CFM$ = ปริมาณของอากาศที่แทรกซึมเข้าห้อง $(cfm)$

$TC$ = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่แทรกเข้ามากับอุณหภูมิห้อง $\left[{}^{\circ}F\right]$

$w_o - w_i$ = ความแตกต่างระหว่างค่าความชื้นจำเพาะของ อากาศที่แทรกซึมเข้ามากับความชื้นจำเพาะของอากาศในห้อง $lb/lb_{da}$

2.3.2 วิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นโดย Cooling load Estimation

วิธีนี้จะเป็นการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยประมาณแบบง่ายๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้กันเพราะสะดวกและรวดเร็วต่อการคำนวณ โดยหลักการคำนวณมีดังนี้

$$BTU = \text{พื้นที่ห้อง (กว้าง x ยาว) x Cooling load Estimation} \qquad (2.18)$$

โดยค่า Cooling load Estimation = 800 สำหรับห้องที่สัมผัสแสงแดด

Cooling load Estimation = 600 สำหรับห้องที่ไม่สัมผัสแสงแดด

<u>หมายเหตุ</u> ค่า Cooling load Estimation สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของสถานที่จริง

2.3.3 วิธีคำนวณแบบตารางคำนวณสำเร็จรูป

ตารางที่ 2.3 แสดงการคำนวณหาภาระทำความเย็นแบบสำเร็จรูป

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. ความร้อนจากผนัง | | | | | | |
| | พื้นที่ผนังด้านทิศเหนือ | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่ผนังด้านทิศใต้ | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่ผนังด้านทิศตะวันออก | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่ผนังด้านทิศตะวันตก | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่ผนังภายใน | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| 2. ความร้อนจากฝ้าเพดาน | | | | | | |
| | เพดานที่มีฉนวนไมโครไฟเบอร์ หรือเพดานชั้นล่าง | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | เพดานชั้นบนที่ไม่มีฉนวน | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| 3.ความร้อนจากกระจก | | | | | | |
| | พื้นที่กระจกด้านทิศเหนือ | | ตร.ม. | = | | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่กระจกด้านทิศใต้ | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่กระจกด้านทิศตะวันออก | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่กระจกด้านทิศตะวันตก | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | พื้นที่กระจกภายใน | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| 4. ความร้อนจากคน | | | | | | |
| | จำนวนคน | | คน | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| 5. ความร้อนจากอากาศถ่ายเท (อากาศบริสุทธิ์) | | | | | | |
| | พื้นที่ห้อง | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| 6. ความร้อนอื่น ๆ | | | | | | |
| | ความร้อนจากหลอดไฟ พื้นที่ห้อง | | ตร.ม. | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ จำนวนวัตต์ | | วัตต์ | = | 0 | บีทียู/ช.ม. |
| | *รวม* | | | | *0* | *บีทียู/ช.ม.* |

2.3.4 โหลดความเย็นสูงสุด (Peak cooling load)

การคาดคะเนภาระการทำความเย็นสูงสุดที่เกิดขึ้นในรอบปี สามารถใช้หลักการได้ดังนี้

1. ผนังด้านนอกจะได้รับความร้อนสูงที่สุดจากดวงอาทิตย์ในตอนบ่ายของวันช่วงกลางฤดูร้อน
2. หลังคาจะได้รับความร้อนสูงที่สุดของวันในตอนบ่ายของวันช่วงกลางฤดูร้อน
3. การนำความร้อน และการแผ่รังสี ของกระจกด้านทิศตะวันตกของอาคาร จะได้รับความร้อนสูงที่สุดจากดวงอาทิตย์ในตอนบ่ายของวันช่วงกลางฤดูร้อน
4. การนำความร้อน และการแผ่รังสี ของกระจกด้านทิศตะวันออกของอาคาร จะได้รับความร้อนสูงที่สุดจากดวงอาทิตย์ในตอนเช้าของต้นเดือนหรือกลางเดือนช่วงฤดูหนาว
5. การนำความร้อน และการแผ่รังสี ของกระจกด้านทิศใต้ของอาคาร จะได้รับความร้อนสูงที่สุดจากดวงอาทิตย์ในเวลาหลังเที่ยงเล็กน้อยของวันช่วงฤดูฝน
6. การนำความร้อน และการแผ่รังสี ของกระจกด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอาคารจะได้รับความร้อนสูงที่สุดจากดวงอาทิตย์ในตอนบ่ายของวันช่วงฤดูฝน

## 2.4 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องปรับอากาศ

2.4.1 โปรแกรมการออกแบบ (Program Phase)[3]

ก่อนที่ผู้ออกแบบจะทำการออกแบบได้นั้น ต้องได้รับโปรแกรมการออกแบบข้อกำหนดจากเจ้าของโครงการหรือที่ปรึกษาเสียก่อน โดยในข้อกำหนดจะบอกถึงสิ่งต่างๆเหล่านี้

1. งบประมาณในการลงทุน และงบประมาณในการดำเนินดานในการสร้างอาคาร
2. ภูมิศาสตร์ ที่ตั้งของอาคาร และการเดินทางเข้าถึงอาคาร
3. ลักษณะความสูง พื้นที่ จำนวนชั้นของอาคาร วัสดุที่ใช้ทำหลังคาและผนัง
4. หน้าที่การใช้งานของอาคาร
5. Drawing การออกแบบอาคารจากสถาปนิก

2.4.2 แผนการออกแบบ (Schematic Design)

ขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบอาจต้องใช้ประสบการณ์ทำงานที่เคยทำงานมาก่อน เพื่อวิเคราะห์คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละแบบ โดยข้อมูลที่จะนำมาช่วยในการประเมิน เช่น

| | |
|---|---|
| ภาระการทำความเย็น | 16-20 *sq.m. / ton* |
| ภาระจากไฟฟ้าและแสงสว่าง | 16-20 *W / sq.m.* |
| ภาระจากอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ | 10 *W / sq.m.* |
| จำนวนคน | 5-10 *sq.m. / person* |

โดยหลักสำคัญของขั้นตอนนี้คือการพิจารณาการเลือกเครื่องปรับอากาศมาติดตั้งในอาคาร ซึ่งนอกจากประสบการณ์แล้วผู้ออกแบบต้อง มีปัจจัยในการพิจารณาดังนี้[3]

1. ขนาดพื้นที่ในการติดตั้งระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ต่างๆ
2. งบประมาณที่ใช้ในการติดตั้ง
3. งบประมาณที่ใช้ในการวางระบบ
4. ความดังเสียงและความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น
5. ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วของอากาศ และความชื้น
6. ความเข้ากันได้ระหว่างพื้นที่ของระบบโครงสร้างกับอาคาร
7. การอนุรักษ์พลังงาน

2.4.3 การออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการประสานงานกันระหว่างสถาปนิก, วิศวกรเครื่องกล,วิศวกรไฟฟ้า วิศวกรโครงสร้าง, ที่ปรึกษาด้านเสียง เพื่อปรึกษากันในเรื่อง งานระบบปรับอากาศ งานสถาปัตยกรรม งานระบบโครงสร้างเป็นต้น ในช่วงนี้จะนำกฎหมายและข้อบังคับต่างมาพิจารณา เช่นกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 หรือ 39 ตาม พ.ร.บ. , พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน, กำหนดกำลังไฟฟ้าและแสงสว่างต่อพื้นที่การใช้งาน *W / sq.m.* เป็นต้น

2.4.4 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบ VRF

1. คำนวณหาภาระการทำความจากทฤษฎีที่ 2.6
2. จัดกลุ่มห้องจากการวางห้องในบริเวณเดียวกัน เพื่อคำนวณหา Condenser มารองรับตามภาระการทำความเย็น
3. เลือก Evaporator จากภาระการทำความเย็นและขนาดห้อง
4. ติดตั้งระบบ control

2.4.5 การติดตั้งระบบปรับอากาศแบบ VRF

1. การวาง Condenser

เพื่อให้ Condenser ตั้งบนฐานที่แข็งแรงและได้ระดับ ให้ทำการตรวจสภาพฐานวางเพื่อยืนยันว่าฐานนั้นราบเสมอกันหลังการติดตั้ง และฐานวางนี้ต้องมีมุมเงยไม่เกิน 10° หากมีการติดตั้งตัวรองรับแรงกระแทก โปรดตรวจเช็คว่าเครื่องติดตั้งได้แนวระนาบหรือไม่หลังการติดตั้ง ขอแนะนำให้ติดตั้งอุปกรณ์ลดการสั่นสะเทือนระหว่างฐานรากและฐานของ Condenser เลือกอุปกรณ์ลดแรงสะเทือนที่เหมาะสมและทำการติดตั้งตามข้อกำหนดการออกแบบเพื่อให้ตรงกับข้อกำหนดในการลดการสั่นสะเทือน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปรากฏการณ์ความถี่พ้อง Condenser ควรวางในสถานที่ที่กว้างพอที่จะสามารถให้บริการและบำรุงรักษาได้อย่างสะดวก

2. การเลือกสถานที่ มีดังนี้

2.1 Condenser สามารถติดตั้งบนระเบียง หลังคา พื้นหรือสถานที่อื่นๆ ที่สะดวกต่อการติดตั้งและแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักของตัวเครื่องได้

2.2 เว้นพื้นที่ด้านหลังมากพอที่จะทำการซ่อมแซมได้สะดวก

2.3 เลือกสถานที่ที่มีการหมุนเวียนอากาศ และตรวจดูว่ามีที่ว่างเพียงพอที่จะไม่ทำให้ขาดการหมุนเวียนอากาศหากต้องติดตั้งเครื่องหลายๆเครื่องพร้อมกัน

2.4 เลือกสถานที่ตั้งเครื่องซึ่งอากาศที่ออกและเสียงที่เกิดจากเครื่องไม่สร้างความรบกวนแก่ผู้ใด

2.5 สถานที่ตั้ง Evaporator ต้องไม่ได้รับผลกระทบจากแหล่งความร้อนอื่น

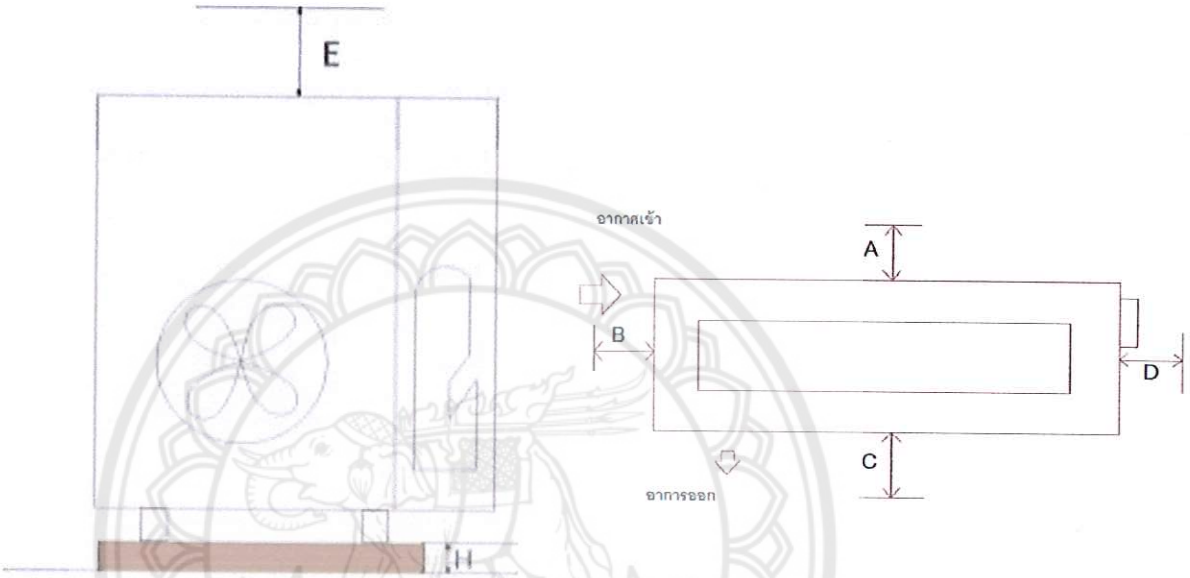
2.6 ไม่ควรติดตั้งเครื่องใกล้กับอากาศที่ไวไฟหรือมีความชื้นสูง

2.7 เดินท่อน้ำทิ้งรอบตัวเครื่องเพื่อให้น้ำฝน น้ำที่ละลาย หรือน้ำควบแน่นไหลถ่ายเทได้อย่างราบรื่น

2.8 หาวิธีป้องกันน้ำแข็งสะสมตัวบนคอยล์ เพื่อให้ระบบทำงานได้เป็นปกติ

3. ข้อกำหนดเกี่ยวกับพื้นที่ในการติดตั้ง Condenser

ระยะห่างของ Condenser กับสิ่งกีดขวางโดยรอบ ความสูงของรากฐานจะต้องไม่ต่ำกว่าตัวเลขที่ระบุในรูป




ตารางที่ 2.4 ระยะห่างของ Condenser กับสิ่งกีดขวางโดยรอบ

| | |
|---|---|
| A | 300 mm. |
| B | 300 mm. |
| C | 800 mm. |
| D | 500 mm. |
| E | 500 mm. |
| H | 300 mm. |

4. การออกแบบและเลือกขนาดท่อน้ำยาแอร์

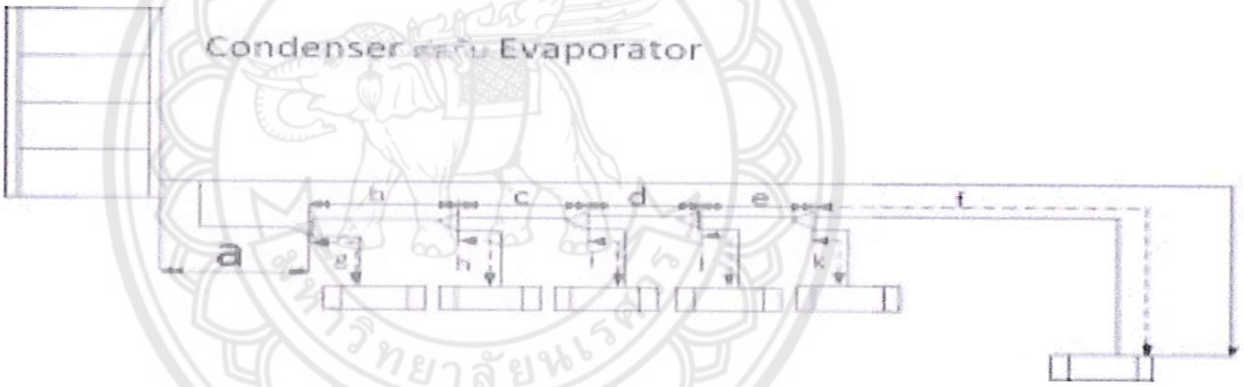
4.1 อัตราส่วนของขนาด Evaporator ที่ใช้ จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$50\% \leq \frac{\text{ผลรวมพิกัดขนาดทำความเย็นอินดอร์ยูนิต}}{\text{พิกัดขนาดทำความเย็นของเอาท์ดอร์ยูนิต}} \leq 130\%$$

และผลรวมของพิกัดขนาดทำความเย็นของ Evaporator x a ≤ พิกัดทำความเย็นของ Condenser

หมายเหตุ: a คือแฟกเตอร์การใช้ของ Evaporator พร้อมๆกัน (a≤1.0) ซึ่งบอกว่าภายใต้การทำงานปกติ ค่าดังกล่าวคืออัตราส่วนของขนาดรวมสูงสุดของ Evaporator ที่สามารถทำงานได้พร้อมๆกัน และพิกัดขนาดรวมของ Evaporator

ความยาวท่อและผลต่างความสูงที่อนุญาตสำหรับเครื่อง VRF




ตารางที่ 2.5 ความยาวท่อและผลต่างความสูงที่อนุญาตสำหรับเครื่อง VRF

| ขนาด Evaporator | | | 8~11.2 kw | 12~16 kw |
|---|---|---|---|---|
| ความยาวท่อสูงสุด | ความยาวท่อสูงสุดระหว่าง Condenser และ Evaporator | ความยาวท่อจริง (ม.) = a+b+c+d+e+f | 70 | 120 |
| | | ความยาวสมมูลของท่อ (ม.) | 100 | 150 |
| ค่าต่างระดับสูงสุด | ค่าต่างระดับระหว่าง Condenser และ Evaporator = H1 | เหนือ Evaporator (ม.) | 30 | |
| | | ต่ำกว่า Evaporatoy (ม.) | 15 | 20 |
| | ค่าต่างระดับระหว่าง Condenser และ Evaporator = H2 | | 15 | |
| ความยาวแยกสุดท้าย | ความยาวสมมูลระหว่างท่อแยกแรกและ Evaporator ตัวสุดท้าย (ม.) | | ≤40 | |

4.2 การคำนวณความยาวสมมูล

ความยาวสมมูลของท่อ = ความยาวจริงของท่อ + (จำนวนข้องอ × ความยาวสมมูลของข้องอ) + (จำนวนข้อดักน้ำมัน × ความยาวสมมูลของข้อดักน้ำมัน) + ความยาวสมมูลของท่อแยก

โดยที่จุดทางแยกรูปตัว Y มีความยาวสมมูลเท่ากับ 0.5 ม. และจุดทางแยกแบบคอมบ์ เท่ากับ 1 ม.

ตารางที่ 2.6 การแปลงความยาวสมมูลของข้องอและข้อดักน้ำมัน

| เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (มม.) | ความยาวสมมูลของข้องอ (มม.) | ความยาวสมมูลของข้อดักน้ำมัน (ม.) |
|---|---|---|
| 9.52 | 0.18 | 1.3 |
| v | 0.20 | 1.5 |
| 15.88 | 0.25 | 2.0 |
| 19.05 | 0.35 | 2.4 |

4.3 การเลือกขนาดท่อ

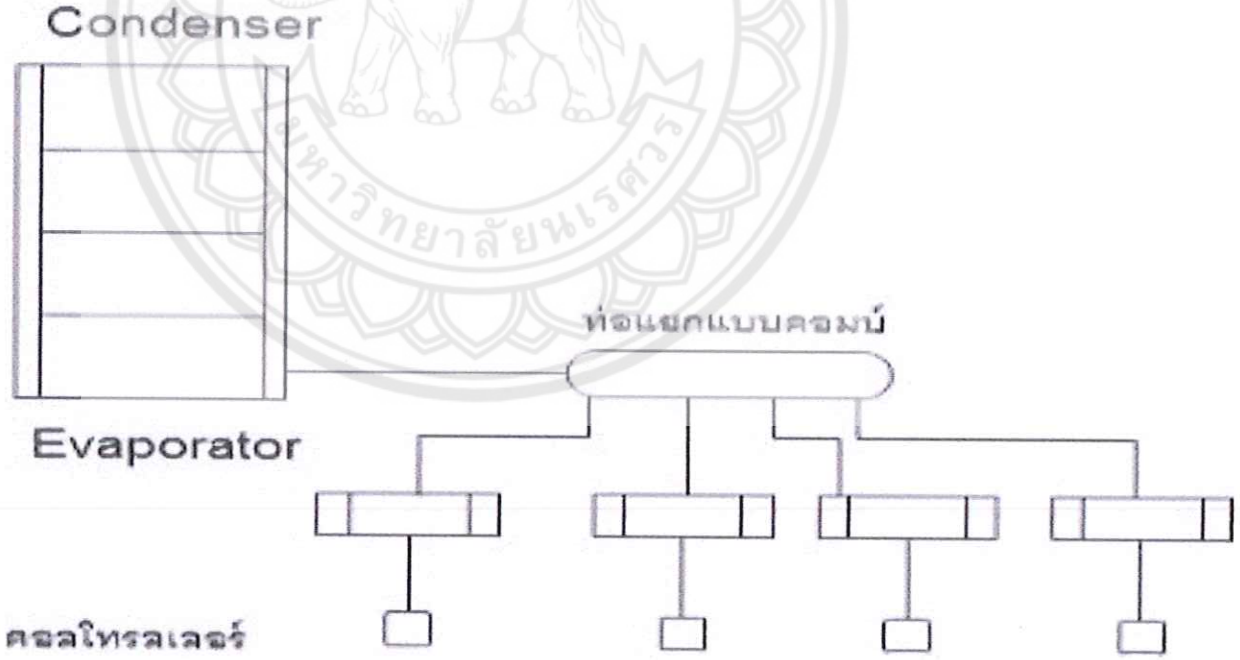
ตารางที่ 2.7 การเดินท่อระหว่างท่อแยกและ Evaporator ขนาดควรตรงกับขนาดของรูท่อของ Evaporator

| ขนาดของ Evaporator ที่ต่อหลังท่อแยก (kw) | ท่อของเหลว (มม.) | ท่อก๊าซ |
|---|---|---|
| $x < 3kw$ | $\phi 6.35$ | $\phi 9.52$ |
| $3 \le x < 6kw$ | | $\phi 12.7$ |
| $6 \le x \le 16kw$ | $\phi 9.52$ | $\phi 15.88$ |
| $x > 16kw$ | | $\phi 19.05$ |

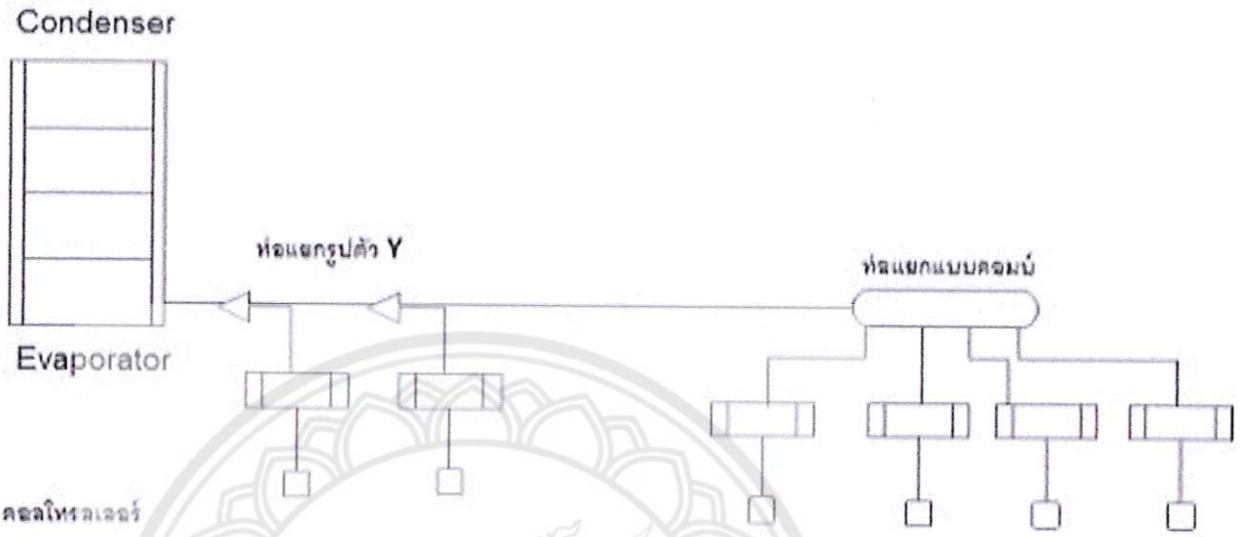
4.4 การเลือกและการต่อท่อแยกรูปตัว Y และท่อแยกแบบคอมบ์ (comb)

