กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศ แบบรวมศูนย์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Case Study Split type System Related Central System in Engineering Department at Naresuan University

นายจักรกริช	แย้มกลีบ	รหัส 54360568
นายวิสุทธิ์	รงค์ทอง	รหัส 54360810
นายนิภัทร์	เพชระบูรณิน	รหัส 54363286

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557

I-6893949

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อหัวข้อโครงงาน กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน แทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายจักรกริช แย้มกลีบ	54360568
นายวิสุทธิ์ รงค์ทอง	54360810
นายนิภัทร์ เพชระบูรณิน	54363286

ที่ปรึกษาโครงงาน ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

.....กรรมการ
(อ.ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ)

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาระบบปรับอากาศภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ (IE) อาคารวิศวกรรมโยธา (CE) และ อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า (EE) โดยได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ซึ่งเป็นระบบเดิมเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งเป็นระบบปรับอากาศใหม่ที่จะนำมาติดตั้ง การศึกษาในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การลงมือปฏิบัติจริงในการออกสำรวจพื้นที่อาคาร และการเก็บข้อมูลของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ทั้ง 3 ฤดู เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ คำนวณหาภาระการทำความเย็น สำรวจราคา ประมาณการใช้พลังงาน สำรวจปัญหาระบบปรับอากาศภายในอาคาร และเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เดิมถูกออกแบบมาให้ทำงานเต็มประสิทธิภาพที่ 280 ตันความเย็นต่ออาคาร แต่ตัวอาคารมีลักษณะแบ่งเป็นหลายห้อง บางห้องไม่มีการใช้งานอีกทั้งการใช้งานอาคารภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์มีความต้องการการปรับอากาศที่ไม่พร้อมกัน โดยมีการใช้งานโดยเฉลี่ยเพียง 20% ของขีดความสามารถสูงสุดของระบบ ซึ่งเป็นการใช้งาน ที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขีดความสามารถสูงสุดของระบบที่สามารถทำได้ นอกจากนี้ยังพบปัญหาเกี่ยวกับรอยรั่วระหว่างชั้นภายในอาคารและปัญหาของห้องที่ไม่มีระบบลมกลับ (return air) ทำให้อากาศในห้องไม่มีการถ่ายเท จากการเปรียบเทียบราคาในการลงทุนโดยคิดแบบ NPV ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกันที่ 57 ล้านบาทซึ่งไม่แตกต่างกันมาก จึงสรุปได้ว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความเหมาะสมในการติดตั้งภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์มากกว่า เพราะลักษณะของตัวอาคารที่แบ่งเป็นหลายห้อง อีกทั้งมีความต้องการในการปรับอากาศที่ไม่พร้อมกันในแต่ละห้อง และยังมีปัญหาความสะอาดของอากาศภายในห้องปรับอากาศ ที่ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนทำได้ดีกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

Abstract

This project studies the air conditioning system within the Faculty of Engineering. Engineering Building Industrial (IE) building, civil engineering (CE) and building electrical engineering (EE) The conducted a study, centralized air-conditioning system, which is compared to the old system of split type air-conditioning system, a new air conditioning system will be installed. This study focuses on the practice-building areas to explore. And data collection of a centralized air conditioning system, the third season to determine the effectiveness of the system. Calculate the cooling load energy price survey estimates. Survey System Problems and compare the economic value. Centralized air conditioning system that was originally designed to run at full capacity of 280 tons of cooling to the building. But the buildings are divided into many rooms. Some not in use as well as other building applications within the Faculty of Engineering, the demand for air conditioning is not the same. The use by an average of 20% of the maximum capacity of the system. This use of Very few compared to the capacity of the system can do. They also found problems with leakage between floors of the building and no room without (return air), the air in the room without transferring. By comparison, the cost of investment by thinking a NPV of centralized air conditioning system and split type cost close to 57 million baht, which is not very different. In conclusion a separate air conditioning system is suitable for installation within the Faculty of Engineering over. Because of the appearance of the building was divided into several rooms. The demand for air conditioning is not available in each room. And also the problems of cleanliness of the air conditioning. The modular air conditioning system better than, centralized air-conditioning system.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ ให้คำปรึกษาโครงงานประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีได้แก่

1. ผศ.ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
2. ผศ.ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว กรรมการสอบโครงงาน
3. อ. ชูพงศ์ ช่วยเพ็ญ กรรมการสอบโครงงาน
4. คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ

สุดท้ายนี้กลุ่มของข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ทั้งขอขอบพระคุณบุคลากรในอาคารวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่สนับสนุนเครื่องมือในการเก็บข้อมูลในการทำโครงงานครั้งนี้

คณะผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญ

ใบรับรองโครงงาน ..... ก

บทคัดย่อ ..... ข

Abstract ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

สารบัญสัญลักษณ์ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.7 สถานที่ทำโครงงาน 4

1.8 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 4

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 5

2.1 หลักการของระบบปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น 5

2.2 ชนิดของระบบปรับอากาศ 7

2.3 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ 17

2.4 การคำนวณหาภาระการทำความเย็น 19

2.5 มาตรฐานของระบบปรับอากาศ 26

2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 34

2.7 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องปรับอากาศ 36

2.8 วรรณกรรมปริทรรศน์ 38

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 40

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

3.2 สำรวจอาคาร 40

3.3 ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบเดิม 40

3.4 เก็บข้อมูลของระบบที่ใช้อยู่เดิม (แบบรวมศูนย์) 41

3.5 ตรวจสอบราคาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในท้องตลาดปัจจุบัน 41

3.6 ประมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 41

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล 42

4.1 การสำรวจอาคาร 42

4.2 เก็บข้อมูล 54

4.3 การหาค่าภาระการทำความเย็น 56

4.4 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ 57

4.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบรวมศูนย์ 58

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 61

5.1 สรุปผลการทดลอง 61

ข้อเสนอแนะ 63

เอกสารอ้างอิง 64

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางการเก็บข้อมูล 66

ภาคผนวก ข ค่าภาระทำความเย็น 86

ภาคผนวก ค การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 103

ภาคผนวก ง ราคาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 117

สารบัญ(ต่อ)

ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณ.....126

ภาคผนวก ฉ โครงงานฉบับย่อ.....139

ภาคผนวก ช โปสเตอร์.....153

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน.....155

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 การดำเนินงาน.....3

ตารางที่ 2.1 แสดงการคำนวณหาภาระทำความเย็นแบบสำเร็จรูป.....25

ตารางที่ 2.2 เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ.....26

ตารางที่ 2.3 เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ.....27

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก.....27

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องทำน้ำเย็น.....28

ตารางที่ 2.6 สภาวะมาตรฐานสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ.....29

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท.....30

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ทั้งหมดของอาคารและพื้นที่ที่ปรับอากาศ.....43

ตารางที่ 4.2 จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการติดตั้งอยู่เดิม.....43

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์.....55

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ได้ออกแบบไว้ของอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์.....57

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และปริมาณการใช้พลังงาน.....60

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ.....6

รูปที่ 2.2 หลักการของวัฏจักรทำความ.....6

รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องชิลเลอร์.....8

รูปที่ 2.4 ลักษณะของคอมเพรสเซอร์.....9

รูปที่ 2.5 Diagram Chiller Air Cool.....10

รูปที่ 2.6 Diagram Chiller Water Cool.....11

รูปที่ 2.7 Diagram Split-Type.....12

รูปที่ 2.8 วัฏจักรการทำงานของระบบ Packaged Water-cooled.....13

รูปที่ 2.9 หอระบายความร้อน.....14

รูปที่ 2.10 ระบบปรับอากาศแบบ Packaged air cooled unit system.....15

รูปที่ 2.11 Diagram Package Air Cool.....16

รูปที่ 2.12 Diagram Package Water Cool.....16

รูปที่ 4.1 อาคารเรียนวิศวกรรมไฟฟ้า.....45

รูปที่ 4.2 อาคารเรียนวิศวกรรมโยธา.....45

รูปที่ 4.3 อาคารเรียนวิศวกรรมอุตสาหการ.....46

รูปที่ 4.4 เครื่องชิลเลอร์.....46

รูปที่ 4.5 เกจวัดความดัน และวัดอุณหภูมิ.....47

รูปที่ 4.6 แผงควบคุมไฟฟ้าของปั๊มน้ำ.....47

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4.7 ชุดเครื่องสูบน้ำเย็นเข้าสู่อาคาร....48