การต่อด้วยข้อต่อแยกรูปตัว Y เพียงอย่างเดียว

การต่อด้วยข้อต่อแยกแบบคอมบ์เพียงอย่างเดียว



การต่อด้วยข้อต่อแยกรูปตัว Y และข้อต่อแบบคอมบ์ร่วมกัน




**หมายเหตุ** : ห้ามต่อท่อแยกรูปตัว Y หลังท่อแยกแบบคอมบ์ หรือต่อท่อแยกแบบ**คอมบ์หลังท่อแยกแบบคอมบ์**

245.6 ชนิดของ Evaporator

Evaporator หรือ แฟนคอยล์ ยูนิต (Fan coil unit) หรือที่เรียกกันว่า **คอยล์เย็น คือส่วนของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งไว้ภายในอาคาร ทำหน้าที่ดูดซับความร้อนภายในห้อง ซึ่งภายในเครื่องประกอบด้วย** แผงคอยล์เย็น และชุดมอเตอร์พัดลม ซึ่งมีหลายแบบดังนี้

1. **แบบฝังเพดาน** ( Built-in type)

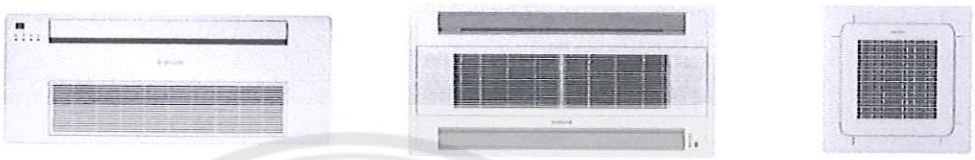
เป็น Evaporator ที่เน้นความสวยงามโดยการฝังเข้าในฝ้าหรือใต้เพดาน เหมาะสมกับห้องที่ต้องการความสวยงามของห้องโดยให้เห็นตัวเครื่องปรับอากาศน้อยที่สุด

<u>ข้อดี</u> สวยงาม โดยสามารถทำตู้ซ่อน หรือ ฝังเรียบไว้บนเพดานห้อง

<u>ข้อเสีย</u> ติดตั้งยาก เนื่องจากต้องทำการฝังเข้าตู้หรือเพดานห้อง การดูแลรักษาทำได้ไม่ค่อยสะดวก

Evaporator สามารถแบ่งชนิดออกเป็น ดังนี้

1.1 Cassette type มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมฝังอยู่ในฝ้าสามารถปล่อยลมเย็นออกมาได้ 1-4 ทิศทาง



รูปที่ 2.16 Cassette type ของ samsung

รูปที่ 2.17 cassette type ของ york

1.2 Duct type เป็นชุด Evaporator แบบต่อท่อลมจะปล่อยลมเย็นออกมาในทิศทางตรง การติดตั้งจะเป็นบริเวณเหนือเพดานหรือฝังฝ้า เหมาะสำหรับห้องที่มีขนาดค่อยข้างใหญ่และกว้างมีเพดานสูง

รูปที่ 2.18 Duct type ของ samsung

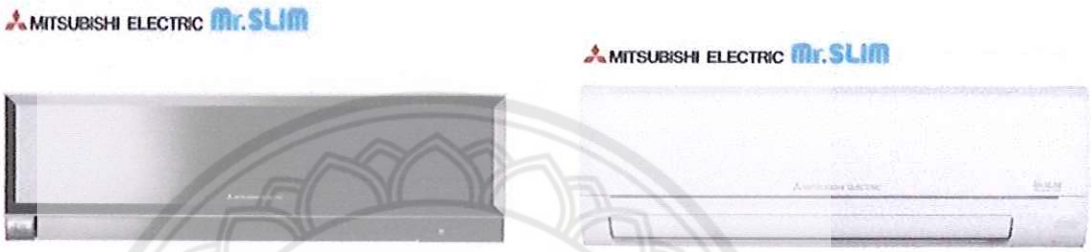
รูปที่ 2.19 Duct type ของ Daikin

2. แบบติดผนัง (Wall type)

เป็น Evaporator ที่นิยมใช้กันตามบ้าน ห้องพักโรงแรม หอพัก เนื่องจากมีรูปแบบเล็กกะทัดรัดเหมาะสำหรับห้องที่มีเนื้อที่ไม่มากนัก

ข้อดี รูปแบบทันสมัย และมีให้เลือกหลากหลาย เงียบ ติดตั้งง่าย

ข้อเสีย ไม่เหมาะสำหรับการทำงานหนัก




รูปที่ 2.20 Wall type ของ Mitsubishi

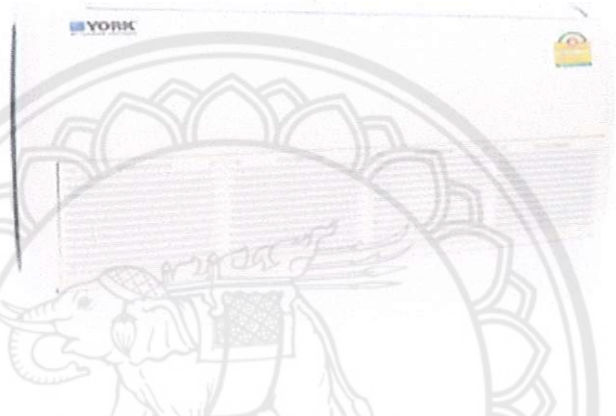
รูปที่ 2.21 Wall type ของ Samsung

3. แบบตั้งแขวน (Floor Ceiling type)

**เป็น** Evaporator **ที่เหมาะสำหรับพื้นที่ตั้งแต่ขนาดเล็กเช่นห้องนอน ห้องนั่งเล่น ไปจนถึงพื้นที่ขนาดใหญ่เช่นสำนักงาน ร้านอาหาร ห้องประชุม**

ข้อดี ติดตั้งได้ง่ายหลากหลายทั้งตั้งพื้นหรือจะแขวนก็ได้ ระบายลมได้ดี

ข้อเสีย มีรูปแบบให้เลือกน้อย




รูปที่ 2.22 Floor Ceiling type ของ york

รูปที่ 2.23 Floor Ceiling type ของ Daikin

4. แบบตู้ตั้ง ( Package type)

เป็น Evaporator ที่มีลักษณะคล้ายตู้มีขนาดใหญ่และสูง มีกำลังลมส่งที่แรงเหมาะพื้นที่ที่คนเข้าออกตลอดเวลา เช่น ร้านค้า

ข้อดี ติดตั้งง่ายสมารถวางกับพื้นได้เลย ให้กำลังลมที่แรงเนื่องจากมีใบพัดที่ใหญ่

ข้อเสีย เนื่องจากขนาดใหญ่ทำให้เสียพื้นที่ใช้สอยลงไป

รูปที่ 2.24 Package type ของ Daikin

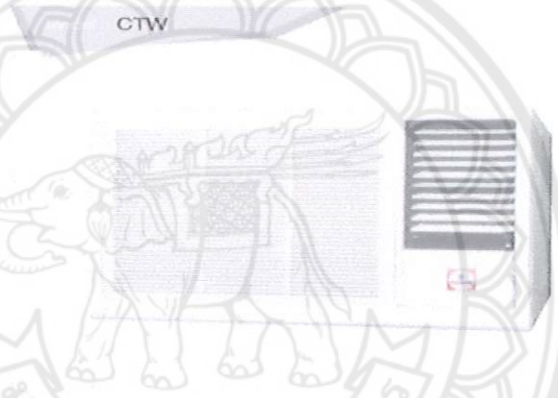
รูปที่ 2.25 Package type ของ Samsung

5. **แบบบานหน้าต่าง** (Window type)

**เป็น** Indoor Unit ที่รวมเอาส่วนของ Condenser และ Evaporator เข้าไว้ด้วยกัน โดยการติดตั้งสามรถฝั่งเข้าไปในกำแพงของห้องได้เลย โดยไม่ต้องเดินท่อน้ำยา ดังนั้นการติดตั้งจึงควรเป็นบริเวณหน้าต่างหรือฝังในกำแพง

ข้อดี เนื่องจากไม่ต้องเดินท่อน้ำทำให้ประหยัดพื้นที่ติดตั้งในส่วนของ Condenser ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงเนื่องไม่สูญเสียความร้อนจากท่อน้ำยา

ข้อเสีย มีเสียงดังจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ และอาจทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนของตัวเครื่อง




รูปที่ 2.26 Window type ของ Central air

## 2.5 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ

ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศจะถูกคำนวณที่ภาระความร้อนสูงสุด (peak load) เช่น ค่า $COP$ และ $EER$ การนำภาระความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง (part load) ไปเทียบเป็นร้อยละกับภาระความร้อนสูงสุดและนำไปคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ย ค่าประสิทธิภาพนี้เรียกว่า $IEER$ หรือการคิดประสิทธิภาพตามชั่วโมงการทำงาน การประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยการคำนวณค่าประสิทธิภาพต่างๆที่กล่าวมาในขั้นต้นมีดังนี้

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Performance, $ChP$) เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น คืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็นได้ต่อพลังงานที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า

2.5.1 ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น $(ChP) = \dfrac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (กิโลวัต)}}{\text{อัตราการทำความเย็นตัน}}$ (2.19)

โดยที่

$TON$ = ความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระเต็มพิกัด มีหน่วยวัดเป็นตันความเย็น

หาได้จาก

$$TON = \frac{(F \times (T_i - T_{out}))}{50.4} \quad (2.20)$$

$F$ = ปริมาณน้ำเย็นที่ไหลผ่านส่วนทำน้ำเย็น มีหน่วยวัดเป็นลิตรต่อนาที

$T_i, T_{out}$ = อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าและไหลออกจากส่วนทำน้ำเย็น มีหน่วยวัดเป็น $^{\circ}C$

$KW$ = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของส่วนทำน้ำเย็น หน่วยกิโลวัตต์

2.5.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Ratio, $EER$ ) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ คือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศว่าดีหรือไม่ อย่างไร มีหน่วยเป็น $(Btu/hr.)/W$

$$EER = \frac{\dot{Q}_L}{E_{comp}} \tag{2.21}$$

$\dot{Q}_L$ = อัตราการทำความเย็น, $kW$

$E_{comp}$ = ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ, $kW$

2.5.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: $COP$ )

$$COP = \frac{EER}{3.412} \tag{2.22}$$

ค่า $COP$ สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ

## 2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

เป้าหมายในการวิเคราะห์โครงการลงทุน คือ วิเคราะห์เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปในการเลือกลงทุนในโครงการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยหลักการพื้นฐานต่างๆดังนี้

2.6.1ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period หรือ PB) หมายถึง ระยะเวลาที่การลงทุนนั้นใช้ไปในการลงทุน เพื่อให้กระแสเงินสดรับสุทธิที่ได้จากการลงทุน คุ้มกับต้นทุนที่ที่จ่ายไป

วิธีการคิดระยะเวลาคืนทุน คำนวณได้โดยการ หากระแสเงินสดสะสมสุทธิในแต่ละงวดเวลาจนกระทั่งกระแสเงินสดสะสมสุทธิเป็นบวก

$$\text{PB} = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \qquad (2.23)$$

2.6.2 ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period หรือ DPB)

หมายถึงการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของโครงการ ที่ทำโดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่า เมื่อมีการลงทุนในโครงการแล้วจะใช้ระยะเวลาในการลงทุนกี่งวดเวลาในการคืนทุน การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนคิดลดแสดงได้ดังสมการดังนี้

$$\text{DPB} = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{มูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \qquad (2.24)$$

2.6.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ $NPV$ )

เป็นวิธีการหามูลค่าปัจจุบัน ของกระแสเงินสดสุทธิ ของโครงลงทุนในแต่ละปี ซึ่งเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้าลบด้วยมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดออก สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังนี้

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^{T} \frac{C_i}{(1+r)^i} \qquad (2.25)$$

$NPV$ = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$C_0$ = เงินลงทุนเริ่มต้น

$C_i$ = กระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา

$T$ = ช่วงอายุของโครงการในการลงทุน

2.6.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return หรือ $IRR$) คือ ผลตอบแทนที่ทำให้ค่า $NVP$ ของโครงการลงทุนนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ($IRR$) ของการลงทุน คืออัตราผลตอบแทน ที่ทำให้เงินที่ลงทุนไปนั้น มีค่าเท่ากับเงินที่ได้รับกลับคืน บางครั้งอาจเรียก $IRR$ ว่าผลตอบแทนจากการคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow Return)

$$NPV = 0 + \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \tag{2.26}$$

$$NPV = 0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + ..... + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \tag{2.27}$$

$IRR$ = อัตราผลตอบแทนภายใน

$NPV$ = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$CF_t$ = กระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา t

$n$ = ช่วงอายุของโครงการลงทุน

$r$ = ต้นทุนของเงินทุน

## 2.7 วรรณกรรมปริทรรศน์

งานวิจัยของ Hani Hussain[13] ได้กล่าวถึงว่า การใช้พลังงานไฟฟ้ากลายเป็นปัญหาสำคัญสำหรับเอกชนเช่นเดียวกับรัฐบาล บริษัทไฟฟ้าในประเทศซาอุดิอาระเบียต้องเผชิญกับเวลาที่ยากเย็นกับการประชุมความต้องใช้ไฟฟ้าที่มากขึ้นงานวิจัยนี้พยายามที่ศึกษาการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารการศึกษาที่ตั้งอยู่ใน Rabigh city ได้มีการตรวจสอบรายละเอียดของการสร้างอาคาร ทั้งในเรื่องการใช้วัสดุในการการสร้าง การใช้พลังงาน ภาระการทำความเย็นและแสง ได้มีการบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมผัสหลายจุดในอาคาร ภาพความร้อนภายในโซนต่างๆสร้างขึ้นเพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายอุณหภูมิและอากาศหรือความร้อนที่ไหลออกหรือเข้าสู่อาคาร พื้นฐานในการวิเคราะห์และตรวจสอบคำแนะนำบางอย่างที่แนะนำให้ลดการใช้ไฟฟ้าซึ่งทำได้ถึง 35.3% นอกจากนี้ประสิทธิภาพในหน่วย A/C ยังเพิ่มขึ้นจาก 31% ผลลัพธ์ที่ได้ยังเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการปฏิบัติงาน การซ่อมบำรุง เพื่อการจัดไฟฟ้าและลดค่าใช้ไฟฟ้า

# บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

## 3.1ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาทฤษฎีระบบปรับอากาศและงานวิจัยซึ่งในที่นี้เราได้ศึกษาจากงานวิจัยของ Hani Hussain[13] ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับค่าไฟฟ้าเป็นรายจ่ายส่วนใหญ่ของแต่ละอาคาร และระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานสูงสุด

## 3.2 สำรวจผังอาคารวิศวกรรมศาสตร์และข้อมูลการติดตั้งระบบปรับอากาศ

เป็นการเดินสำรวจโดยจะแบ่งการสำรวจเป็นสามลักษณะคือสำรวจลักษณะของห้องแต่องค์ประกอบโดยรวมของตึก สำรวจระบบปรับอากาศ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ระบบปรับอากาศเป็นแบบน้ำทั้งหมด ซึ่งเป็นระบบจ่ายน้ำเย็นจากเครื่องส่วนกลางไปยังห้องปรับอากาศโดยใช้ Evaporator เป็นอุปกรณ์ปลายทางที่จะทำให้อากาศในห้องเย็น สำรวจจำนวนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการติดตั้งอยู่เดิมจากการสำรวจพบว่าตึกของภาควิชาไฟฟ้ามี 49 ตัว ภาควิชาโยธา 43 ตัว และภาควิชาอุตสาหการ 43 ตัวและยังได้ สำรวจถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการปรับอากาศของคณะฯ หลังจากนั้นได้ทำการวาดผังอาคารทั้งสามอาคารโดยวาดจากโปรแกรม Microsoft Visio เพื่อจะทราบขนาดของห้องและคำนวณหาภาระการทำความเย็นต่อไป

## 3.3 ประมาณค่าภาระการทำความเย็นของอาคาร

การหาค่าภาระการทำความเย็นของระบบโดยมีวิธีการหาค่าภาระการทำความเย็นทั้งสิ้น 3 วิธี คือ CLTD แบบต่อตารางเมตร และสูตรการคำนวณสำเร็จรูปซึ่งกลุ่มของเราได้เลือกใช้วิธีการคำนวณแบบ CLTD

## 3.4 สำรวจการใช้งานระบบปรับอากาศของอาคาร

เป็นการเดินสำรวจห้องภายในอาคาร เพื่อต้องการทราบว่าห้องแต่ละห้องได้มีการเปิดใช้งานในช่วงเวลาใดบ้าง และลักษณะการใช้งานว่าเป็นอย่างไร

3.5 ศึกษาข้อมูลรายละเอียดทั้งทางด้านเทคนิคและราคาของระบบ VRF

ได้มีการเข้าฟังอบรมกับทางบริษัท จอห์นสัน คอนโทรลและบริษัท Samsung เพื่อเป็นการศึกษาข้อมูลทางด้านเทคนิค เช่น การจัดกลุ่มเพื่อเลือกขนาดของ Condenser และ Evaporator การเลือกขนาดท่อสารทำความเย็นส่วนด้านราคาของอุปกรณ์ทั้งหมดได้ติดต่อของข้อมูลจากฝ่ายขายของแต่ละบริษัท

3.6 ประเมินราคาค่าอุปกรณ์ของ VRF

เริ่มจากการนำค่าภาระการทำความเย็นที่ได้มาเลือกขนาดและจำนวนของ Evaporator และ Condenser แล้วนำไปคำนวณราคาของEvaporatorและCondenserค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และค่าซ่อมบำรุง จากข้อมูลที่ได้จากฝ่ายขายของ บริษัท จอห์นสัน คอนโทรลส์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด

3.7 เปรียบเทียบราคาค่าอุปกรณ์ของ VRF กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และแบบแยกส่วน

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์แล้วจึงนำข้อมูลต่างๆ มาเปรียบเทียบราคาค่าอุปกรณ์ของทั้งสามระบบ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่เหมาะสมกับความต้องการการปรับอากาศของคณะวิศวกรรมศาสตร์

# บทที่ 4
# ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

## 4.1 การสำรวจอาคาร

### 4.1.1 ลักษณะการใช้อาคาร

อาคารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรตั้งอยู่บนพื้นที่ในเขตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประกอบด้วยกลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ทั้งสิ้น 8 อาคาร คือ อาคารเรียนรวม อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ อาคารวิศวกรรมโยธา อาคารวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ และอาคารปฏิบัติการอีก 4 อาคาร

อาคารวิศวกรรมศาสตร์ตัวอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7 ชั้น วางตัวตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก ภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้อง ห้องส่วนใหญ่มีการปรับอากาศ และระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 70 ตันความเย็นมีการทำงานแบบสลับกันทำงาน และมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5 กิโลวัตต์โดยเครื่องชิลเลอร์จะทำการเปิดใช้งานในเวลา 8:00น.-16:00น. วันจันทร์-วันศุกร์ และลักษณะการใช้งานของแต่ละห้องจะมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศไม่พร้อมกัน

สภาพภายในของห้องปรับอากาศบางห้องมีช่องเปิดขนาดใหญ่เนื่องจากผนังไม่ติดกับ ด้านบนฝ้าเพดานบางห้องมีลักษณะเปิดถึงกันได้ ซึ่งไม่มีผนังกั้นเพดานระหว่างห้อง ดังนั้นลมกลับจะดูดอากาศที่มีฝุ่นผงกลับเข้าไปใน Evaporator โดยตรง

### 4.1.2 ภาระการทำความเย็น

ได้นำข้อมูลภาระการทำความเย็นมาจากโครงงานกรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ( Case Study Sprit type System Related Central System in Engineering Department at Naresuan University ) ซึ่งมีการคำนวณไว้ 3 วิธีได้แก่วิธี การหาแบบ CLTD การหาแบบตารางเมตร และการหาแบบใช้โปรแกรมคำนวณ ในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลชุดวิธี CLTD มาใช้ในการออกแบบ เนื่องจากเป็นการคำนวณโดยละเอียดจากปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดภาระทำความเย็นสูงสุด

## 4.2 การออกแบบระบบ VRF กับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

เป็นการออกแบบระบบ VRF ให้เหมาะกับอาคาร ทั้งการเลือกอุปกรณ์ และการวางระบบท่อสารทำความเย็นโดยอ้างอิงจากการปรึกษาบริษัทผู้จัดจำหน่ายและจากการศึกษาดูงานที่อาคารศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ตึก CITCOMS) ได้ดังนี้