รูปที่ 4.8 ตู้ควบคุมไฟฟ้าเครื่องชิลเลอร์....48

รูปที่ 4.9 ปัญหาการฉีกขาดของฉนวนหุ้มท่อน้ำ....49

รูปที่ 4.10 ปัญหารอยรั่วอากาศระหว่างชั้น และ ระหว่างกระจก....49

รูปที่ 4.11 ระบบปรับอากาศของอาคารที่ไม่มีท่อลมกลับ....51

รูปที่ 4.12 พัดลมที่ไม่มีท่อลมกลับ....51

รูปที่ 4.13 ฝุ่นละอองที่อยู่ในฝ้าเพดาน....52

รูปที่ 4.14 ช่องลมกลับภายในอาคาร....52

รูปที่ 4.15 การเรียงตัวของเครื่องชิลเลอร์....50

รูปที่ 4.16 ตำแหน่งเกจความดัน....50

รูปที่ 4.17 การใช้งานจริงของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยเฉลี่ยแต่ละเครื่อง....52

รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณในสภาวะทำงานเต็มประสิทธิภาพ
กับการทำงานจริงของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยเฉลี่ยในแต่ละอาคาร....53

รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)
ด้วยการใช้ระยะเวลาของอายุเครื่อง 20 ปี....57

สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์		หน่วย
Q	คือปริมาณความร้อน	W
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	$°C$
T_{out}	คืออุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกส่วนทำน้ำเย็น	$°C$
E_{com}	คือความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ	kw
$CLTD$	คือภาระทำความเย็น	$°F$
U	คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$W/(m^2°C)$
A	คือพื้นที่คำนวณจากผังอาคาร	ft^2
$CLTD_c$	คือ Corrected cooling load temperature difference	$°F$
LM	คือ Latitude-month correction	$°F$
T_r	คือ Indoor design temperature	$°F$
T_a	คือ Average outdoor design temperature	$°F$
DB	คือ Daily temperature range	$°F$

รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์		หน่วย
K	คือ Color adjustment factor	-
$SHGF$	คือ Maximum solar heat gain factor	-
SC	คือ Shading coefficients	-
CLF	คือ Cooling load facto	-
ΔT	คือ design temperature difference, unconditioned area to room, partition, ceiling, floor	$°F$
BF	คือ ballast factor (BF = 1.25 หลอดไฟฟลูออเรสเซนท์, BF=1สำหรับหลอดไส้)	-
$Q_{sensible}$	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_i	คือกระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา	-
T	คือช่วงอายุของโครงการในการลงทุน	-
IRR	คืออัตราผลตอบแทนภายใน	-
CF_t	คือกระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา	-
n	คือช่วงอายุของโครงการลงทุน	-
r	คือต้นทุนของเงินทุน	-

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศจะมีอัตราส่วนสูงที่สุด ดั้งนั้นการเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โครงการนี้จึงศึกษาความเหมาะสมในการเลือกระบบปรับอากาศของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ระบบปรับอากาศที่ทำการศึกษาคือระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type system) ศึกษาเพื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Chiller System) ซึ่งเป็นระบบเดิมที่คณะฯใช้อยู่ สำหรับภาระการทำความเย็นของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ส่วนใหญ่มีความต้องการในการปรับอากาศไม่พร้อมกันเครื่องจึงไม่ได้ทำงานตามภาระการทำความเย็นที่ออกแบบไว้ ซึ่งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า