### 4.2.1 การเลือกEvaporator

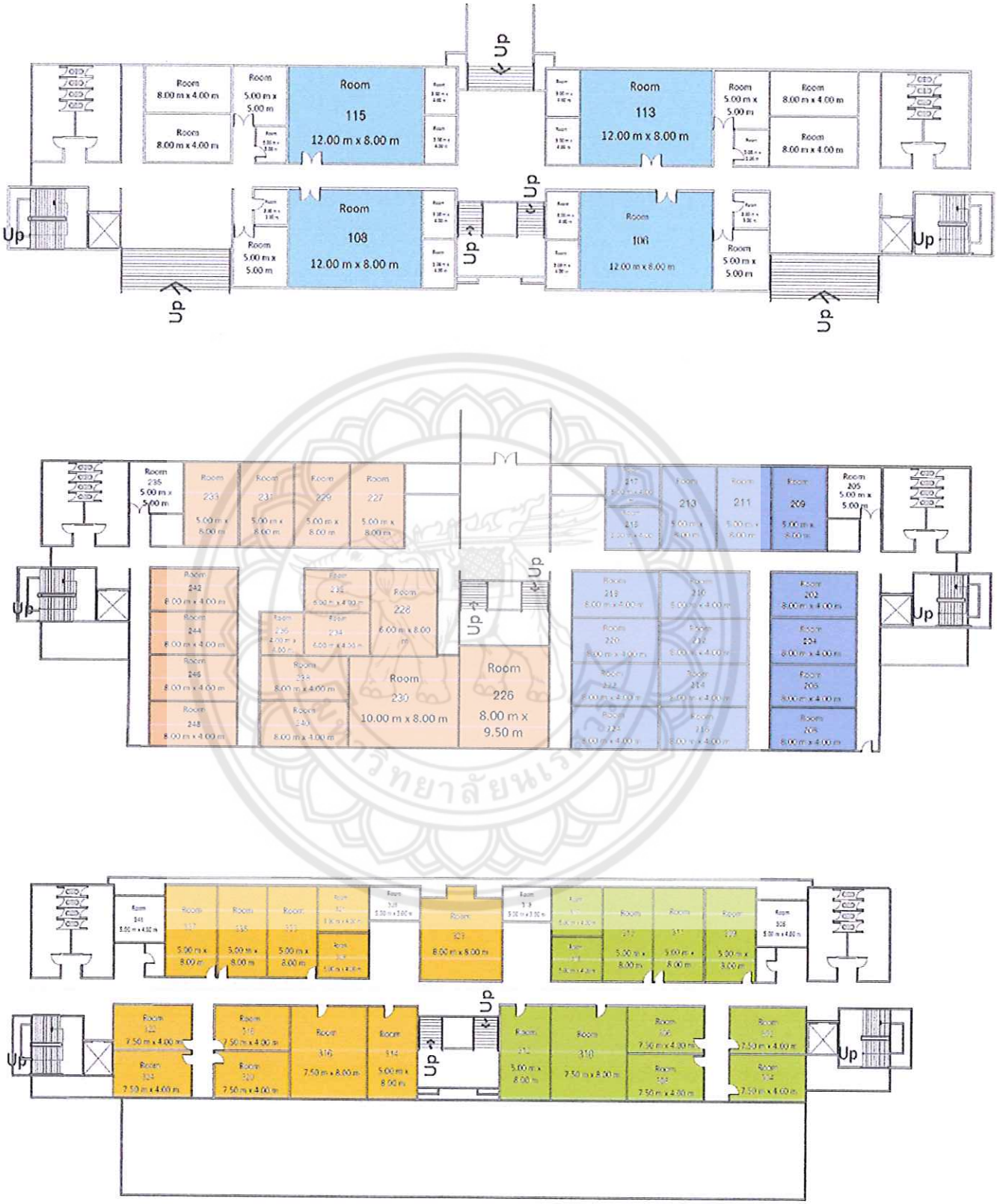
หลังจากการศึกษาชนิดของEvaporatorและลักษณะสถานที่ติดตั้งในอาคารวิศวกรรมศาสตร์แล้ว พบว่าEvaporatorชนิด Cassette type 4 way เพราะพื้นที่ปรับอากาศมีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยมทั้งหมด Evaporatorชนิด Cassette type 4 way มีความเหมาะสมเพราะกระจายลมเย็นได้ 4 ทิศทาง ทำความเย็นได้ทั่วถึงทั้งห้อง ( ตาราง ข.1-ข.3แสดงการเลือกEvaporator)

### 4.2.2การจัดกลุ่มห้อง

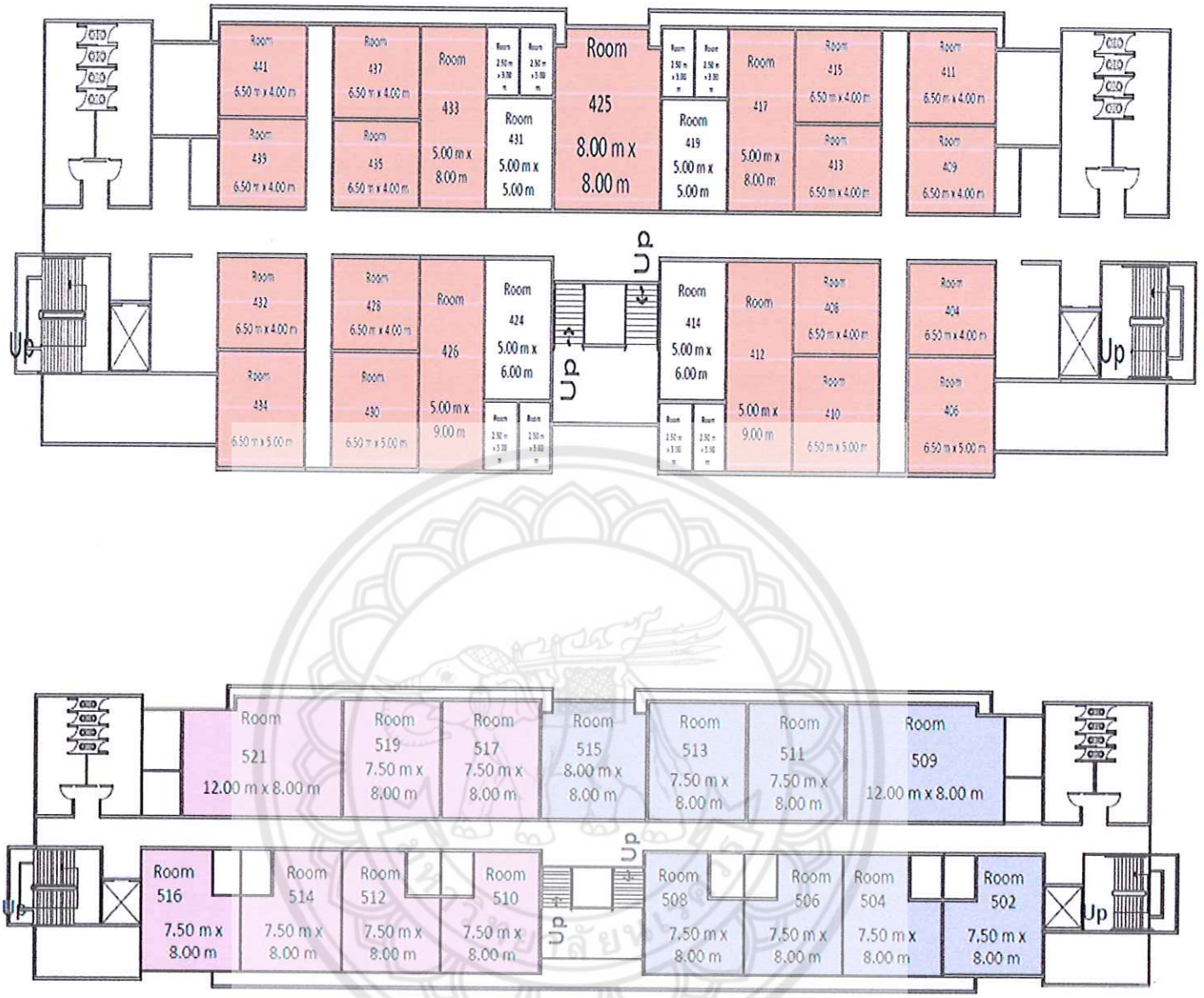
การจัดกลุ่มห้องเพื่อเลือก Condenserตามโหลดรวมของกลุ่มที่จัดนั้น สามารถทำได้โดยการคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. พิจารณาจากกลุ่มห้อง จากห้องที่มีการใช้งานระบบปรับพร้อมกันควรจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อไม่เป็นการกระจายภาระทำความเย็นไปยัง Condenser หลายตัว
2. ตำแหน่งของของพื้นที่ที่ต้องการการปรับอากาศ จัดกลุ่มห้องให้อยู่ในบริเวณเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการวางท่อสารทำความเย็น
3. จำนวน Evaporator ต่อ Condenser ไม่เกินจากที่ระบุไว้ในแคตตาล็อก
4. ภาระการทำความเย็นของEvaporator ต้องคำนึงถึงภาระการทำความเย็นรวม เพราะ จะนำไปเลือกอุปกรณ์ โดยทั่วไปแล้วการเลือกอุปกรณ์ขนาดที่ใหญ่จะเป็นการประหยัดกว่าขนาดเล็กขนาดเล็กหลายๆตัว และควรจัดกลุ่มห้องเพื่อเลือก Condenserที่มีขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อสะในการซ่อมบำรุงและสำรองอะไหล่

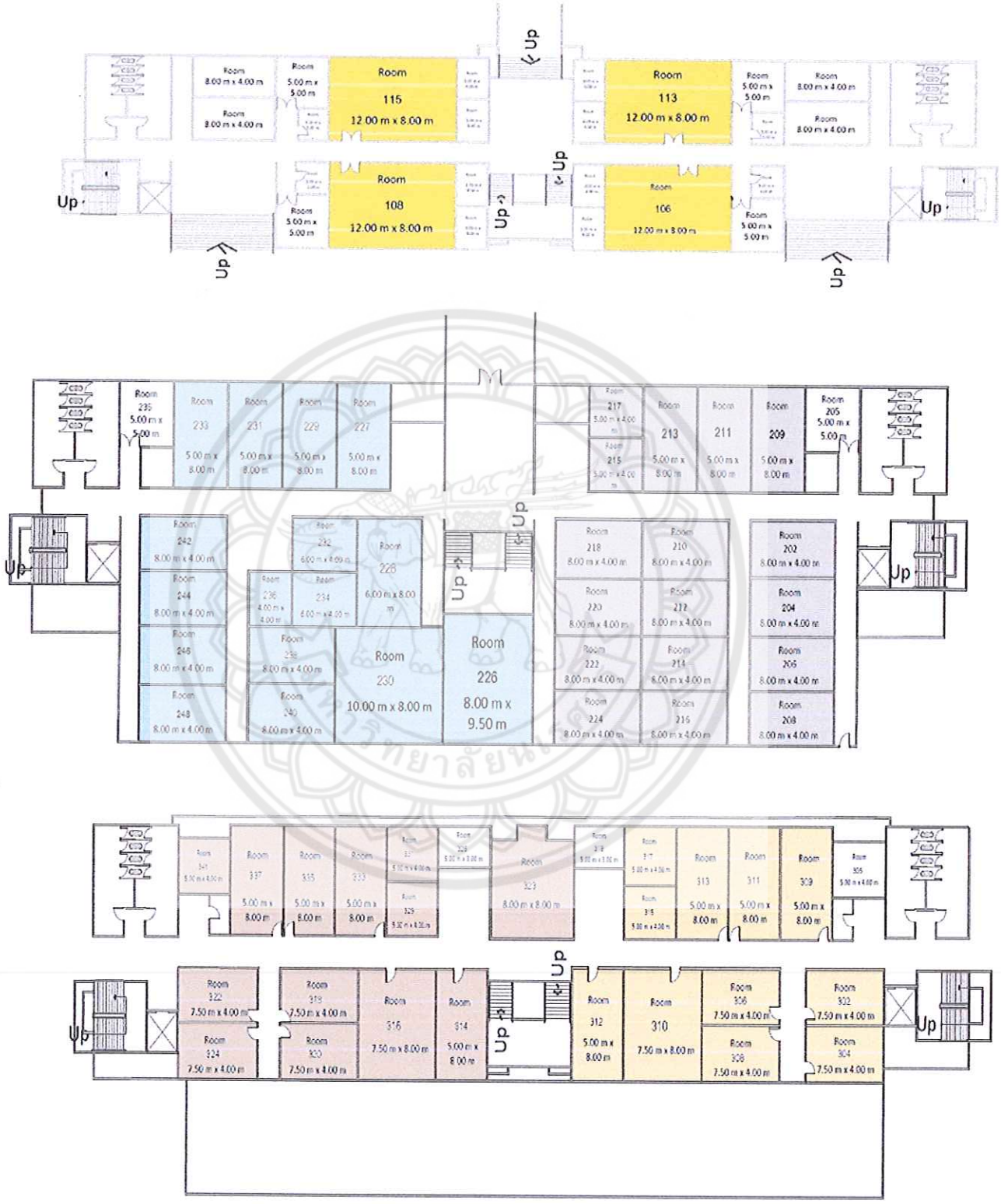
หมายเหตุ:จะแสดงการจัดกลุ่มห้องได้ดังรูปที่4.1-4.6