โครงงานนี้จะศึกษาเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน คุณภาพของอากาศ การใช้พลังงานไฟฟ้าราคาต่ออายุการใช้งานกับพื้นที่ ที่ใช้ทำความเย็นและอื่นๆ ตามลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน แทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. เป็นการสำรวจอาคารและการทำงานของระบบปรับอากาศในคณะวิศวกรรมศาสตร์
2. เป็นการศึกษาคิดค่าภาระการทำความเย็นในตึกของคณะวิศวกรรมศาสตร์
3. ศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ
4. วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. วาดผังอาคารและระบบปรับอากาศ
3. ตรวจสอบอาคาร ลักษณะการใช้งานของระบบปรับอากาศ และตรวจสอบจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเดิมที่ทำการติดตั้ง
4. ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบเดิมค่าภาระทำความเย็น ประสิทธิภาพของแต่ละอาคาร
5. เก็บข้อมูล ความดันที่ทางเข้าทางออกของเครื่องชิลเลอร์ อุณหภูมิ และกำลังไฟที่ใช้
6. หาข้อมูลของระบบปรับอากาศในปัจจุบัน
7. ประมาณค่าการใช้พลังงานจากประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
8. วิเคราะห์และเปรียบเทียบระบบปรับอากาศ
9. นำข้อมูลจากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบด้านพลังงาน ด้านการใช้งาน และทางเศรษฐศาสตร์
10. สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน กรกฎาคม 2557 – มีนาคม 2558

ตารางที่ 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. ศึกษาทฤษฎีรวมถึงศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
2. วาดผังอาคารและระบบปรับอากาศ									
3. ตรวจสอบอาคาร ลักษณะการใช้งานของระบบปรับอากาศ และตรวจสอบจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเดิมที่ทำการติดตั้ง									
4. ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบเดิมค่าภาระทำความเย็น ประสิทธิภาพของแต่ละอาคาร									
5. เก็บข้อมูล ความดันที่ทางเข้าทางออกของเครื่องชิลเลอร์ อุณหภูมิ และกำลังไฟที่ใช้									
6. หาข้อมูลของระบบปรับอากาศในปัจจุบัน									
7. ประมาณค่าการใช้พลังงานจากประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน									
8. วิเคราะห์และเปรียบเทียบระบบปรับอากาศ									
9. นำข้อมูลจากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบด้านพลังงาน ด้านการใช้งาน และทาง เศรษฐศาสตร์									
10. สรุปผลและจัดทำรายงาน									

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแบบรวมศูนย์และ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน
2. ฝึกการวิเคราะห์และแก้ปัญหาทางด้านเทคนิค และด้านเศรษฐศาสตร์
3. เรียนการทำงานเป็นทีมและมองภาพการทำงานแบบวิศวกร

1.7 สถานที่ทำโครงงาน

อาคารวิศวกรรมเครื่องกล – อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

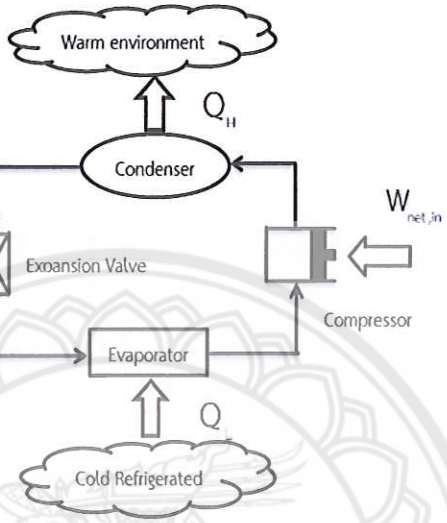
1.8 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

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

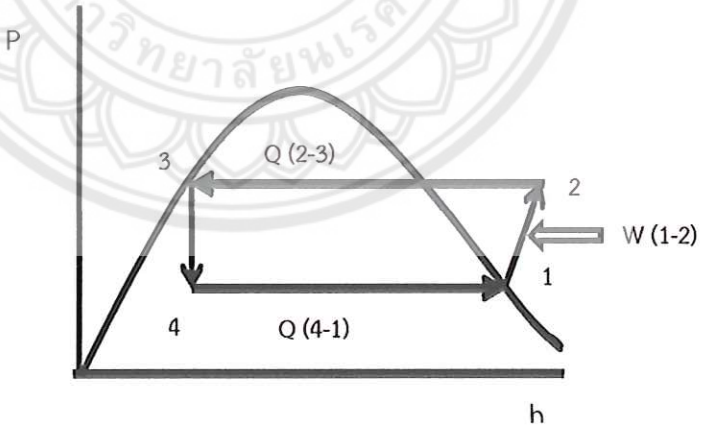
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการของระบบปรับอากาศและเครื่องทำความเย็น[1]