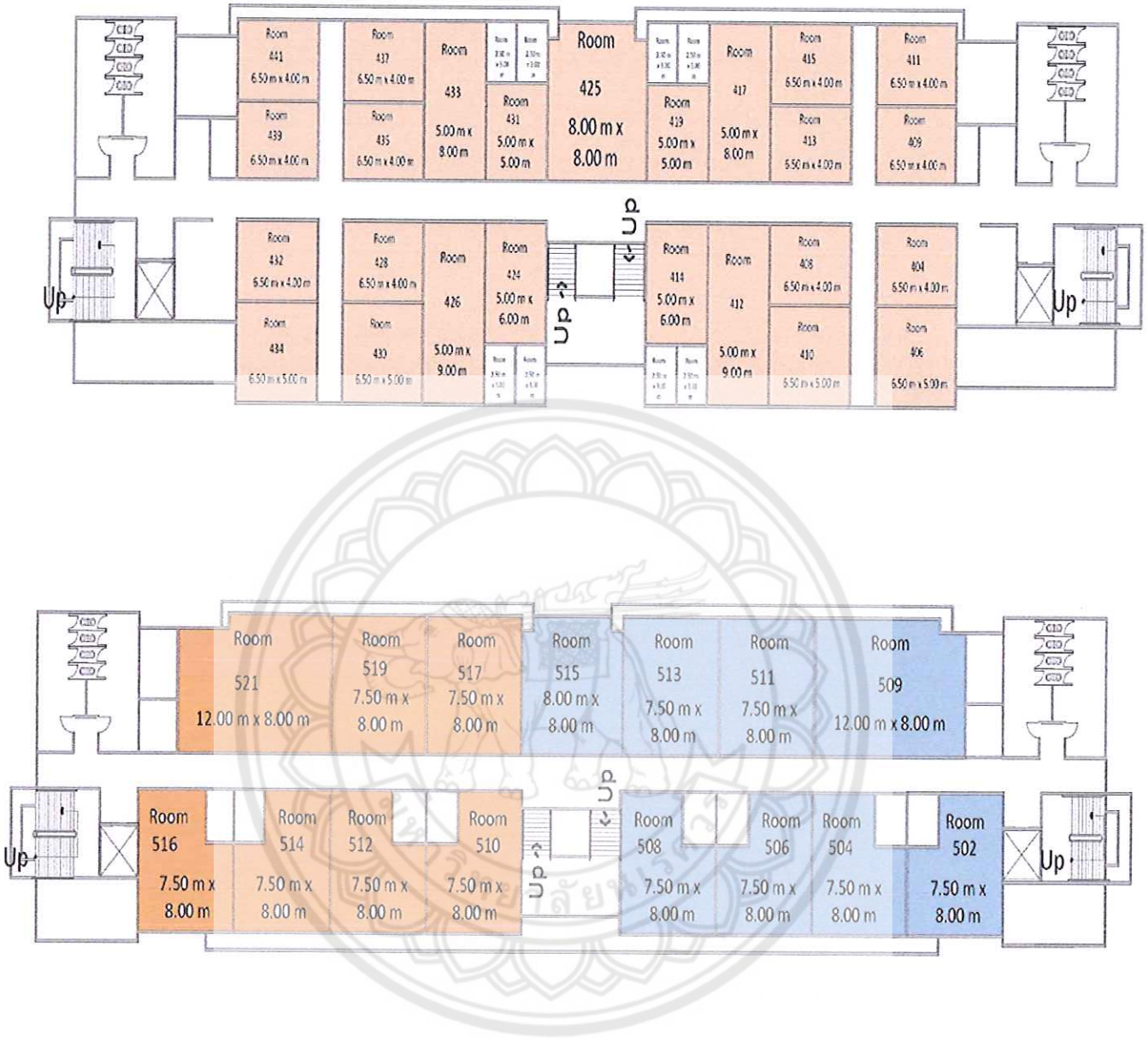

รูปที่ 4.1 การจัดกลุ่มห้องตึก IEชั้น1-3



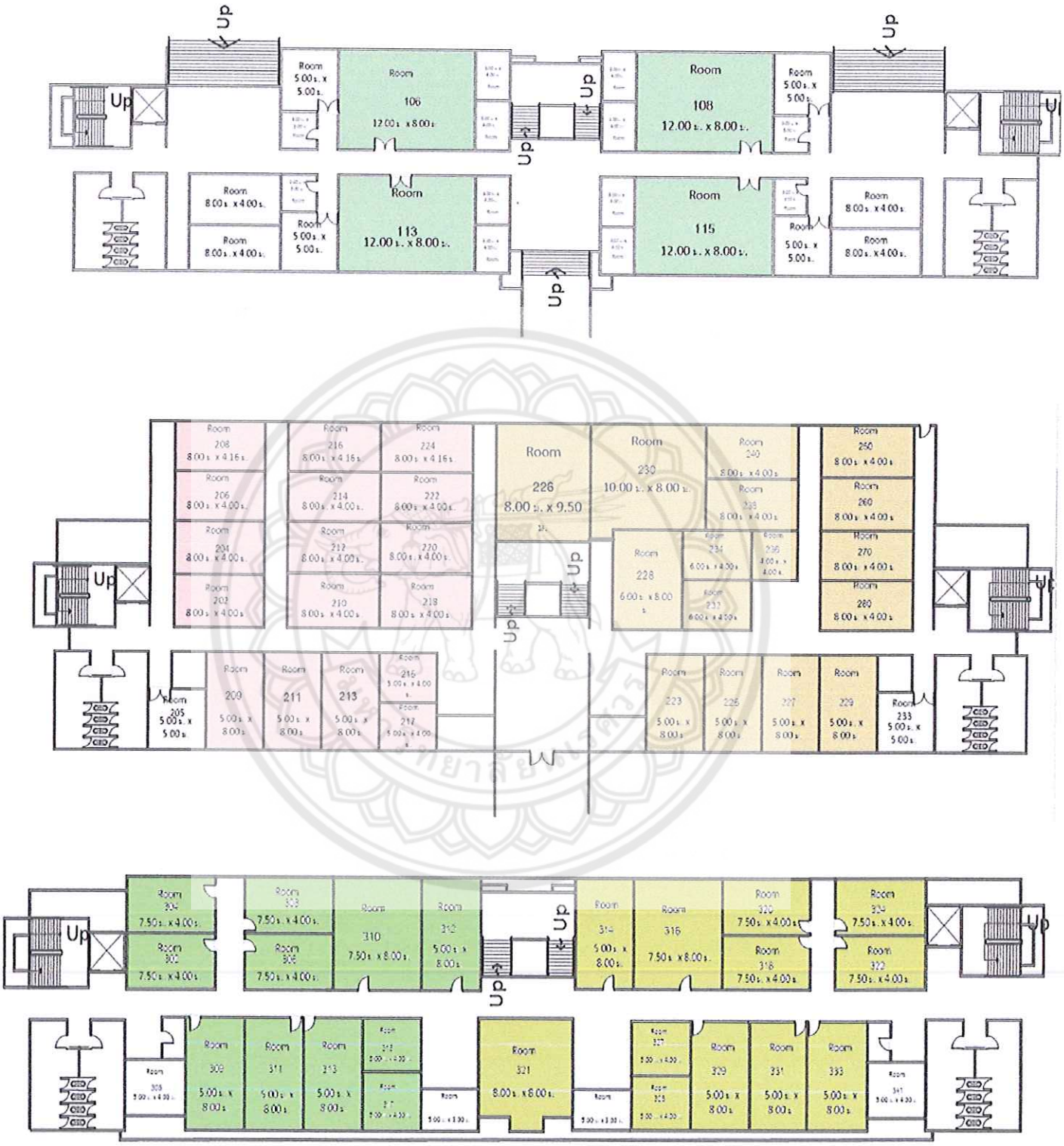

รูปที่ 4.2 การจัดกลุ่มห้องตึก IE ชั้น 4-5



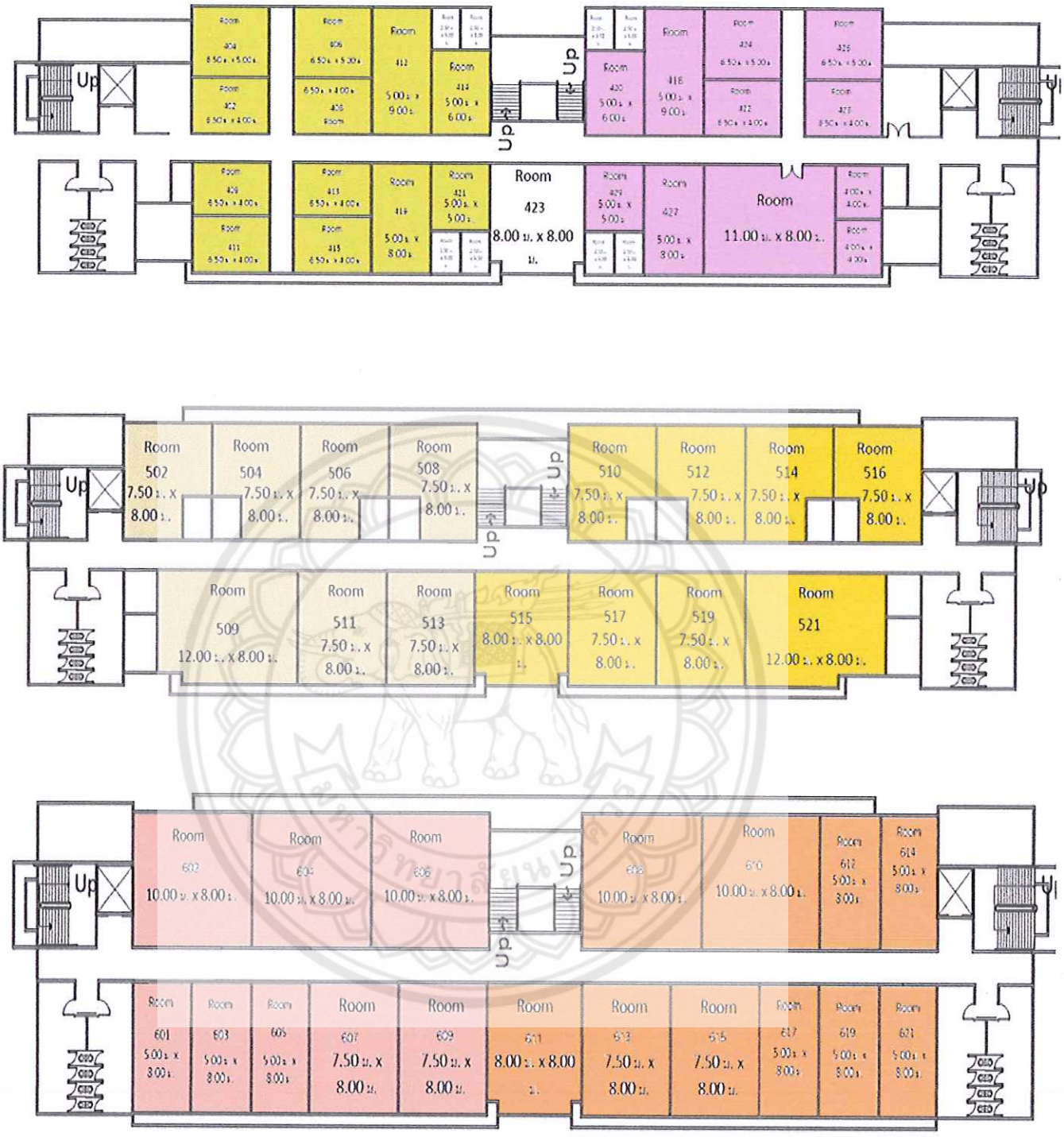

รูปที่ 4.3 การจัดกลุ่มห้องตึก CE ชั้น 1-3




รูปที่ 4.4 การจัดกลุ่มห้องตึก CE ชั้น 4-5




รูปที่ 4.5 การจัดกลุ่มห้องตึก EEชั้น 1-3




รูปที่ 4.6 การจัดกลุ่มห้องตึก EE ชั้น 4-6

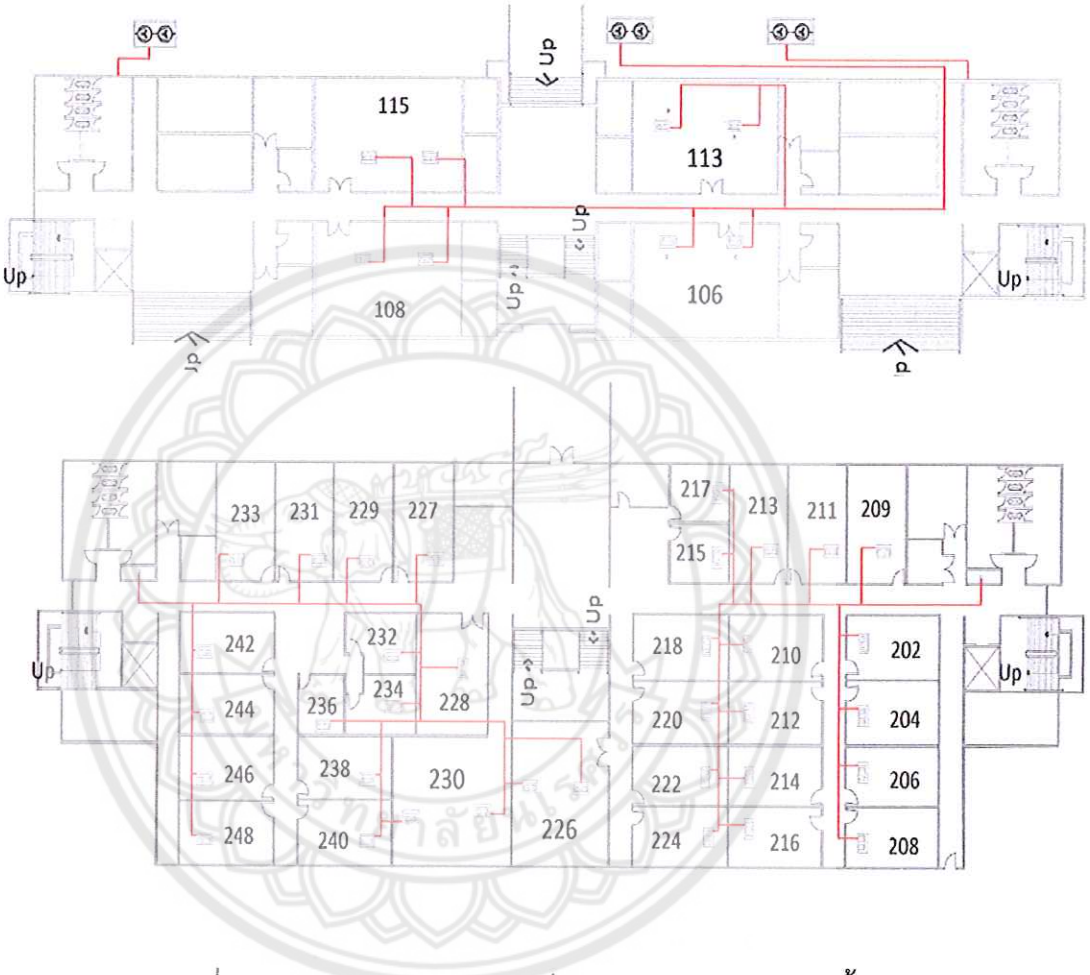
4.2.3 การเลือกCondenser

โดยทั่วไปCondenserสามารถทำงานได้ 120%-130% แต่โดยทั่วไปนิยมติดตั้งจากการทำงานที่ออกแบบ 110% จากที่ออกแบบไว้ ดังนั้นเราสามารถจัดกลุ่มห้องเพื่อนำมาเลือกCondenser จาก cooling load ที่คำนวณได้สูงกว่าเล็กน้อย ในการออกแบบจะนำภาระทำความเย็นของEvaporatorในกลุ่มห้องคูณด้วย 0.8 เพื่อให้ได้ขนาด Condenser ที่ไม่ใหญ่เกินไป เนื่องจากการใช้งานของแต่ละห้องในอาคารไม่พร้อมกัน และพยามใช้อุปกรณ์รุ่นเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการสำรองอะไหล่และค่าบำรุงรักษาและเป็นการประหยัดราคาเพราะขนาดCondenserที่ใหญ่ขึ้นราคาจะสูงขึ้น ( ตาราง ข.4 แสดงการเลือกCondenser)

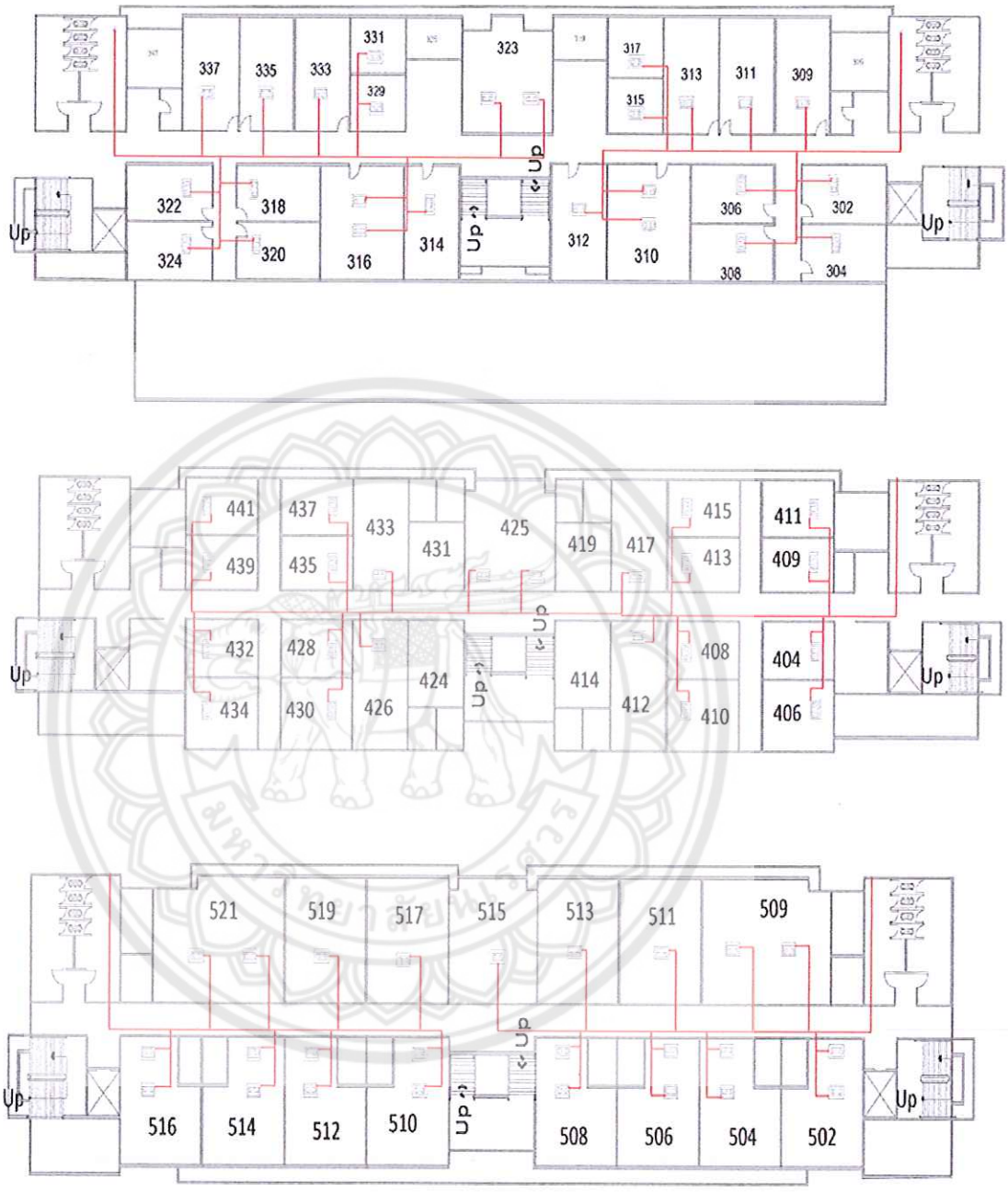
4.2.3การวางระบบท่อสารทำความเย็น

ระบบปรับอากาศแบบ VRF เป็นระบบที่มีการแยกกันระหว่าง Condenser และ Evaporator จึงจำเป็นต้องวางท่อสำหรับส่งสารทำความเย็นไปกลับระหว่างสองเครื่องนี้ ดังนั้นหลักการวางระบบท่อน้ำยามีดังนี้

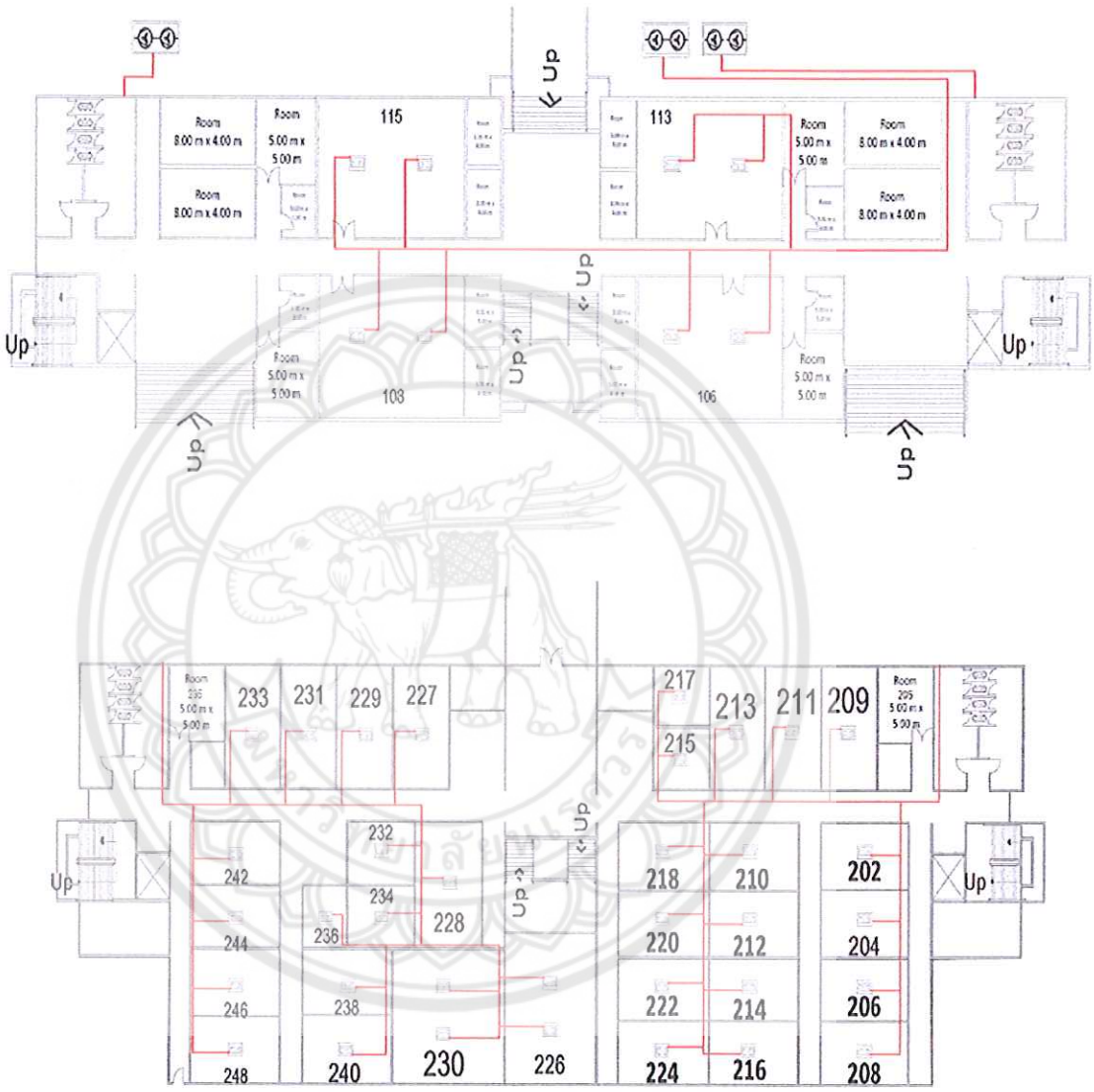
1. การวางระบบท่อต้องทำให้ระบบปรับอากาศนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด
2. เลือกขนาดของท่อและอุปกรณ์ต่อท่อให้มีความเหมาะสมกับภาระทำความเย็น ขนาดของ Condenser และ Evaporator
3. การวางระบบท่อสารทำความเย็นเป็นการระบบภายในอาคาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงงานระบบอื่นด้วย เช่น ระบบไฟฟ้าภาพในอาคาร ท่อน้ำภายในอาคารจึงควรวางระบบท่อให้หลีกเลี่ยงกับระบบอื่นๆ
4. การวางระบบท่อสารทำความเย็นนั้นควรวางผ่านในส่วนพื้นที่ที่สามารถเข้าไปทำการซ่อมบำรุงได้ง่ายจากหลักการดั่งกล่าว ทำให้ได้ภาพของระบบท่อน้ำยาแต่ล่ะดีกดังนี้



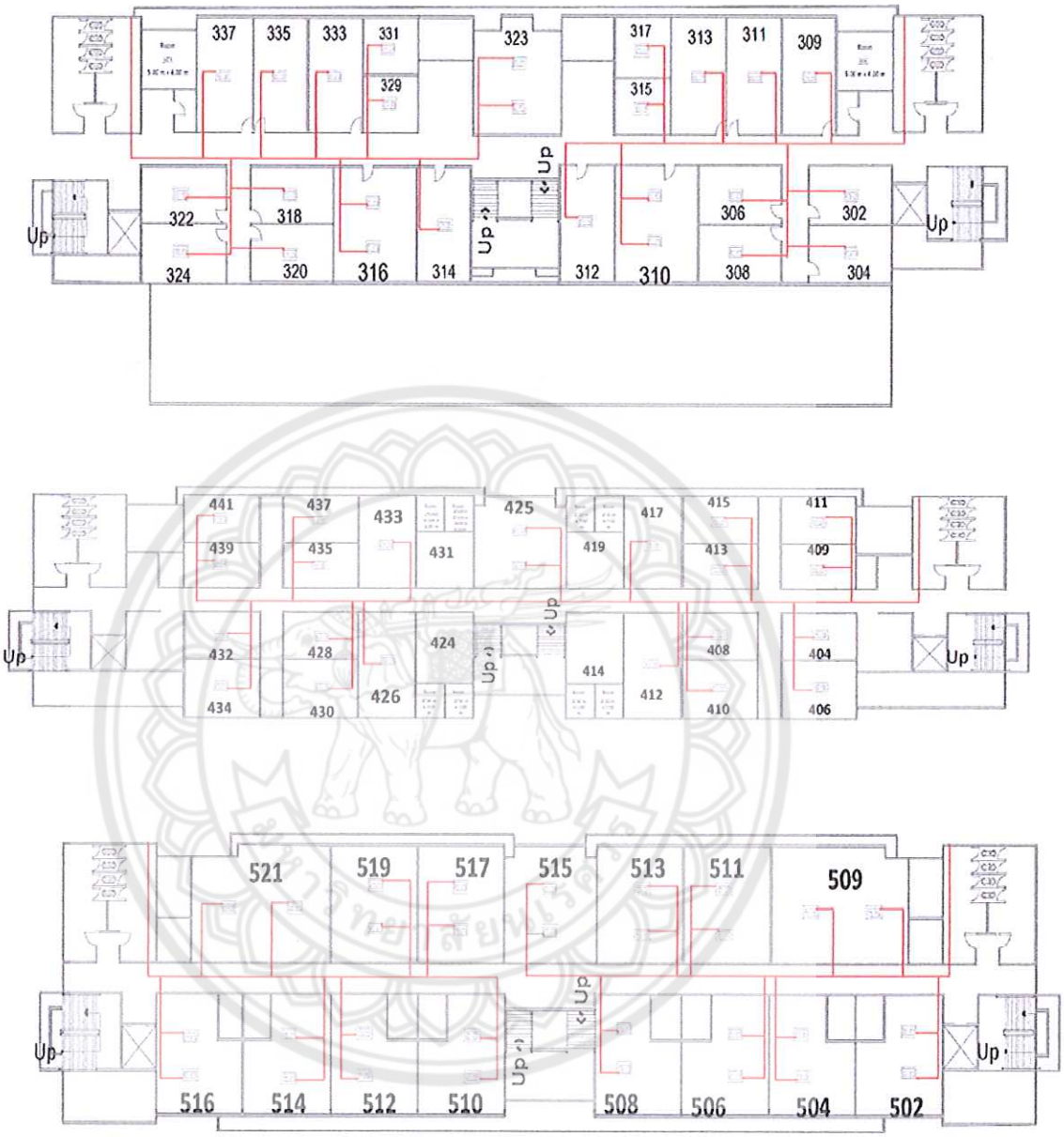

รูปที่ 4.7 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมอุตสาหการชั้น1-2



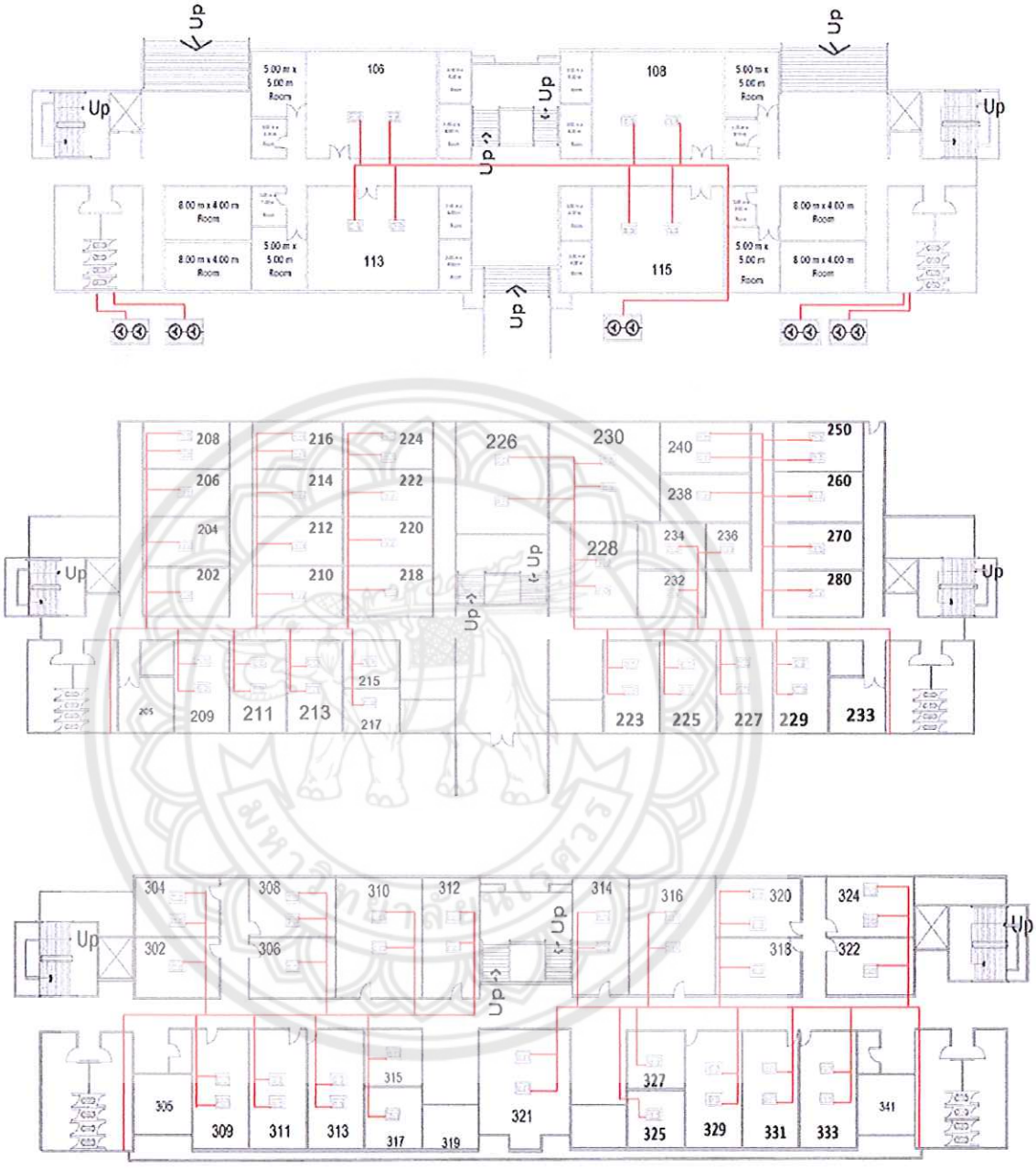

รูปที่ 4.8 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมอุตสาหการชั้น 3-5