หลักการทำงานของระบบปรับอากาศคือการปรับสภาวะอากาศให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการ โดยทำให้เกิดความรู้สึกสบายต่อผู้อยู่อาศัยตามสถานที่ต่างๆเช่น บ้าน โรงเรียน โรงพยาบาล โรงแรม สำนักงานเป็นต้น ระบบปรับอากาศแต่ละประเภทจะแตกต่างกันตามลักษณะการออกแบบการติดตั้งและใช้งาน โดยทั่วไปสิ่งที่ต้องควบคุมของอากาศจะประกอบไปด้วย ความชื้น อุณหภูมิ ความเร็วลมที่ปะทะร่างกายและความสะอาด สำหรับประเทศที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีภูมิอากาศร้อนชื้น เช่นประเทศไทย จะทำการลดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ซึ่งจะต้องใช้เครื่องทำความเย็นที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของวัฏจักรทำความเย็นดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ



รูปที่ 2.2 หลักการของวัฏจักรทำความเย็น

หลักการทำงานของวัฏจักรทำความเย็นตามรูปที่ 2.2 สามารถอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้

ช่วง 1 – 2 กระบวนการอัด (Compression) ที่กระบวนการนี้เครื่อง Compressor จะอัดสารทำความเย็นที่เป็นสถานะก๊าซที่ความดันต่ำให้เป็นก๊าซร้อนที่ความดันสูง

ช่วง 2 – 3 กระบวนการควบแน่น (Condenser) ที่กระบวนการนี้ สารทำความเย็นที่สถานะก๊าซร้อนจะควบแน่นเป็นของเหลว และเกิดการคายความร้อนออกมา

ช่วง 3 – 4 กระบวนการขยายตัว (Expansion) ที่กระบวนการนี้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของสารทำความเย็นจากความดันสูงไปเป็นความดันต่ำ พร้อมทั้งลดอุณหภูมิของสารทำความเย็นลง และเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นของเหลวผสมก๊าซ

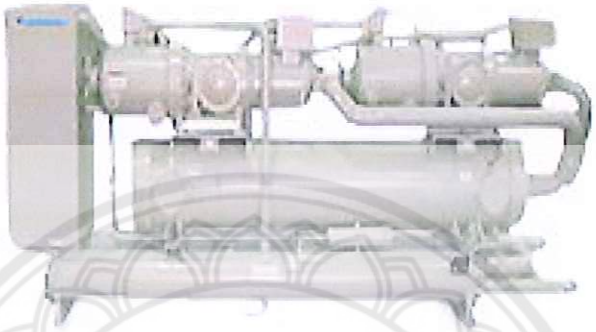
ช่วง 4 – 1 การระเหย (Evaporation) ที่กระบวนการนี้ ความร้อนจากแหล่งอุณหภูมิต่ำ (น้ำหรืออากาศ) ที่เป็นสารตัวกลางจะถูกดูดเพื่อให้สารทำความเย็นใช้ในการระเหยเพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ

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

2.2 ชนิดของระบบปรับอากาศ

โดยทั่วไประบบปรบอากาศที่มีการใช้งานในภาคอาคารธุรกิจมีการออกแบบอยู่หลายประเภท ดังนี้

2.2.1 ระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller System)[1] หรือระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central System) เป็นระบบปรับอากาศขนาดใหญ่เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศที่ขนาดใหญ่ ใช้เครื่องทำน้ำเย็นหรือชิลเลอร์เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนโดยใช้สารทำความเย็นเป็นตัวดึงความร้อนออกจากระบบแล้วถ่ายเทให้กับสิ่งแวดล้อม ชิลเลอร์ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการรับภาระความร้อนจากบริเวณที่ต้องการปรับสภาวะของอากาศ เมื่อน้ำได้รับความร้อนจากอากาศจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 5 -10 องศาจากนั้นจะไหลเข้าสู่ทางเข้าของชิลเลอร์ก่อนที่จะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่ evaporator เพื่อที่จะให้น้ำมีอุณหภูมิลดต่ำลงในการออกแบบค่าอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากชิลเลอร์เพื่อไปรับความความร้อนจะมีอุณหภูมิอยู่ที่ 10°Cส่วนประกอบของชิลเลอร์จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก ดังนี้



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องชิลเลอร์[3]