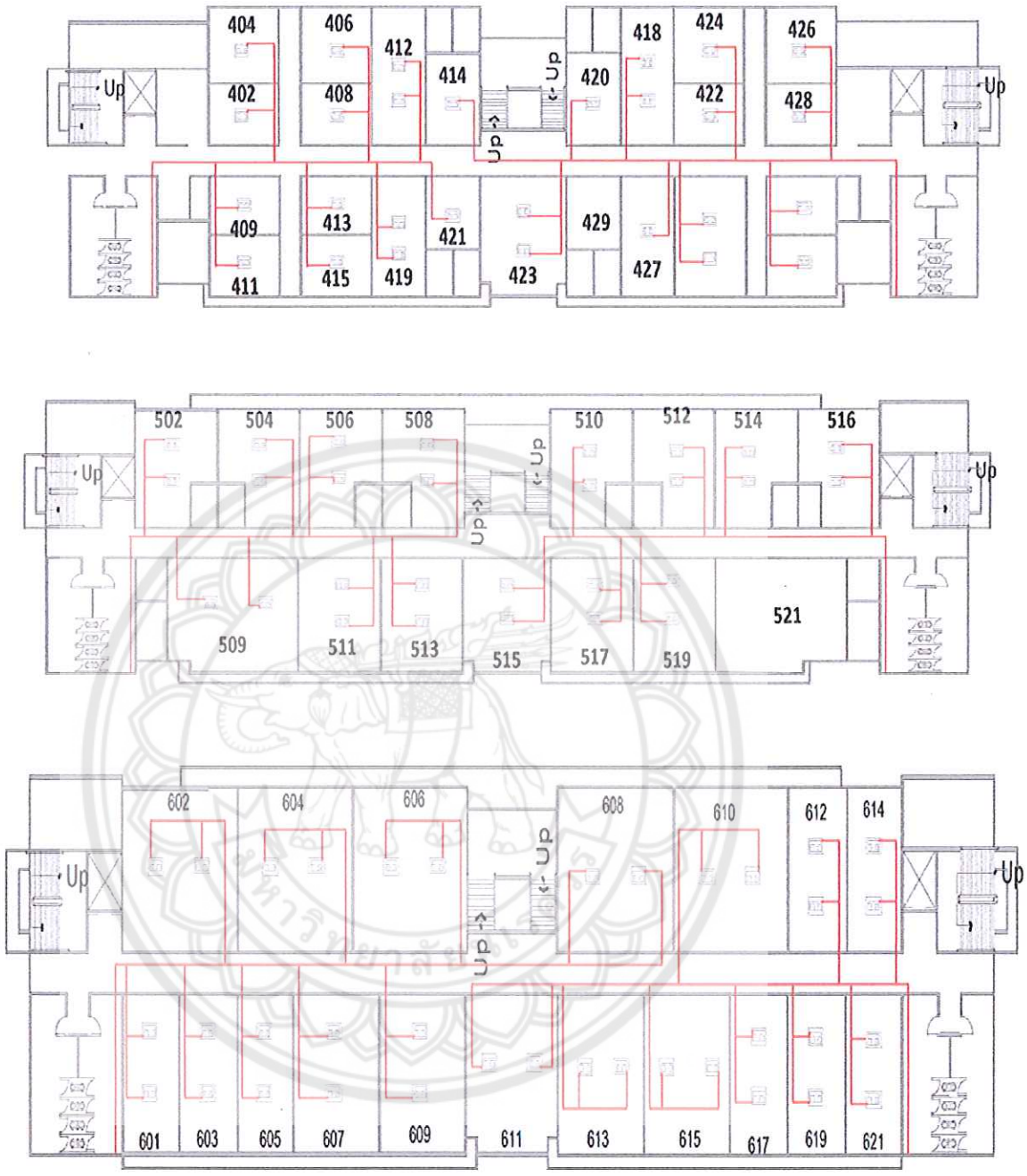

รูปที่ 4.9 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมโยธาชั้น 1-2




รูปที่ 4.10 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมโยธาชั้น 3-5



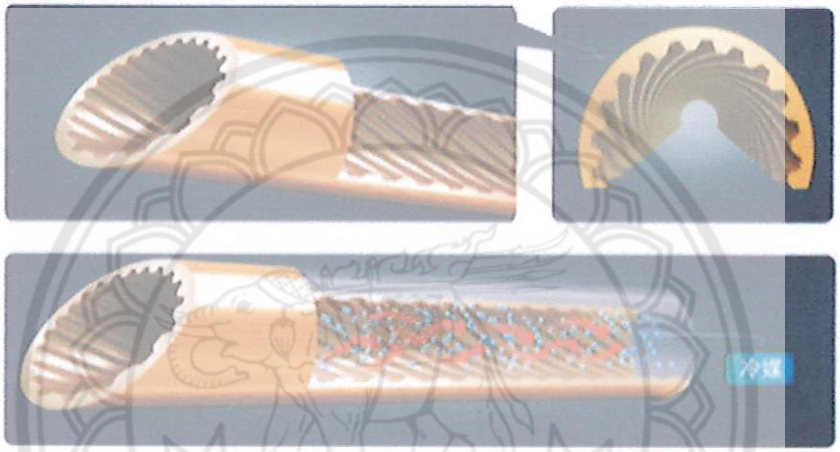

รูปที่ 4.11 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมไฟฟ้าชั้น 1-3




รูปที่ 4.12 การวางท่อสารทำความเย็นตึกวิศวกรรมไฟฟ้าชั้น 3-6

การเลือกขนาดท่อและอุปกรณ์ต่อท่อขนาดของท่อและอุปกรณ์ต่อท่อ มีผลต่อการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ดังนั้นการเลือกขนาดของท่อและอุปกรณ์ต่อท่อต่างๆจะต้องเลือกอย่างเหมาะสม ระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นระบบของบริษัท York by Johnson Controls ทำให้ทั้งท่อและอุปกรณ์ต่อท่อเป็นของบริษัทนี้โดยทำการเลือกจากแคตตาล็อก มีหลักการเลือกขนาดท่อและอุปกรณ์ต่อท่อดังนี้

1. ท่อสารทำความเย็น



รูปที่ 4.13 ท่อทองแดงของ York

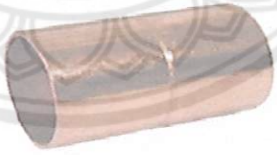
หลักการเลือกขนาดของท่อคือ ต้องดูชนิดและขนาดของ Condenser และนำมาเลือกจากแคตตาล็อก

2. ข้อต่อรูปตัว Y เป็นอุปกรณ์ที่ไว้ใช้เมื่อเดินท่อสารทำความเย็นมาถึงบริเวณที่เป็นทางแยกสองทาง อุปกรณ์ตัวนี้ทำหน้าที่เป็นข้อต่อในการแบ่งสารทำความเย็นปรับอากาศออกเป็นสองทาง

รูปที่ 4.14 ข้อต่อรูปตัว Y

หลักในการเลือกคือ เมื่อเดินท่อสารทำความเย็นมาถึงทางแยกให้ดูว่าเส้นทางการเดินของท่อสารทำความเย็นนั้นไปต่อเข้ากับ Evaporator ตัวไหนบ้าง และให้ค่าความจุของ Evaporator แต่ละตัวมาบวกกัน และนำผลบวกที่ได้ไปเลือกรุ่นในแคตตาล็อก

3. ข้อต่อตรงเป็นอุปกรณ์ที่สำหรับต่อเข้ากับข้อต่อรูปตัว Y



รูปที่ 4.15 ข้อต่อตรง

หลักการเลือกคือ เนื่องจากเป็นท่อที่ใช้ต่อกับข้อต่อรูปตัว Y จึงมีหลักการเลือกแบบเดียวกัน

4. ท่อสำหรับต่อเข้า Evaporator เป็นท่อที่ใช้สำหรับต่อเข้า Evaporator

รูปที่ 4.16 ท่อสำหรับต่อเข้า

หลักการเลือกคือ ต้องตรวจสอบว่า Evaporator แต่ละตัวมีขนาดความ**เจุเท่าไหร่ พอทราบความจุ**แล้วนำมาเลือกขนาดของท่อจากแคตตาล็อก

ตารางที่ 4.1 ท่อและข้อต่อของระบบท่อสารทำความเย็นในอาคารวิศวกรรม

| อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่มห้อง | ท่อทอแดง | | | ข้อต่อรูปตัว Y | | ข้อต่อตรง | | | ท่อต่อเข้า Evaporator | | | ท่อระหว่าง condenser ถึงข้อต่อตัวแรก | ข้อต่อรูปตัว Y ตัวแรก | | ข้องอ |
| | ความยาวรวม (m) | จำนวน | ขนาด (mm) | จำนวน | รุ่น | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | ขนาด(mm) | จำนวน | ชนิด | ขนาด(mm) | รุ่น | จำนวน | จำนวน |
| ECU11 | 127 | 22 | 19.05 | 4 | YBP-Y2LB | 6 | 9.52 | Liquid pipe | 9.52 | 8 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 1 | 12 |
| | | | | 4 | YBP-YG2B | 4 | 15.88 | Gas pipe | 15.88 | 8 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 1 | |
| | | | | 3 | YBP-YL1B | 1 | 19.05 | Gas pipe | | | | | | | |
| | | | | 3 | YBP-YG1B | 1 | 22.23 | Gas pipe | | | | | | | |
| ECU21 | 140 | 24 | 34.90 | 4 | YBP-YL2B | 31 | 9.52 | Liquid pipe | 6.35 | 17 | Liquid pipe | 39.4 | YBP-YL4B | 2 | 17 |
| ECU22 | 140 | 24 | | 4 | YBP-YG2B | 24 | 15.88 | Gas pipe | 9.52 | 1 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | 25 | YBP-YL1B | 4 | 19.05 | Gas pipe | 9.52 | 18 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | 25 | YBP-YG1B | 2 | 22.23 | Gas pipe | 12.70 | 16 | Gas pipe | | | | |
| | | | | 2 | YBP-Y3LB | | | | 15.88 | 18 | Gas pipe | | | | |
| | | | | 2 | YBP-YG3B | | | | | | | | | | |
| ECU31 | 95 | 16 | 19.05(กลุ่ม 1) | 19 | YBP-YL1B | 22 | 9.52 | Liquid pipe | 6.35 | 14 | Liquid pipe | 19.05(กลุ่ม 1) | YBP-YL4B | 2 | 10 |
| ECU32 | 110 | 19 | 34.9(กลุ่ม 2) | 19 | YBP-YG1B | 17 | 15.88 | Gas pipe | 12.7 | 14 | Gas pipe | 34.9(กลุ่ม2) | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | 3 | YBP-YL2B | 4 | 19.05 | Gas pipe | 9.52 | 32 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | 3 | YBP-YG2B | 1 | 22.23 | Gas pipe | 15.88 | 32 | Gas pipe | | | | |

ตารางที่ 4.1ท่อและข้อต่อของระบบท่อสารทำความเย็นในอาคารวิศวกรรม(ต่อ)

| อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ(ต่อ | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่มห้อง | ท่อทอแดง | | | ข้อต่อรูปตัว Y | | ข้อต่อตรง | | | ท่อต่อเข้า Evaporator | | | ท่อระหว่าง condenser ถึงข้อต่อตัวแรก | ข้อต่อรูปตัว Y ตัวแรก | | ข้องอ |
| | ความยาวรวม (m) | จำนวน | ขนาด (mm) | จำนวน | รุ่น | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | ขนาด(mm) | จำนวน | ชนิด | ขนาด(mm) | รุ่น | จำนวน | จำนวน |
| ECU41 | 145 | 25 | 19.05 | 20 | YBP-YL1B | 20 | 9.52 | Liquid pipe | 6.35 | 8 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 1 | 31 |
| | | | | 20 | YBP-YG1B | 20 | 15.88 | Gas pipe | 12.70 | 8 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 1 | |
| | | | | | | | | | 9.52 | 14 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 15.88 | 14 | Gas pipe | | | | |
| ECU51 | 80 | 14 | 19.05 | 21 | YBP-YL1B | 21 | 9.52 | Liquid pipe | 6.35 | 16 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 2 | 20 |
| ECU52 | 70 | 12 | | 21 | YBP-YG1B | 21 | 15.88 | Gas pipe | 12.70 | 16 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | | | | | | 9.52 | 14 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 15.88 | 14 | Gas pipe | | | | |

ตารางที่ 4.1 ท่อและข้อต่อของระบบท่อสารทำความเย็นในอาคารวิศวกรรม(ต่อ)

| อาคารวิศวกรรมโยธา | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่มห้อง | ท่อทอแดง | | | ข้อต่อรูปตัว Y | | ข้อต่อตรง | | | ท่อต่อเข้า Evaporator | | | ท่อระหว่าง condenser ถึงข้อต่อตัวแรก | ข้อต่อรูปตัว Y ตัวแรก | | ข้องอ |
| | ความยาวรวม (m) | จำนวน | ขนาด (mm) | จำนวน | รุ่น | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | ขนาด(mm) | รุ่น | จำนวน | จำนวน |
| CECU11 | 98 | 17 | 19.05 | 4 | YBP-YL1B | 6 | 9.52 | Liquid pipe | 8 | 9.52 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 1 | 12 |
| | | | | 4 | YBP-YG1B | 4 | 15.88 | Gas pipe | 8 | 15.88 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 1 | |
| | | | | 2 | YBP-Y2LB | 2 | 22.23 | Gas pipe | | | | | | | |
| | | | | 2 | YBP-YG2B | | | | | | | | | | |
| CECU21 | 134 | 23 | 19.05 | 30 | YBP-YL1B | 30 | 9.52 | Liquid pipe | 17 | 6.35 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 2 | 20 |
| CECU22 | 140 | 24 | | 30 | YBP-YG1B | 24 | 15.88 | Gas pipe | 1 | 9.52 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | | | 6 | 19.05 | Gas pipe | 18 | 9.52 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 16 | 12.70 | Gas pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 18 | 15.88 | Gas pipe | | | | |
| CECU31 | 103 | 18 | 34.09 | 19 | YBP-YL1B | 21 | 9.52 | Liquid pipe | 6 | 6.35 | Liquid pipe | 34.09 | YBP-YL4B | 2 | 18 |
| CECU32 | 117 | 20 | | 19 | YBP-YG1B | 17 | 15.88 | Gas pipe | 20 | 9.52 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | 2 | YBP-Y2LB | 3 | 19.05 | Gas pipe | 1 | 9.52 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | 2 | YBP-YG2B | 1 | 22.23 | Gas pipe | 5 | 12.70 | Gas pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 20 | 15.88 | Gas pipe | | | | |

ตารางที่ 4.1 ท่อและข้อต่อของระบบท่อสารทำความเย็นในอาคารวิศวกรรม(ต่อ)

| อาคารวิศวกรรมโยธา(ต่อ) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่มห้อง | ท่อทอแดง | | | ข้อต่อรูปตัว Y | | ข้อต่อตรง | | | ท่อต่อเข้า Evaporator | | | ท่อระหว่าง condenser ถึงข้อต่อตัวแรก | ข้อต่อรูปตัว Y ตัวแรก | | ข้องอ |
| | ความยาวรวม (m) | จำนวน | ขนาด (mm) | จำนวน | รุ่น | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | ขนาด(mm) | รุ่น | จำนวน | จำนวน |
| CECU41 | 160 | 27 | 38.10 | 21 | YBP-YL1B | 21 | 9.52 | Liquid pipe | 8 | 6.35 | Liquid pipe | 38.10 | YBP-YL4B | 1 | 15 |
| | | | | 21 | YBP-YG1B | 21 | 15.88 | Gas pipe | 8 | 12.70 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 1 | |
| | | | | | | | | | 14 | 9.52 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 14 | 15.88 | Gas pipe | | | | |
| CECU51 | 92 | 16 | 34.09 | 26 | YBP-YL1B | 26 | 9.52 | Liquid pipe | 30 | 9.52 | Liquid pipe | 34.90 | YBP-YL4B | 2 | 19 |
| | | | | 26 | YBP-YG1B | 18 | 15.88 | Gas pipe | 30 | 15.88 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | | | 8 | 19.05 | Gas pipe | | | | | | | |

ตารางที่ 4.1 ท่อและข้อต่อของระบบท่อสารทำความเย็นในอาคารวิศวกรรม(ต่อ)

| อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่มห้อง | ท่อทอแดง | | | ข้อต่อรูปตัว Y | | ข้อต่อตรง | | | ท่อต่อเข้า Evaporator | | | ท่อระหว่าง condenser ถึงข้อต่อตัวแรก | ข้อต่อรูปตัว Y ตัวแรก | | ข้องอ |
| | ความยาวรวม (m) | จำนวน | ขนาด(mm) | จำนวน | รุ่น | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | จำนวน | ขนาด (mm) | ชนิด | ขนาด(mm) | รุ่น | จำนวน | จำนวน |
| EECU11 | 80 | 14 | 34.90 | 6 | YBP-YL1B | 6 | 9.52 | Liquid pipe | 8 | 9.52 | Liquid pipe | 34.90 | YBP-YL4B | 1 | 12 |
| | | | | 6 | YBP-YG1B | 5 | 15.88 | Gas pipe | 8 | 15.88 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 1 | |
| | | | | | | 1 | 19.05 | Gas pipe | | | | | | | |
| EECU21 | 100 | 17 | 34.90 | 44 | YBP-YL1B | 44 | 9.52 | Liquid pipe | 33 | 6.35 | Liquid pipe | 34.90 | YBP-YL4B | 2 | 20 |
| EECU22 | 114 | 19 | | 44 | YBP-YG1B | 43 | 15.88 | Gas pipe | 2 | 9.52 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | | | 1 | 19.05 | Gas pipe | 15 | 9.52 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 31 | 12.70 | Gas pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 15 | 15.88 | Gas pipe | | | | |
| EECU31 | 103 | 17 | 19.05 | 34 | YBP-YL1B | 35 | 9.52 | Liquid pipe | 14 | 6.35 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 2 | 24 |
| EECU32 | 112 | 19 | | 34 | YBP-YG1B | 25 | 15.88 | Gas pipe | 14 | 12.70 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | 1 | YBP-YL2B | 10 | 19.52 | Gas pipe | 18 | 9.52 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | 1 | YBP-YG2B | | | | 18 | 15.88 | Gas pipe | | | | |

ตารางที่ 4.1 ท่อและข้อต่อของระบบท่อสารทำความเย็นในอาคารวิศวกรรม(ต่อ)

| อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่มห้อง | ท่อทอแดง | | | ข้อต่อรูปตัว Y | | ข้อต่อตรง | | | ท่อต่อเข้า Evaporator | | | ท่อระหว่าง condenser ถึงข้อต่อตัวแรก | ข้อต่อรูปตัว Y ตัวแรก | | ข้องอ |
| | ความยาวรวม(m) | จำนวน | ขนาด(mm) | จำนวน | รุ่น | จำนวน | ขนาด(mm) | ชนิด | จำนวน | ขนาด(mm) | ชนิด | ขนาด(mm) | รุ่น | จำนวน | จำนวน |
| EECU41 | 90 | 16 | 19.05 | 23 | YBP-YL1B | 23 | 9.52 | Liquid pipe | 14 | 6.35 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 2 | 20 |
| EECU42 | 110 | 19 | 34.90 | 23 | YBP-YG1B | 10 | 15.88 | Gas pipe | 1 | 9.52 | Gas pipe | 34.90 | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | | | 13 | 19.52 | Gas pipe | 15 | 9.52 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 13 | 12.70 | Gas pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 15 | 15.88 | Gas pipe | | | | |
| EECU51 | 83 | 14 | 19.05 | 22 | YBP-YL1B | 24 | 9.52 | Liquid pipe | 28 | 9.52 | Liquid pipe | 19.05 | YBP-YL4B | 2 | 20 |
| EECU52 | 93 | 15 | | 22 | YBP-YG1B | 10 | 15.88 | Gas pipe | 28 | 15.88 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | 2 | YBP-YL2B | 12 | 19.05 | Gas pipe | | | | | | | |
| | | | | 2 | YBP-YG2B | 2 | 22.23 | Gas pipe | | | | | | | |
| EECU61 | 132 | 22 | 34.90 | 32 | YBP-YL1B | 32 | YBP-YL1B | YBP-YL1B | 16 | 6.35 | Liquid pipe | 34.90 | YBP-YL4B | 2 | 28 |
| EECU62 | 107 | 17 | | 32 | YBP-YG1B | 22 | YBP-YG1B | YBP-YG1B | 16 | 12.70 | Gas pipe | | YBP-YG4B | 2 | |
| | | | | | | 10 | YBP-YL1B | YBP-YL1B | 20 | 9.52 | Liquid pipe | | | | |
| | | | | | | | | | 20 | 15.88 | Gas pipe | | | | |

## 4.3 ประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

จากที่ได้ออกแบบและเลือกอุปกรณ์ ที่ใช้ในการติดตั้งของระบบปรับอากาศแบบ VRFใน อาคารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งประกอบไปด้วยราคาค่าEvaporator, Condenser, ระบบท่อสาร ทำความเย็นสามารถสรุปและนำมาเปรียบเทียบราคากับระบบอื่นได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบราคาของระบบปรับอากาศแต่ละระบบ

| อาคาร | ภาระการทำความเย็น | ราคารวมของระบบปรับอากาศ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | VRF | | Chiller | | Splrit type | |
| | | บาท | บาท/(BTU/hr) | บาท | บาท/(BTU/hr) | บาท | บาท/(BTU/hr) |
| วิศวกรรมไฟฟ้า | 4,489,090.28 | 18,883,300 | 4.2 | 11,659,532 | 2.6 | 7,512,236 | 1.7 |
| วิศวกรรมอุสาหการ | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |
| วิศวกรรมโยธา | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |

## 4.4 ศึกษางานติดตั้งจริง

โครงการกรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น เป็นโครงการออกแบบระบบปรับอากาศกับอาคารวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีขั้นตอนออกแบบตามที่ใช้จริงในงานปรับอากาศในปัจจุบัน แต่เนื่องจากไม่มีการติดตั้งจริง จึงได้ศึกษางานติดตั้งจริงของอาคารศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ตึก CITCOMS) โดยมีลำดับการติดตั้งดังต่อไปนี้

4.4.1 สำรวจสถานที่ติดตั้ง

- ลักษณะอาคาร เช่น ความสูง ความกว้าง ลักษณะฝ้าเพดาน ช่องทางการขนย้ายอุปกรณ์
- สภาพแวดล้อมโดยรอบเช่น ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้างโดยรอบ
- สำรวจสถานที่ติดตั้ง Condenser โดยคำนึงจาก 3 เหตุผลหลักๆคือ

  1.การระบายอากาศ เลือกจัดวางบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ในกรณีนี้ เลือกวาง Condenser ส่วนใหญ่ไว้บนดาดฟ้าของอาคาร และบางส่วนอยู่ด้านข้างของอาคาร

  2.พื้นที่วาง เลือกพื้นที่ได้ระบบ สามารถวาง Condenser ได้อย่างมั่นคงและคำถึงการรับน้ำหนักของพื้นที่นั้นๆ

  3.ระยะการเดินท่อไปยัง Evaporator ในอาคาร Condenser สามารถส่งสารทำความเย็นได้ในท่อแนวตั้ง 50 เมตร และท่อแนวนอน 200 เมตร อาคาร CITCOMS สูง 25 เมตร สามารวาง ชุด Condenser ส่วนใหญ่ไว้บนดาดฟ้าได้ โดยเป็นไปตามเงื่อนไขกำหนด
- พื้นที่การวางแนวท่อสารทำความเย็นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ
  1. ภายนอกอาคาร การวางแนวท่อภายนอกอาคารนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วมักจะไม่พบปัญหา เพราะส่วนใหญ่พื้นที่ภายนอกอาคารมีมากพอในการวางแนวท่อโดยไม่มีสิ่งที่ทำให้ฉนวนชำรุด ง่ายต่อการติดตั้ง และซ่อมบำรุง
  2. ภายในอาคาร กานวางแนวท่อน้ำยาภายในอาคารมี 2 แบบคือ แบบวางแนวท่อใต้ฝ่าเพดาน ในกรณีนี้ ต้องวางโดยพยามหลีกเลี่ยงพื้นที่ใช้งานอื่นๆภายในฝ้า เพื่อป้องกันการเสียหายที่จะเกิดกับฉนวน และต้องการพื้นที่เผื่อติดตั้งและซ่อมบำรุง แบบวางแนวท่อเปลือย เป็นการแสดงการวางแนวท่อ ไม่มีฝ้าหรือโครงสร้างอื่นมาบังเป็นอีกรูปแบบของการตกแต่งภายใน การวางท่อแบบวางแนวท่อเปลือยง่ายต่อการติดตั้งและซ่อมบำรุง
- พื้นที่การวาง Evaporator วางโดยคำนึงถึงความสามารถในการกระจายลม ละตาม cooling load ที่ได้ออกแบบไว้

- ติดตั้งระบบคอนโทรล ในกรณีนี้ใช้ระบบคอนโทรลจากบริษัท จอห์นสัน คอนโทรลส์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัดที่เป็นตัวแทนจำหน่ายระบบปรับอากาศแบบ VRF
- งานเก็บรายละเอียด หลักจากงานติดตั้ง มีการทำความสะอาดพื้นที่และซ่อมบำรุงอุปกรณ์และพื้นที่ ที่เสียหานจากการติดตั้ง เช่น ทาสีภายใน ซ่อมฝ้าเพดาน
- จัดส่งงานและอบรมการใช้งาน หลังจากการติดตั้งอบรมการใช้งานระบบเบื้องต้นให้กับผู้ใช้งานในอาคาร และการดูแลรักษาระบบเบื้องต้นให้กับเจ้าหน้าที่ดูแลอาคาร แต่เนื่องจากเป็นระบบใหม่ทำให้หากเกิดปัญหาต้องติดต่อตัวแทนจำหน่ายเพื่อนำเข้ามาดูแล

รูปที่ 4.17 งานติดตั้ง Condenser บนดาดฟ้าของอาคาร

รูปภาพงานติดตั้งระบบปรับอากาศเพิ่มเติมแสดงในภาคผนวก ก.

# 5 สรุปผลการทดลอง

กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรดำเนินการโดยการสำรวจการใช้เครื่องปรับอากาศของอาคาร คำนวณภาระการทำความเย็นของอาคาร ออกแบบระบบปรับอากาศแบบVRFกับอาคารโดยเริ่มจากเลือกEvaporatorจากภาระทำความเย็น จากนั้นจัดกลุ่มห้องเพื่อเลือกCondenserเพื่อรองรับการทำงานของ Evaporator วางระบบท่อ ประเมินราคาค่าอุปกรณ์ และสำรวจจากงานติดตั้งจริง จากการดำเนินงานในส่วนแรกพบว่าอาคารที่ทำการสำรวจทั้งหมด 3 อาคาร คือ อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ อาคารวิศวกรรมโยธา และอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า โดยลักษณะทางกายภาพของอาคาร อาคารวิศวกรรมศาสตร์ตัวอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7 ชั้น วางตัวตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก ภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้อง ห้องส่วนใหญ่มีการปรับอากาศ และระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด70 ตันความเย็น มีการทำงานแบบสลับกันทำงาน และมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5กิโลวัตต์ ห้องภายในอาคารแบ่งเป็นห้องเรียน ห้องพักอาจาร และสำนักงาน มีการใช้งานไม่พร้อมกันทุกห้องที่มีการปรับอากาศ เช่น ห้องเรียน และห้องพักอาจารย์ และบางห้องยังมีการใช้งานหลังการปิดระบบปรับอากาศ

ออกแบบระบบปรับอากาศแบบVRFกับอาคาร เริ่มจากเมื่อทราบภาระการทำความเย็นของแต่ละห้องแล้วทำการเลือกขนาดและชนิดของEvaporator โดยขนาดเลือกตามภาระการทำความเย็นของแต่ละห้อง ส่วนชนิดเลือก 4 Way cassetteเนื่องจากห้องที่ทำการปรับอากาศเป็นห้องทรงสี่เหลี่ยม Evaporatorชนิด4 Way cassetteสามารถกระจายลมได้ 4 ทิศทางทั่วทั้งห้อง จำนวนและขนาดของEvaporatorของแต่ละอาคารเป็นไปตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 จำนวนและขนาดของEvaporatorชนิด4 Way cassette ของบริษัท YORK

| York | ขนาด | IE | CE | EE |
|---|---|---|---|---|
| Round-Way cassette | 2.8 kw | 1 | 1 | 2 |
| | 3.6 kw | 6 | 6 | 6 |
| | 4 kw | 8 | 8 | 7 |
| | 4.5 kw | 7 | 7 | 6 |
| | 5 kw | 14 | 14 | 18 |
| | 5.6 kw | 4 | 4 | 0 |
| | 6.3 kw | 16 | 16 | 23 |
| | 7.1 kw | 8 | 8 | 11 |
| | 8 kw | 17 | 17 | 11 |
| | 9 kw | 19 | 19 | 13 |
| | 10 kw | 3 | 3 | 23 |
| | 11.2 kw | 2 | 2 | 1 |
| | 12.5 kw | 5 | 5 | 10 |
| | 14 kw | 6 | 6 | 10 |

จากนั้นทำการจัดกลุ่มห้องจากภาระการทำงานของEvaporator โดยการจัดกลุ่มห้องคำนึงถึงการวางตัวของห้องให้อยู่ใยบริเวณเดียวกันเพื่อสะดวกในการวางระบบท่อ โดยพยายามให้ภาระการทำความเย็นรวมของแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันเพื่อนเลือกCondenserรุ่นเดียวกันเพื่อง่ายต่อการบำรุงรักษาและสำรองอะไหล่ จำนวนและขนาดของCondenserของแต่ละอาคารเป็นไปตามตารางที่ 5.2-5.5

ตาราง 5.2 จำนวนและขนาดของ Condenser ของอาคารวิศวกรรมอุตสาหการ

| กลุ่มห้อง | Model | Capacity | cooling load |
|---|---|---|---|
| IECU11 | AM280FXVAGH | 268,008 | 294,809 |
| IECU21 | AM420FXVAGH | 408,837 | 449,720 |
| IECU22 | AM360FXVAGH | 351,761 | 386,937 |
| IECU31 | AM300FXVAGH | 280,106 | 308,116 |
| IECU32 | AM280FXVAGH | 263,666 | 290,032 |
| IECU41 | AM480FXVAGH | 460,019 | 506,021 |
| IECU51 | AM340FXVAGH | 327,566 | 360,322 |
| IECU52 | AM380FXVAGH | 369,442 | 406,386 |

ตาราง 5.3 จำนวนและขนาดของ Condenser ของอาคารวิศวกรรมโยธา

| กลุ่มห้อง | Model | Capacity | cooling load |
|---|---|---|---|
| CECU11 | AM280FXVAGH | 268,008 | 294,809 |
| CECU21 | AM420FXVAGH | 408,837 | 449,720 |
| CECU22 | AM360FXVAGH | 351,761 | 386,937 |
| CECU31 | AM300FXVAGH | 280,106 | 308,116 |
| CECU32 | AM280FXVAGH | 263,666 | 290,032 |
| CECU41 | AM480FXVAGH | 460,019 | 506,021 |
| CECU51 | AM340FXVAGH | 327,566 | 360,322 |
| CECU52 | AM380FXVAGH | 369,442 | 406,386 |

ตาราง 5.4 จำนวนและขนาดของ Condenser ของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า

| กลุ่มห้อง | Model | Capacity | cooling load |
|---|---|---|---|
| EECU11 | AM280FXVAGH | 268,012 | 294,813 |
| EECU21 | AM380FXVAGH | 357,965 | 393,761 |
| EECU22 | AM440FXVAGH | 416,281 | 457,909 |
| EECU31 | AM300FXVAGH | 277,314 | 305,045 |
| EECU32 | AM320FXVAGH | 309,885 | 340,873 |
| EECU41 | AM260FXVAGH | 253,119 | 278,431 |
| EECU51 | AM340FXVAGH | 316,088 | 347,697 |
| EECU52 | AM340FXVAGH | 329,428 | 362,370 |
| EECU61 | AM320FXVAGH | 308,023 | 338,826 |
| EECU62 | AM380FXVAGH | 362,310 | 398,541 |

ระบบท่อน้ำยานั้นควรเดินท่อน้ำยาให้หลีกเลี่ยงงานระบบบนฝ้าเพดาน เช่น หลอดไฟ สายไฟฟ้า วางระบบในส่วนที่มีการใช้งานในพื้นน้อยที่สุด เพื่อง่ายต่อการซ่อมบำรุง โดยอุปกรณ์ระบุไว้ในตารางที่4.1

ประเมินราคาค่าอุปกรณ์ของระบบVRF แสดงได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงราคาค่าอุปกรณ์ของระบบVRF

| อาคาร | ภาระการทำความเย็น (BTU/hr) | ราคารวมค่าอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | VRF | | Chiller | | Split tytpe | |
| | | Bath | Bath/(BTU/hr) | Bath | Bath/(BTU/hr) | Bath | Bath/(BTU/hr) |
| วิศวกรรมไฟฟ้า | 4,489,090.28 | 18,883,300 | 4.2 | 11,659,532 | 2.6 | 7,512,236 | 1.7 |
| วิศวกรรมอุตสาหการ | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |
| วิศวกรรมโยธา | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |

จากการสำรวจงานติดตั้งของอาคารศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ตึกCITCOMS) ที่ทำการเปลี่ยนจากระบบทำน้ำเย็นเป็นระบบVRFทำให้เห็นถึงหลักการออกแบบและติดตั้งระบบ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างติดตั้ง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงงาน และการใช้งานระบบปรับอากาศชนิดนี้ในอาคารพบว่า เป็นระบบที่ง่ายต่อการควบคุมเนื่องจากมีระบบคอนโทลที่ทันสมัย สามารถตั้งค่าการทำงานได้หลากหลาย ทั้งการตั้งช่วงอุณหภูมิของแต่ระห้อง เวลาการเปิดปิด ง่ายต่อการทำงานของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลอาคาร เสียงรบกวนจากอุปกรณ์ต่ำ

# เอกสารอ้างอิง


1. ผศ.ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. (2554).**การทำความเย็นและการปรับอากาศ.**(1).กรุงเทพฯ: ส.ส.ท.
2. สมศักดิ์ สุโมตยกุล. (2543).**เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ.**(1).กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น,บมจ.
3. ดร.ไพบูลย์ หังสพฤกษ์,ดร.เฮอิโซ ไซโต. (2533). **การปรับอากาศ.** (2). กรุงเทพมหานครฯ: สำนักพิมพ์ดวงกมล.
4. จักรพันธุ์ ภวังค์คะรัตน์ (ผู้บรรยาย). (13 กันยายน 2551). วิธีเลือกใช้อุปกรณ์หลักระบบปรับอากาศ.ใน **การอบรมวิชาชีพวิศวกรจบใหม่ – อายุงาน 5 ปี.**
5. วิโรจน์ จินดารัตน์,อโนทัย สุขแสงพนมรุ้ง, พิชัย อัษฎมงคล. (2548).การคำนวณช่วยในการตัดสินใจ เลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานใน.
6. ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒกุล. (2549). การใช้ปริมาณพลังงานเฉลี่ยรวมจากการทำความเย็นที่แปรเปลี่ยนสำหรับการพิจารณาเลือกใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมในระบบปรับอากาศ.
7. SonaliShhane, Prof. RuchiPandey. (2013).An Energy Saving System by Replacing Window & Split Air-Conditioning By Centralized Air-Conditioning.**International Journal Emerging Technology and Advanced Engineering. 3(9),608-614.**
8. H. Yang, Ph.D., J. Burnett, Ph.D., K. Lau and L. Lu. (2001).Comparing Central and SplitAir-Conditioning Systems. **ASHRAE Journal**. 36-38.
9. Waste Reduction Partners. (2010).Chiller Energy Saving Fact Sheet.**ENERGY.**
10. http://www.vrvclub.com.
11. http://www.thaicontractors.com/content/cmenu/6/92/474.html.
12. http://www.brighthubengineering.com/.
13. Hani HussainSait. 2013. Auditing and analysis of energy consumption of an educational building in hot and humid area.**Energy Conversion and Management.** 143-152.

# ภาคผนวก ก

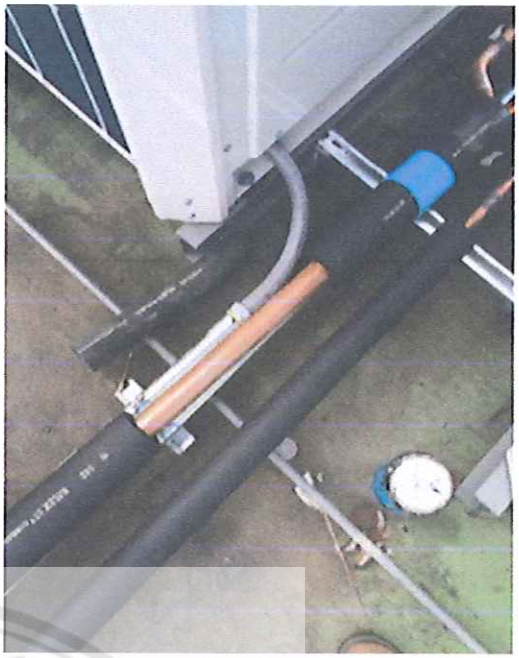
# รูปการติดตั้งจริง

ภาพแสดงงานติดตั้งจริง

รูป ก 1 ชุด Condenser บนพื้นข้างตัวอาคาร

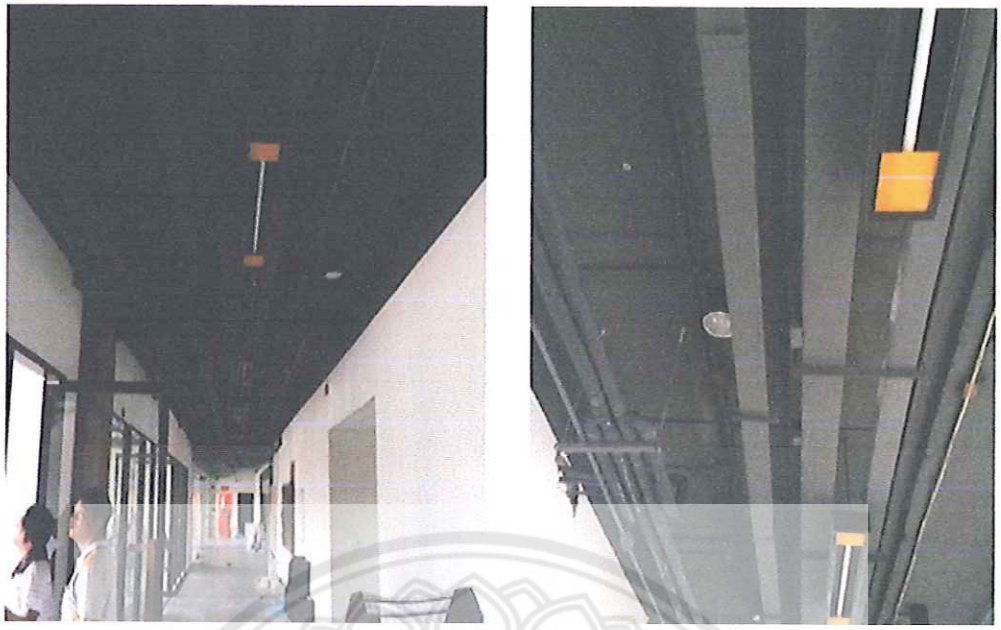
รูป ก2 ชุด Condenser บนดาดฟ้าอาคาร

รูป ก 3 Compressor และ Control ของ Condenser



รูปก 4 ท่อสารทำความเย็น

รูป ก 5 ฉนวนใช้หุ้มท่อสารทำความเย็น



รูป ก 6 การเดินท่อสารทำความเย็นภายใน

รูป ก 7 สารทำความเย็นที่ใช้ในระบบ(R410A)

รูป ก 8 การติดตั้ง Evaporator

รูป ก 9การใช้งานจริง

# ภาคผนวก ข

## ตารางการเลือกอุปกรณ์

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU11 | CE 106 | 80813.71 | 23.68 | 341178.12 | 272942.49 | 11.20 | 64,000 |
| | | | | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 108 | 80813.71 | 23.68 | | | 11.20 | 64,000 |
| | | | | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 113 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |
| | CE 115 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU21 | CE 202 | 16446.88 | 4.82 | 429342.53 | 343474.03 | 5.00 | 48,700 |
| | CE 204 | 16447.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 206 | 16448.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 208 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 209 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 210 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 211 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 212 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 213 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 214 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 215 | 11312.51 | 3.32 | | | 3.60 | 44,400 |
| | CE 216 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 217 | 31080.01 | 9.11 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 218 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 220 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 222 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 224 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU22 | CE 226 | 57980.77 | 16.99 | 486047.13 | 388837.70 | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | CE 227 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.00 | 64,800 |
| | CE 228 | 22915.08 | 6.72 | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 229 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 230 | 65534.40 | 19.21 | | | 10.00 | 60,000 |
| | | | | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 231 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 232 | 13023.97 | 3.82 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 233 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 234 | 13023.97 | 3.82 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 236 | 9601.06 | 2.81 | | | 2.80 | 43,200 |
| | CE 238 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 240 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |
| | CE 242 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 244 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 246 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 248 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU31 | CE 302 | 15591.50 | 4.57 | 334742.81 | 267794.24 | 4.50 | 44,800 |
| | CE 304 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 306 | 15591.50 | 4.57 | | | 5.00 | 60,000 |
| | CE 308 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 309 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 310 | 50075.62 | 14.68 | | | 7.10 | 53,800 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | CE 311 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 312 | 34522.44 | 10.12 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 313 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 315 | 11312.51 | 3.32 | | | 3.60 | 44,400 |
| | CE 317 | 31080.01 | 9.11 | | | 10.00 | 60,000 |

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU32 | CE 314 | 34522.44 | 10.12 | 388430.87 | 310744.69 | 11.20 | 64,000 |
| | CE 316 | 50075.62 | 14.68 | | | 7.10 | 53,800 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | CE 318 | 15591.50 | 4.57 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 320 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 322 | 15591.50 | 4.57 | | | 5.00 | 48,700 |
| | CE 323 | 53687.06 | 15.73 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | CE 324 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 329 | 11312.51 | 3.32 | | | 3.60 | 44,400 |
| | CE 331 | 31080.01 | 9.11 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 333 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 335 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 337 | 33621.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload GroupxC.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU41 | CE 404 | 13879.70 | 4.07 | 576548.36 | 461238.59 | 4.00 | 44,500 |
| | CE 406 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 408 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 409 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 410 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 411 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 412 | 36614.56 | 10.73 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 413 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 415 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 417 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 425 | 53687.06 | 15.73 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | CE 426 | 36614.56 | 10.73 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 428 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 430 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 432 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 433 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 434 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | CE 435 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 437 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |
| | CE 439 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | CE 441 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolinglcad Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU51 | CE 502 | 45075.00 | 13.21 | 439233.98 | 351387.18 | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 504 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 506 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 508 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 509 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |
| | CE 511 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | CE 513 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | CE 515 | 53687.06 | 15.73 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |

ตารางที่ ข.1 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมโยธา(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| CECU52 | CE 510 | 45075.00 | 13.21 | 385546.92 | 308437.53 | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 512 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 514 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 516 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | CE 517 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | CE 519 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | CE 521 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |
| Total | | 3381070.70 | 990.89 | 3381070.70 | 2704856.56 | 1022.90 | 6,812,500 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU11 | IE 106 | 80813.71 | 23.68 | 341178.12 | 272942.49 | 11.20 | 64,000 |
| | | | | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 108 | 80813.71 | 23.68 | | | 11.20 | 64,000 |
| | | | | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 113 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |
| | IE 115 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU21 | IE 202 | 16446.88 | 4.82 | 429342.53 | 343474.03 | 5.00 | 48,700 |
| | IE 204 | 16447.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 206 | 16448.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 208 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 209 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 210 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 211 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 212 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 213 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 214 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 215 | 11312.51 | 3.32 | | | 3.60 | 44,400 |
| | IE 216 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 217 | 31080.01 | 9.11 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 218 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 220 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 222 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 224 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU22 | IE 226 | 57980.77 | 16.99 | 486047.13 | 388837.70 | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | IE 227 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.00 | 64,800 |
| | IE 228 | 22915.08 | 6.72 | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 229 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 230 | 65534.40 | 19.21 | | | 10.00 | 60,000 |
| | | | | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 231 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 232 | 13023.97 | 3.82 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 233 | 39448.48 | 11.56 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 234 | 13023.97 | 3.82 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 236 | 9601.06 | 2.81 | | | 2.80 | 43,200 |
| | IE 238 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 240 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |
| | IE 242 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 244 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 246 | 16446.88 | 4.82 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 248 | 40193.22 | 11.78 | | | 12.50 | 64,800 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU31 | IE 302 | 15591.50 | 4.57 | 334742.81 | 267794.24 | 4.50 | 44,800 |
| | IE 304 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 306 | 15591.50 | 4.57 | | | 5.00 | 60,000 |
| | IE 308 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 309 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 310 | 50075.62 | 14.68 | | | 7.10 | 53,800 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | IE 311 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 312 | 34522.44 | 10.12 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 313 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 315 | 11312.51 | 3.32 | | | 3.60 | 44,400 |
| | IE 317 | 31080.01 | 9.11 | | | 10.00 | 60,000 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU32 | IE 314 | 34522.44 | 10.12 | 388430.87 | 310744.69 | 11.20 | 64,000 |
| | IE 316 | 50075.62 | 14.68 | | | 7.10 | 53,800 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | IE 318 | 15591.50 | 4.57 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 320 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 322 | 15591.50 | 4.57 | | | 5.00 | 48,700 |
| | IE 323 | 53687.06 | 15.73 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | IE 324 | 37853.34 | 11.09 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 329 | 11312.51 | 3.32 | | | 3.60 | 44,400 |
| | IE 331 | 31080.01 | 9.11 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 333 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 335 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 337 | 33621.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU41 | IE 404 | 13879.70 | 4.07 | 576548.36 | 461238.69 | 4.00 | 44,500 |
| | IE 406 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 408 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 409 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 410 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 411 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 412 | 36614.56 | 10.73 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 413 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 415 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 417 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 425 | 53687.06 | 15.73 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |
| | IE 426 | 36614.56 | 10.73 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 428 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 430 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 432 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 433 | 33620.84 | 9.85 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 434 | 35836.70 | 10.50 | | | 11.20 | 64,000 |
| | IE 435 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 437 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |
| | IE 439 | 13879.70 | 4.07 | | | 4.00 | 44,500 |
| | IE 441 | 32001.52 | 9.38 | | | 10.00 | 60,000 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU51 | IE 502 | 45075.00 | 13.21 | 439233.98 | 351387.18 | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 504 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 506 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 508 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 509 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |
| | IE 511 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | IE 513 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | IE 515 | 53687.06 | 15.73 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 8.00 | 54,900 |

ตารางที่ ข.2 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมเครื่องกล(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Roorn [kW] | Coolingload Group | Coolingload Groupx0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kw] | Cost |
| IECU52 | IE 510 | 45075.00 | 13.21 | 385546.92 | 308437.53 | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 512 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 514 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 516 | 45075.00 | 13.21 | | | 6.30 | 53,200 |
| | | | | | | 7.10 | 53,800 |
| | IE 517 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | IE 519 | 57735.79 | 16.92 | | | 8.00 | 54,900 |
| | | | | | | 9.00 | 55,900 |
| | IE 521 | 89775.35 | 26.31 | | | 12.50 | 64,800 |
| | | | | | | 14.00 | 65,700 |
| Total | | 3381070.70 | 990.89 | 3381070.70 | 2704856.56 | 1022.90 | 6,812,500 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU11 | EE 106 | 80,813.71 | 23.68 | 341,178.12 | 272,942.49 | 12.5 | 64,800 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 108 | 80,813.71 | 23.68 | | | 12.5 | 64,800 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 113 | 89,775.35 | 26.31 | | | 12.5 | 64,800 |
| | | | | | | 14 | 65,700 |
| | EE 115 | 89,775.35 | 26.31 | | | 12.5 | 64,800 |
| | | | | | | 14 | 65,700 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU21 | EE 202 | 16,446.88 | 4.82 | 390,682.83 | 312,546.30 | 5 | 48,700 |
| | EE 204 | 16,447.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 206 | 16,448.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 208 | 48,074.80 | 14.09 | | | 7.1 | 53,800 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 209 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 210 | 16,446.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 211 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 212 | 16,446.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 213 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 215 | 11,312.51 | 3.32 | | | 3.6 | 44,400 |
| | EE 216 | 48,074.80 | 14.09 | | | 7.1 | 53,800 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 218 | 16,446.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 220 | 16,446.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 222 | 16,446.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 224 | 48,074.80 | 14.09 | | | 7.1 | 53,800 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU22 | EE 214 | 16,446.88 | 4.82 | 545,809.29 | 436,647.43 | 5 | 48,700 |
| | EE 217 | 21,517.88 | 6.31 | | | 6.3 | 53,200 |
| | EE 223 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 225 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 226 | 69,862.38 | 20.47 | | | 10 | 60,000 |
| | | | | | | 10 | 60,000 |
| | EE 227 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 228 | 22,915.08 | 6.72 | | | 2.8 | 43,200 |
| | | | | | | 3.6 | 44,400 |
| | EE 229 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 230 | 79,386.39 | 23.27 | | | 11.2 | 64,000 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 232 | 13,023.97 | 3.82 | | | 4 | 44,500 |
| | EE 234 | 13,023.97 | 3.82 | | | 4 | 44,500 |
| | EE 236 | 9,601.06 | 2.81 | | | 2.8 | 43,200 |
| | EE 238 | 16,446.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 240 | 48,074.80 | 14.09 | | | 7.1 | 53,800 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 250 | 48,075.80 | 14.09 | | | 7.1 | 53,800 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 260 | 16,446.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 270 | 16,447.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |
| | EE 280 | 16,448.88 | 4.82 | | | 5 | 48,700 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU31 | EE 302 | 15,591.50 | 4.57 | 400,144.18 | 320,115.35 | 4.5 | 44,800 |
| | EE 304 | 45,242.03 | 13.26 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 306 | 15,591.50 | 4.57 | | | 4.5 | 44,800 |
| | EE 308 | 45,242.03 | 13.26 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 309 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 310 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 311 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 312 | 39,448.80 | 11.56 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 6.3 | 53,200 |
| | EE 313 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 314 | 39,448.80 | 11.56 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 6.3 | 53,200 |
| | EE 315 | 11,312.51 | 3.32 | | | 3.6 | 44,400 |
| | EE 317 | 21,517.88 | 6.31 | | | 6.3 | 53,200 |
| | EE 316 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU32 | EE 318 | 15,591.50 | 4.57 | 376,961.73 | 301,569.39 | 4.5 | 44,800 |
| | EE 320 | 45,242.03 | 13.26 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 321 | 55,712.15 | 16.33 | | | 8 | 54,900 |
| | | | | | | 8 | 54,900 |
| | EE 322 | 15,591.50 | 4.57 | | | 4.5 | 44,800 |
| | EE 324 | 45,242.03 | 13.26 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 325 | 21,517.88 | 6.31 | | | 6.3 | 53,200 |
| | EE 327 | 11,312.51 | 3.32 | | | 3.6 | 44,400 |
| | EE 329 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 331 | 34,523.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 333 | 34,524.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU41 | EE 402 | 13,879.70 | 4.07 | 292,921.33 | 234,337.06 | 4 | 44,500 |
| | EE 404 | 42,240.87 | 12.38 | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 406 | 42,241.87 | 12.38 | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 408 | 13,879.70 | 4.07 | | | 4 | 44,500 |
| | EE 409 | 13,879.70 | 4.07 | | | 4 | 44,500 |
| | EE 411 | 29,860.15 | 8.75 | | | 9 | 55,900 |
| | EE 412 | 45,540.52 | 13.35 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 413 | 13,879.70 | 4.07 | | | 4 | 44,500 |
| | EE 415 | 29,860.15 | 8.75 | | | 9 | 55,900 |
| | EE 419 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 421 | 13,136.33 | 3.85 | | | 4 | 44,500 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU42 | EE 414 | 15,591.50 | 4.57 | 391,177.06 | 312,941.65 | 4.5 | 44,800 |
| | EE 418 | 45,540.52 | 13.35 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 420 | 15,591.50 | 4.57 | | | 4.5 | 44,800 |
| | EE 422 | 13,879.70 | 4.07 | | | 4 | 44,500 |
| | EE 423 | 55,712.15 | 16.33 | | | 8 | 54,900 |
| | | | | | | 8 | 54,900 |
| | EE 424 | 42,241.87 | 12.38 | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 426 | 42,241.87 | 12.38 | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 427 | 34,522.64 | 10.12 | | | 10 | 60,000 |
| | EE 428 | 13,879.70 | 4.07 | | | 4 | 44,500 |
| | EE UN01 | 75,538.47 | 22.14 | | | 11.2 | 64,000 |
| | | | | | | 11.2 | 64,000 |
| | EE UN02 | 11,312.51 | 3.32 | | | 3.6 | 44,400 |
| | EE UN03 | 15,523.57 | 4.55 | | | 4.5 | 44,800 |
| | EE UN04 | 9,601.06 | 2.81 | | | 2.8 | 43,200 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU51 | EE 502 | 63,181.21 | 18.52 | 432,650.13 | 346,120.15 | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 504 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 506 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 508 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 509 | 89,775.35 | 26.31 | | | 12.5 | 64,800 |
| | | | | | | 14 | 65,700 |
| | EE 511 | 45,075.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 513 | 45,075.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU52 | EE 510 | 63,181.21 | 18.52 | 398,587.98 | 318,870.38 | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 512 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 514 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 515 | 55,712.15 | 16.33 | | | 8 | 54,900 |
| | | | | | | 8 | 54,900 |
| | EE 516 | 63,181.21 | 18.52 | | | 9 | 55,900 |
| | | | | | | 9 | 55,900 |
| | EE 517 | 45,075.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 519 | 45,076.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU61 | EE 601 | 34,522.64 | 10.12 | 431,877.08 | 345,501.66 | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 602 | 79,386.39 | 23.27 | | | 11.2 | 64,000 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 603 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 604 | 79,386.39 | 23.27 | | | 11.2 | 64,000 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 605 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 606 | 79,386.39 | 23.27 | | | 11.2 | 64,000 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 607 | 45,075.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 609 | 45,075.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 608 | 79,386.39 | 23.27 | | | 11.2 | 64,000 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |

ตารางที่ ข.3 แสดงการเลือกEvaporatorและราคา อาคารคณะวิศวกรรมไฟฟ้า(ต่อ)

| Group Code | Room Number | Coolingload Room [Btu/hr] | Coolingload Room [kW] | Coolingload Group [Btu/hr] | Coolingload Group x0.8 | Evaporator | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Capacity [kW] | Cost |
| EECU62 | EE 610 | 79,386.39 | 23.27 | 487,100.44 | 339,680.35 | 11.2 | 64,000 |
| | | | | | | 12.5 | 64,800 |
| | EE 611 | 55,712.15 | 16.33 | | | 8 | 54,900 |
| | | | | | | 8 | 54,900 |
| | EE 612 | 39,448.80 | 11.56 | | | 5.6 | 52,700 |
| | | | | | | 5.6 | 52,700 |
| | EE 613 | 45,075.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 614 | 39,448.80 | 11.56 | | | 5.6 | 52,700 |
| | | | | | | 5.6 | 52,700 |
| | EE 615 | 45,075.00 | 13.21 | | | 6.3 | 53,200 |
| | | | | | | 7.1 | 53,800 |
| | EE 617 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 619 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| | EE 621 | 34,522.64 | 10.12 | | | 5 | 48,700 |
| | | | | | | 5 | 48,700 |
| Total | | 4,489,090.28 | 1,315.62 | 4,489,090.28 | 3,591,272.22 | 1317.5 | 9,916,700 |

ตารางที่ ข.4 แสดงการเลือก Condenser และราคา

| Group Code | Evaporator coolingload Capacity Group [kW] | Evaporator coolingload Capacity Group x0.8 [kW] | Condenser | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Model | Capacity [kW] | Number | Cost |
| CECU11 | 294,809 | 235847.2 | AM280FXVAGH | 268,008 | 1 | 732000 |
| CECU21 | 449,720 | 359776 | AM420FXVAGH | 408,837 | 1 | 939000 |
| CECU22 | 386,937 | 309549.6 | AM360FXVAGH | 351,761 | 1 | 1022600 |
| CECU31 | 308,116 | 246492.8 | AM300FXVAGH | 280,106 | 1 | 732000 |
| CECU32 | 290,032 | 232025.6 | AM280FXVAGH | 263,666 | 1 | 776200 |
| CECU41 | 506,021 | 404816.8 | AM480FXVAGH | 460,019 | 1 | 1150500 |
| CECU51 | 360,322 | 288257.6 | AM340FXVAGH | 327,566 | 1 | 939000 |
| CECU52 | 406,386 | 325108.8 | AM380FXVAGH | 369,442 | 1 | 776200 |
| IECU11 | 294,809 | 235847.2 | AM280FXVAGH | 268,008 | 1 | 732000 |
| IECU21 | 449,720 | 359776 | AM420FXVAGH | 408,837 | 1 | 939000 |
| IECU22 | 386,937 | 309549.6 | AM360FXVAGH | 351,761 | 1 | 1022600 |
| IECU31 | 308,116 | 246492.8 | AM300FXVAGH | 280,106 | 1 | 732000 |
| IECU32 | 290,032 | 232025.6 | AM280FXVAGH | 263,666 | 1 | 776200 |
| IECU41 | 506,021 | 404816.8 | AM480FXVAGH | 460,019 | 1 | 1150500 |
| IECU51 | 360,322 | 288257.6 | AM340FXVAGH | 327,566 | 1 | 939000 |
| IECU52 | 406,386 | 325108.8 | AM380FXVAGH | 369,442 | 1 | 776200 |
| EECU11 | 294,813 | 235850.4 | AM280FXVAGH | 268,012 | 1 | 732000 |
| EECU21 | 393,761 | 315008.8 | AM380FXVAGH | 357,965 | 1 | 776200 |
| EECU22 | 457,909 | 366327.2 | AM440FXVAGH | 416,281 | 1 | 1106300 |
| EECU31 | 305,045 | 244036 | AM300FXVAGH | 277,314 | 1 | 939000 |
| EECU32 | 340,873 | 272698.4 | AM320FXVAGH | 309,885 | 1 | 648400 |
| EECU41 | 278,431 | 222744.8 | AM260FXVAGH | 253,119 | 1 | 648400 |
| EECU51 | 347,697 | 278157.6 | AM340FXVAGH | 316,088 | 1 | 748500 |
| EECU52 | 362,370 | 289896 | AM340FXVAGH | 329,428 | 1 | 803900 |
| EECU61 | 338,826 | 271060.8 | AM320FXVAGH | 308,023 | 1 | 748500 |
| EECU62 | 398,541 | 318832.8 | AM380FXVAGH | 362,310 | 1 | 1039200 |

# ภาคผนวก ค
# โครงงานแบบย่อ

# กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

# Case Study Variable Refrigerant Flow (VRF) in Engineering Buildings at Naresuan University

นายจิตรดิลก ขูเพชรนายสรวิศมาพิจารณ์และนายศิวัช หริ่มสืบ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Pitsanulok

## บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นการนำความรู้ที่ศึกษาในรายวิชาปรับอากาศมาประยุกต์ใช้ในงานจริง โดยสำรวจอาคารและทำการออกแบบระบบ VRF โดยเริ่มจากเลือก Evaporator ตามภาระการทำความเย็นของแต่ละห้อง จากนั้นทำการจัดกลุ่มห้องจาก ภาระการทำความเย็นของ Evaporator เพื่อเลือก Condenser และออกแบบระบบท่อ และคำนวณราคาค่าอุปกรณ์ โดยมีการสำรวจงานติดตั้งจริงจากอาคาร CITCOM พบว่า อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ Condenser สูงสุด 11 ตัว และราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF สูงสุดอยู่ที่ 18.9 ล้านบาท คิดเป็น 4.2 บาท/Btu/hr

## บทนำ

ระบบปรับอากาศมีความสำคัญและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันระบบปรับอากาศมีหลายแบบแต่ละแบบก็จะมีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละอย่าง ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกระบบปรับอากาศได้แก่ ขนาดพื้นที่ติดตั้ง ลักษณะการใช้งาน งบประมาณฯลฯโครงการนี้จึงศึกษาความเหมาะสมในการเลือกระบบปรับอากาศของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ระบบปรับอากาศที่ทำการศึกษาคือระบบVRF (Variable Refrigerant Flow)เพื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller System) ซึ่งเป็นระบบเดิมที่คณะใช้อยู่ ซึ่งระบบเดิมมีข้อจำกัดคือไม่สามารถปรับอุณหภูมิได้และความต้องการใช้งานของแต่ละห้องไม่เท่ากันจึงทำให้ระบบเดิมสิ้นเปลืองพลังงาน

# วิธีการดำเนินงานวิจัย

## ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาทฤษฎีระบบปรับอากาศและงานวิจัยซึ่งในที่นี้เราได้ศึกษาจากงานวิจัยของ Hani Hussain[13]ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับค่าไฟฟ้าเป็นรายจ่ายส่วนใหญ่ของแต่ละอาคาร และระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานสูงสุด

**สำรวจผังอาคารวิศวกรรมศาสตร์และข้อมูลการติดตั้งระบบปรับอากาศ**

เป็นการเดินสำรวจโดยจะแบ่งการสำรวจเป็นสามลักษณะคือสำรวจลักษณะของห้องแต่องค์ประกอบโดยรวมของตึก สำรวจระบบปรับอากาศ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ระบบปรับอากาศเป็นแบบน้ำทั้งหมด ซึ่งเป็นระบบจ่ายน้ำเย็นจากเครื่องส่วนกลางไปยังห้องปรับอากาศโดยใช้ Evaporator เป็นอุปกรณ์ปลายทางที่จะทำให้อากาศในห้องเย็น สำรวจจำนวนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการติดตั้งอยู่เดิมจากการสำรวจพบว่าตึกของภาควิชาไฟฟ้ามี 49 ตัว ภาควิชาโยธา 43 ตัว และภาควิชาอุตสาสหการ 43 ตัวและยังได้ สำรวจถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการปรับอากาศของคณะฯ หลังจากนั้นได้ทำการวาดผังอาคารทั้งสามอาคารโดยวาดจากโปรแกรม Microsoft Visio เพื่อจะทราบขนาดของห้องและคำนวณหาภาระการทำความเย็นต่อไป

**ประมาณค่าภาระการทำความเย็นของอาคาร**

การหาค่าภาระการทำความเย็นของระบบโดยมีวิธีการหาค่าภาระการทำความเย็นทั้งสิ้น 3 วิธี คือ CLTD แบบต่อตารางเมตร และสูตรการคำนวณสำเร็จรูปซึ่งกลุ่มของเราได้เลือกใช้วิธีการคำนวณแบบ CLTD

**สำรวจการใช้งานระบบปรับอากาศของอาคาร**

เป็นการเดินสำรวจห้องภายในอาคาร เพื่อต้องการทราบว่าห้องแต่ละห้องได้มีการเปิดใช้งานในช่วงเวลาใดบ้าง และลักษณะการใช้งานว่าเป็นอย่างไร

**ศึกษาข้อมูลรายละเอียดทั้งทางด้านเทคนิคและราคาของระบบ VRF**

ได้มีการเข้าฟังอบรมกับทางบริษัท จอห์นสัน คอนโทรลและบริษัท Samsung เพื่อเป็นการศึกษาข้อมูลทางด้านเทคนิค เช่น การจัดกลุ่มเพื่อเลือกขนาดของ Condenser และ Evaporator การเลือกขนาดท่อสารทำความเย็น ส่วนด้านราคาของอุปกรณ์ทั้งหมดได้ติดต่อของข้อมูลจากฝ่ายขายของแต่ละบริษัท

**ประเมินราคาค่าอุปกรณ์ของ VRF**

เริ่มจากการนำค่าภาระการทำความเย็นที่ได้มาเลือกขนาดและจำนวนของ Evaporator และ Condenser แล้วนำไปคำนวณราคาของ Evaporator และ Condenser ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง และค่าซ่อมบำรุง จากข้อมูลที่ได้จากฝ่ายขายของ บริษัท จอห์นสัน คอนโทรลและบริษัท Samsung

**เปรียบเทียบราคาค่าอุปกรณ์ของ VRF กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และแบบแยกส่วน**

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์แล้วจึงนำข้อมูลต่างๆมาเปรียบเทียบราคาค่าอุปกรณ์ของทั้งสามระบบ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่เหมาะสมกับความต้องการการปรับอากาศของคณะวิศวกรรมศาสตร์

## ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

การสำรวจอาคาร

ลักษณะการใช้อาคาร

อาคารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรตั้งอยู่บนพื้นที่ในเขตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประกอบด้วยกลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ทั้งสิ้น 8 อาคาร คือ อาคารเรียนรวม อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ อาคารวิศวกรรมโยธา อาคารวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ และอาคารปฏิบัติการอีก 4 อาคาร
อาคารวิศวกรรมศาสตร์ตัวอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7 ชั้น วางตัวตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก ภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้อง ห้องส่วนใหญ่มีการปรับอากาศ และระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 70 ตันความเย็นมีการทำงานแบบสลับกันทำงาน และมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5 กิโลวัตต์โดยเครื่องชิลเลอร์จะทำการเปิดใช้งานในเวลา 8:00น.-16:00น. วันจันทร์-วันศุกร์ และลักษณะการใช้งานของแต่ล่ะห้องจะมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศไม่พร้อมกัน สภาพภายในของห้องปรับอากาศบางห้องมีช่องเปิดขนาดใหญ่เนื่องจากผนังไม่ติดกัน ด้านบนฝ้าเพดานบางห้องมีลักษณะเปิดถึงกันได้ ซึ่งไม่มีผนังกั้นเพดานระหว่างห้อง ดังนั้นลมกลับจะดูดอากาศที่มีฝุ่นผงกลับเข้าไปใน Evaporator โดยตรง

ภาระการทำความเย็น

ได้นำข้อมูลภาระการทำความเย็นมาจากโครงงานกรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ( Case Study Sprit type System Related Central System in Engineering Department at Naresuan University ) ซึ่งมีการคำนวณไว้ 3 วิธีได้แก่วิธี การหาแบบ CLTD การหาแบบตารางเมตร และการหาแบบใช้โปรแกรมคำนวณ ในที่นี้เลือกใช้ข้อมูลชุดวิธี CLTD มาใช้ในการออกแบบ เนื่องจากเป็นการคำนวณโดยละเอียดจากปัจจัยต่างๆที่ทำให้เกิดภาระทำความเย็นสูงสุด

การออกแบบระบบ VRF กับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

เป็นการออกแบบระบบ VRF ให้เหมาะกับอาคาร ทั้งการเลือกอุปกรณ์ และการวางระบบท่อสารทำความเย็นโดยอ้างอิงจากการปรึกษาบริษัทผู้จัดจำหน่ายและจากการศึกษาดูงานที่อาคารศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ตึก CITCOMS) ได้ดังนี้

**การเลือก Evaporator**

หลังจากการศึกษาชนิดของEvaporator และลักษณะสถานที่ติดตั้งในอาคารวิศวกรรมศาสตร์แล้ว พบว่าEvaporatorชนิด Cassette type 4 way เพราะพื้นที่ปรับอากาศมีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยมทั้งหมด Evaporatorชนิด Cassette type 4 way มีความเหมาะสมเพราะกระจายลมเย็นได้ 4 ทิศทาง ทำความเย็นได้ทั่วถึงทั้งห้อง

การจัดกลุ่มห้อง

การจัดกลุ่มห้องเพื่อเลือก Condenserตามโหลดรวมของกลุ่มที่จัดนั้น สามารถทำได้โดยการคำนึงถึงปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ภาระการทำความเย็นของEvaporator ต้องคำนึงถึงภาระการทำความเย็นรวมเพราะ จะนำไปเลือกอุปกรณ์ โดยทั่วไปแล้วการเลือกอุปกรณ์ขนาดที่ใหญ่จะเป็นการประหยัดกว่าการเล็กขนาดเล็กหลายๆตัว และควรจัดกลุ่มห้องเพื่อเลือก Condenserที่มีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อสะในการซ่อมบำรุงและสำรองอะไหล่
2. ตำแหน่งของของพื้นที่ที่ต้องการการปรับอากาศ จัดกลุ่มห้องให้อยู่ในบริเวณเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการวางท่อน้ำยา
3. จำนวน Evaporator ต่อ Condenser ไม่เกินจากที่ระบุไว้มนแคตตาล็อค

**การเลือก Condenser**

โดยทั่วไปCondenserสามารถทำงานได้ 120%-130% แต่โดยทั่วไปนิยมติดตั้งจากการทำงานที่ออกแบบ 110% จากที่ออกแบบไว้ ดังนั้นเราสามารถจัดกลุ่มห้อง เพื่อนำมาเลือกCondenser จาก cooling load ที่คำนวณได้สูงกว่าเล็กน้อย เพื่อพยามใช้อุปกรณ์รุ่นเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการสำรองอะไหล่และค่าบำรุงรักษา และเป็นการประหยัดราคาเพราะขนาดCondenserที่ใหญ่ขึ้นราคาจะสูงขึ้น

**การวางระบบท่อสารทำความเย็น**

ระบบปรับอากาศแบบ VRF เป็นระบบที่มีการแยกกันระหว่าง Condenser และ Evaporator จึงจำเป็นต้องวางท่อสำหรับส่งสารทำความเย็นไปกลับระหว่างสองเครื่องนี้ ดังนั้น หลักการวางระบบท่อสารทำความเย็นมีดังนี้

1. การวางระบบท่อต้องทำให้ระบบปรับอากาศนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงที่สุด
2. เลือกขนาดของท่อและอุปกรณ์ต่อท่อให้มีความเหมาะสมกับภาระทำความเย็น ขนาดของ Condenser และ Evaporator
3. การวางระบบท่อสารทำความเย็นเป็นการระบบภายในอาคาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงงานระบบอื่นด้วย เช่น ระบบไฟฟ้าภาพในอาคาร ท่อน้ำภายในอาคารจึงควรวางระบบท่อให้หลีกเลี่ยงกับระบบอื่นๆ
4. การวางระบบท่อสารทำความเย็นนั้นควรวางผ่านในส่วนพื้นที่ที่สามารถเข้าไปทำการซ่อมบำรุงได้ง่ายจากหลักการดังกล่าว ทำให้ได้ภาพของระบบท่อสารทำความเย็นแต่ละตึก

ประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

จากที่ได้ออกแบบและเลือกอุปกรณ์ ที่ใช้ในการติดตั้งของระบบปรับอากาศแบบ VRF ในอาคารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งประกอบไปด้วยราคาค่า Evaporator, Condenser, ระบบท่อสารทำความเย็นสามารถสรุปและนำมาเปรียบเทียบราคากับระบบอื่นได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบราคาของระบบปรับอากาศแต่ละระบบ

| อาคาร | ภาระการทำความเย็น (BTU/hr) | ราคารวมค่าอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | VRF | | Chiller | | Split tytpe | |
| | | Bath | Bath/(BTU/hr) | Bath | Bath/(BTU/hr) | Bath | Bath/(BTU/hr) |
| วิศวกรรมไฟฟ้า | 4,489,090.28 | 18,883,300 | 4.2 | 11,659,532 | 2.6 | 7,512,236 | 1.7 |
| วิศวกรรมอุตสาหการ | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |
| วิศวกรรมโยธา | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |

ศึกษางานติดตั้งจริง

โครงการกรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น เป็นโครงการออกแบบระบบปรับอากาศกับอาคารวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีขั้นตอนออกแบบตามที่ใช้จริงในงานปรับอากาศในปัจจุบัน แต่เนื่องจากไม่มีการติดตั้งจริง จึงได้ศึกษางานติดตั้งจริงของอาคารศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ตึก CITCOMS) โดยมีลำดับการติดตั้งดังต่อไปนี้

สำรวจสถานที่ติดตั้ง

- ลักษณะอาคาร เช่น ความสูง ความกว้าง ลักษณะฝ้าเพดาน ช่องทางการขนย้ายอุปกรณ์
- สภาพแวดล้อมโดยรอบเช่น ต้นไม้ หรือสิ่งปลูกสร้างโดยรอบ
- สำรวจสถานที่ติดตั้ง Condenser โดยคำนึงจาก 3 เหตุผลหลักๆคือ

  1.การระบายอากาศ เลือกจัดวางบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก เพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ในกรณีนี้ เลือกวาง Condenser ส่วนใหญ่ไว้บนดาดฟ้าของอาคาร และบางส่วนอยู่ด้านข้างของอาคาร

  2.พื้นที่วาง เลือกพื้นที่ได้ระบบ สามารถวาง Condenser ได้อย่างมั่นคงและคำถึงการรับน้ำหนักของพื้นที่นั้นๆ

  3.ระยะการเดินท่อไปยัง Evaporator ในอาคาร Condenser สามารถส่งสารทำความเย็นได้ในท่อแนวตั้ง50 เมตร และท่อแนวนอน 200 เมตร อาคาร CITCOMS สูง 25 เมตร สามารวาง ชุด Condenser ส่วนใหญ่ไว้บนดาดฟ้าได้ โดยเป็นไปตามเงื่อนไขกำหนด
- พื้นที่การวางแนวท่อน้ำยาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ
  1. ภายนอกอาคาร การวางแนวท่อภายนอกอาคารนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วมักจะไม่พบปัญหา เพราะส่วนใหญ่พื้นที่ภายนอกอาคารมีมากพอในการวางแนวท่อโดยไม่มีสิ่งที่ทำให้ฉนวนชำรุด ง่ายต่อการติดตั้ง และซ่อมบำรุง
  2. ภายในอาคาร กานวางแนวท่อน้ำยาภายในอาคารมี 2 แบบคือ แบบวางแนวท่อใต้ฝ่าเพดาน ในกรณีนี้ ต้องวางโดยพยามหลีกเลี่ยงพื้นที่ใช้งานอื่นๆภายในฝ้า เพื่อป้องกันการเสียหายที่จะเกิดกับฉนวน และต้องการพื้นที่เผื่อติดตั้งและซ่อมบำรุง แบบวางแนวท่อเปลือย เป็นการแสดงการวางแนวท่อ ไม่มีฝ้าหรือโครงสร้างอื่นมาบังเป็นอีกรูปแบบของการตกแต่งภายใน การวางท่อแบบวางแนวท่อเปลือยง่ายต่อการติดตั้งและซ่อมบำรุง
- พื้นที่การวาง Evaporator วางโดยคำนึงถึงความสามารถในการกระจายลม ละตาม cooling load ที่ได้ออกแบบไว้
- ติดตั้งระบบคอนโทรล ในกรณีนี้ใช้ระบบคอนโทรลจากบริษัท จอห์นสัน คอนโทรลส์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัดที่เป็นตัวแทนจำหน่ายระบบปรับอากาศแบบ VRF
- งานเก็บรายละเอียด หลักจากงานติดตั้ง มีการทำความสะอาดพื้นที่และซ่อมบำรุงอุปกรณ์และพื้นที่ ที่เสียหานจากการติดตั้ง เช่น ทาสีภายใน ซ่อมฝ้าเพดาน
- จัดส่งงานและอบรมการใช้งาน หลังจากการติดตั้งอบรมการใช้งานระบบเบื้องต้นให้กับผู้ใช้งานในอาคาร และการดูแลรักษาระบบเบื้องต้นให้กับเจ้าหน้าที่ดูแลอาคาร แต่เนื่องจากเป็นระบบใหม่ทำให้หากเกิดปัญหาต้องติดต่อตัวแทนจำหน่าย เพื่อนเข้ามาดูแล

# สรุปผลการทดลอง

กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรดำเนินการโดยการสำรวจการใช้เครื่องปรับอากาศของอาคาร คำนวณภาระการทำความเย็นของอาคาร ออกแบบระปรับอากาศแบบ VRFกับอาคารโดยเริ่มจากจัดกลุ่มห้อง Evaporator เลือก Condenser วางระบบท่อ วาระบบคอนโทรล ประเมินราคา และสำรวจจากงานติดตั้งจริง จากการดำเนินงานในส่วนแรกพบว่าอาคารที่ทำการสำรวจทั้งหมด 3 อาคาร คือ อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ อาคารวิศวกรรมโยธา และอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า โดยลักษณะทางกายภาพของอาคาร อาคารวิศวกรรมศาสตร์ตัวอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7 ชั้น วางตัวตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก ภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้อง ห้องส่วนใหญ่มีการปรับอากาศ และระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด70 ตันความเย็นมีการทำงานแบบสลับกันทำงาน และมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5กิโลวัตต์ ห้องภายในอาคารแบ่งเป็น ห้องเรียน ห้องพักอาจาร และสำนักงาน มีการใช้งานไม่พร้อมกันทุกห้องที่มีการปรับอากาศ เช่นห้องเรียน และห้องพักอาจารย์ และบางห้องยังมีการใช้งานหลังการปิดระบบปรับอากาศ

ออกแบบระบบปรับอากาศแบบVRFกับอาคาร เริ่มจากเมื่อทราบภาระการทำความเย็นของแต่ละห้องแล้วทำการเลือกขนาดและชนิดของ Evaporator โดยขนาดเลือกตามภาระการทำความเย็นของแต่ละห้อง ส่วนชนิดเลือก 4 Way cassette เนื่องจากห้องที่ทำการปรับอากาศเป็นห้องทรงสี่เหลี่ยม Evaporator ชนิด4 Way cassetteสามารถกระจายลมได้ 4 ทิศทางทั่วทั้งห้อง

จากนั้นทำการจัดกลุ่มห้องจากภาระการทำงานของEvaporator โดยการจัดกลุ่มห้องคำนึงถึงการวางตัวของห้องให้อยู่ใยบริเวณเดียวกันเพื่อสะดวกในการวางระบบท่อ โดยพยายามให้ภาระการทำความเย็นรวมของแต่ละกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกันเพื่อนเลือกCondenserรุ่นเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการบำรุงรักษาและสำรองอะไหล่

ระบบท่อสารทำความเย็นนั้นควรเดินท่อสารทำความเย็นให้หลีกเลี่ยงงานระบบบนฝ้าเพดาน เช่น หลอดไฟ สายไฟฟ้า วางระบบในส่วนที่มีการใช้งานในพื้นน้อยที่สุด เพื่อง่ายต่อการซ่อมบำรุง โดยอุปกรณ์ระบุไว้ในตารางที่4.1

ประเมินค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่าติดตั้งระบบVRF แสดงได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าใช้จ่ายของแต่ละส่วนงาน

| อาคาร | ภาระการทำความเย็น (BTU/hr) | ราคารวมค่าอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | VRF | | Chiller | | Split tytpe | |
| | | Bath | Bath/(BTU/hr) | Bath | Bath/(BTU/hr) | Bath | Bath/(BTU/hr) |
| วิศวกรรมไฟฟ้า | 4,489,090.28 | 18,883,300 | 4.2 | 11,659,532 | 2.6 | 7,512,236 | 1.7 |
| วิศวกรรมอุตสาหการ | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |
| วิศวกรรมโยธา | 3,381,070.70 | 13,880,000 | 4.1 | 8,570,234 | 2.5 | 5,521,802 | 1.6 |

จากการสำรวจงานติดตั้งของอาคารศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ตึกCITCOMS) ที่ทำการเปลี่ยนจากระบบทำน้ำเย็นเป็นระบบVRF ทำให้เห็นถึงหลักการออกแบบและติดตั้งระบบ รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างติดตั้ง สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับโครงงาน และการใช้งานระบบปรับอากาศชนิดนี้ในอาคารพบว่า เป็นระบบที่ง่ายต่อการควบคุมเนื่องจากมีระบบคอนโทลนที่ทันสมัย สามารถตั้งค่าการทำงานได้หลากหลาย ทั้งการตั้งช่วงอุณหภูมิของแต่ระห้อง เวลาการเปิดปิด ง่ายต่อการทำงานของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลอาคาร เสียงรบกวนจากอุปกรณ์ต่ำ

# ภาคผนวก ง
# โปสเตอร์

# กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายจิตรดิลก ชูเพชร / นายสรวิศ มาพิจารณ์ / นายศิวัช หริ่มสืบ ผศ.ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

**บทคัดย่อ**

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นการนำความรู้ที่ศึกษาในรายวิชาปรับอากาศมาประยุกต์ใช้ในงานจริง โดยสำรวจอาคารและทำการออกแบบระบบ VRF ให้เหมาะสมกับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยสำรวจงานติดตั้งจริงจากอาคาร CITCOM พบว่า อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ Module สูงสุด 11 ตัว และราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF สูงสุดอยู่ที่ 18.9 ล้านบาทคิดเป็น 4.2 บาท/Btu/hr

**ความเป็นมา**และความสำคัญของโครงงาน

ระบบปรับอากาศมีความสำคัญและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โครงการนี้จึงศึกษาความเหมาะสมในการเลือกระบบปรับอากาศของหึกคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ระบบปรับอากาศที่ทำการศึกษาและออกแบบคือ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

**หลักการและทฤษฎี**

ระบบ VRV (Variable Refrigerant Volume) หรือ ระบบ VRF (Variable Refrigerant Flow) เป็นระบบของเครื่องปรับอากาศที่ปรับปริมาณสารทำความเย็นตามภาระโหลดของการทำความเย็นและจำนวนตัวเครื่องภายในที่ทำการติดตั้ง เป็นระบบเครื่องปรับอากาศในเชิงพาณิชย์ที่เหมาะในลักษณะการติดตั้งที่จำกัดด้วยพื้นที่ติดตั้งคอยล์ร้อน (Condenser) เนื่องจากคอยล์ 1 ตัว สามารถติดตั้งคอยล์เย็น (Evaporator)ได้หลายตัวและหลายชั้น ซึ่งคอยล์เย็นจะแยกการทำงานโดยอิสระจึงสามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำ เมื่เปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบธรรมดา ระบบปรับอากาศแบบ VRV หรือ VRF จะควบคุมอุณหภูมิภายในห้องได้ดีกว่า เทคโนโลยีในปัจจุบันของระบบนี้สามารถกระจายเครื่อง Evaporator ได้หลายตัวโดยใช้ Condenser เพียงตัวเดียว เป็นดังที่ไปสำรวจงานติดตั้งจริงของอาคาร CITCOM

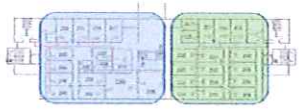
**วัตถุประสงค์ของโครงงาน**

เพื่อศึกษาและออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF) สำหรับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

**วิธีการดำเนินงาน**

ผลการดำเนินงาน

- การเลือก Evaporatorชนิด Cassette type 4 way มีความเหมาะสมเพราะกระจายลมเย็นได้ 4 ทิศทาง ทำความเย็นได้ทั่วถึงทั้งห้อง โดยทำการเลือกจากภาระการทำความเย็นของห้อง
- การจัดกลุ่มห้องเพื่อเลือก Module พิจารณาภาระการทำความเย็นร่วมกับสำแหน่งพื้นที่ห้อง เพื่อจัด Module ให้เหมาะสมกับอาคาร
- การวางระบบท่อ พยายามเดินท่อให้หลีกเลี่ยงงานระบบบนฝ้าเพดาน เช่น หลอดไฟ สายไฟฟ้า วางระบบในส่วนที่มีการใช้งานในพื้นน้อยที่สุด เพื่อง่ายต่อการซ่อมบำรุง



**รูปที่ 2**แสดงการจัดกลุ่มห้อง และการวางระบบท่อน้ำยา โดยกรอบสีฟ้าแสดงกลุ่มห้อง IECU21 และกรอบสีเขียวแสดงกลุ่มห้อง IECU22 และเส้นสีแดงคือท่อน้ำยา

**ตารางที่ 1** แสดงตัวอย่างจำนวน Evaporator และ Module ที่รองรับของแต่ละกลุ่มห้องของอาคารวิศวกรรมอุตสาหการ

| กลุ่มห้อง | Condenser Model | Condenser Capacity | จำนวน Evaporator |
|---|---|---|---|
| IECU11 | AM260BXVAGH | 268,008 | 8 |
| IECU21 | AM420BXVAGH | 408,837 | 17 |
| IECU22 | AM360BXVAGH | 351,761 | 18 |
| IECU31 | AM300BXVAGH | 290,106 | 12 |
| IECU32 | AM280BXVAGH | 263,666 | 14 |
| IECU41 | AM460BXVAGH | 450,019 | 22 |
| IECU51 | AM340BXVAGH | 327,566 | 16 |
| IECU52 | AM380BXVAGH | 369,442 | 14 |

สรุปผล

จากการออกแบบสามารถสรุปได้ว่า อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ มีจำนวน Evaporator 121 ตัว Module จำนวน 8 ตัว อาคารวิศวกรรมโยธามีจำนวน Evaporator 121 ตัว Module จำนวน 8 ตัว อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า มีจำนวน Evaporator 187 ตัว Module จำนวน 11 ตัว โดยที่แต่ละกลุ่มห้อง จะมี Module 1 ตัวรองรับการทำงานของ Evaporator และการเดินท่อน้ำยาจะเดินเข้าทางด้านข้างของศึกไปยังแต่ละห้อง โดยที่ราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF ที่นำมาเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะมีราคาสูงกว่าแต่จะมีค่า COP สูงกว่าเช่นกัน ราคาเป็นดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 แสดงราคาค่าอุปกรณ์ของแต่ละระบบ

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

**เอกสารอ้างอิง**

ผศ.ชูชัย ด.ศิริวัฒนา. (2554). การทำความเย็นและการปรับอากาศ.(1).กรุงเทพฯ: ส.ส.ท.

สมศักดิ์ สุโมสยกุล. (2543). เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ. (1).กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น,บมจ.

Waste Reduction Partners.(2010). Chiller Energy Saving Fact Sheet.ENERGY.

ฯลฯ

# ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบระบบปรับอากาศปรับอากาศแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น (VRF)กับอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ พบว่าราคาค่าอุปกรณ์ของระบบ VRF สูงกว่าระบบปรับอากาศอื่นมาก เป็นเพราะในการออกแบบ เลือกอุปกรณ์ที่ประสิทธิภาพสูงที่สุด อาจเปลี่ยนอุปกรณ์บางตัวเพื่อให้ราคาถูกลง และไม่มีการวิเคราะห์การคืนทุน

ตารางแนวทางการแก้ไขปัญหา

| ปัญหาที่พบ | แนวทางการแก้ไขปัญหา |
|---|---|
| ราคาค่าอุปกรณ์สูง | เลือกอุปกรณ์ควรคำนึงถึงราคาและการใช่งานเต็มประสิทธิภาพ |
| ไม่มีการวิเคราะห์ระยะคืนทุน | วิเคราะห์ระยะคืนทุนจากการลดใช้พลังงาน |
| วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายการติดตั้ง | คำนวณราคาค่าติดตั้งทั้งหมดทั้งค่าแรง และค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เดี่ยวข้อง |

# ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ นายจิตรดิลกชูเพชร
ภูมิลำเนา 35 หมู่ 1 ต.อุทัยเก่า อ.หนองฉาง จ.อุทัยธานี61110
วันเกิด 30 สิงหาคม 2535
ประวัติการศึกษาจบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองฉางวิทยา
จังหวัดอุทัยธานี จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมเครื่องกลภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail jitdilk@hotmail.com

ชื่อ นายสรวิศมาพิจารณ์
ภูมิลำเนา 29 หมู่ 6 ต.หล่มเก่า อ.หล่มเก่า จ.เพชรบูรณ์6712
วันเกิด 18มิถุนายน2535
ประวัติการศึกษาจบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหล่มเก่า
พิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์จบการศึกษาในระดับปริญญาตรี
ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกลภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail sorawis.m@hotmail.com

ชื่อ นายศิวัช หริ่มสืบ
ภูมิลำเนา 99 หมู่ 7 ต.ท่าทอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
วันเกิด 27 สิงหาคม 2535
ประวัติการศึกษาจบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิษณุโลก
พิทยาคม จังหวัดพิษณุโลกจบการศึกษาในระดับปริญญาตรี
ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกลภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail overstyle_ohon@hotmail.co.th