ก.) เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) ภายในจะประกอบไปด้วยระบบทำน้ำเย็นมี 4 ส่วนคือ เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องระเหย (Evaporator) วาลวลดความดัน (Expansion) และเครื่องอัดไอ (Compressor)

1.เครื่องควบแน่น (Condenser) สามารถแบงออกเป็น 2 ประเภทคือระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller) เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีพื้นที่ติดตั้งจำกัด ระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller) เหมาะสำหรับพื้นที่ ปรับอากาศที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก เช่น โรงพยาบาล ศูนย์การค้าขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพการทำความเย็นดีกว่าระบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ

2. เครื่องระเหย (Evaporator) ทำหน้าที่รับสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำผ่านเข้ามาในคอยล์เย็น จากนั้นสารทำความเย็นจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่เข้ามาทำให้น้ำมีอุณหภูมิลดลง

3.วาลวลดความดัน (Expansion) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องควบแน่นก่อนเข้าเครื่องระเหย

4.เครื่องอัดไอ (Compressor) ที่ใช้งานกับเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 ประเภทมีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับขนาดการทำความเย็นและลักษณะการใช้งานได้แก่ เครื่องอัดไอแบบสโครล์ (Scroll type) และเครื่องอัดไอแบบสกรู (Screw type)

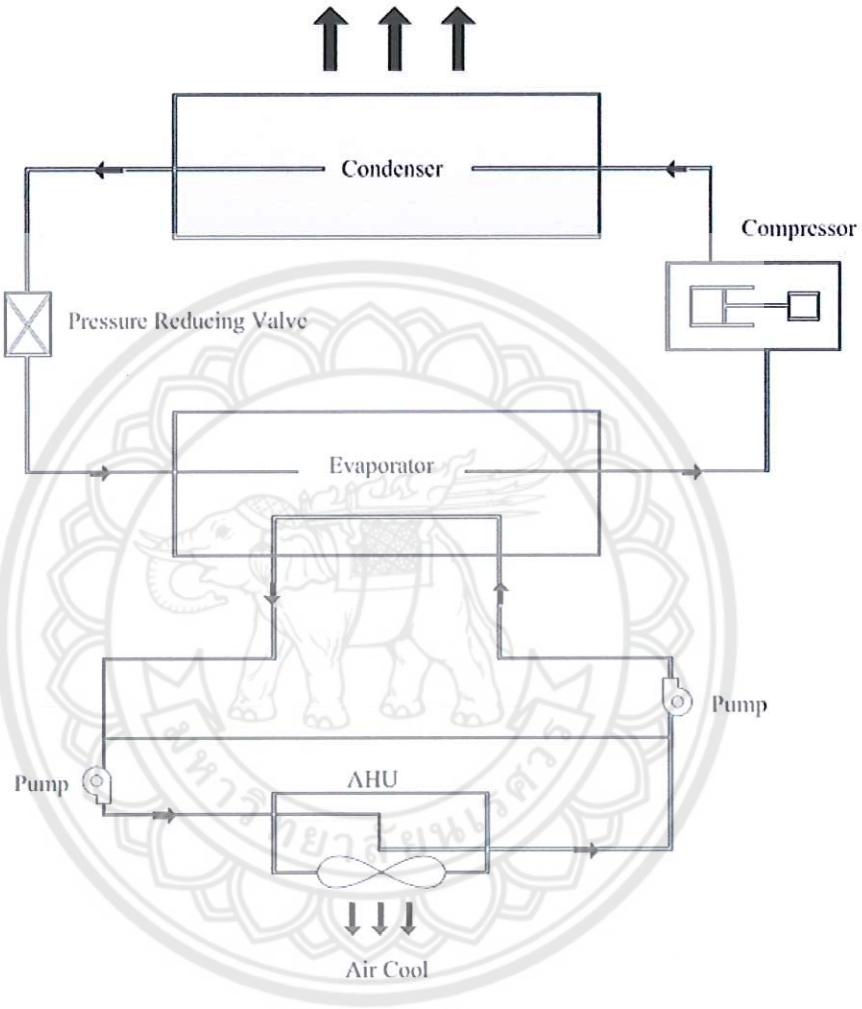
Scroll compressor Screw compressor

รูปที่ 2.4 ลักษณะของคอมเพรสเซอร์[2]

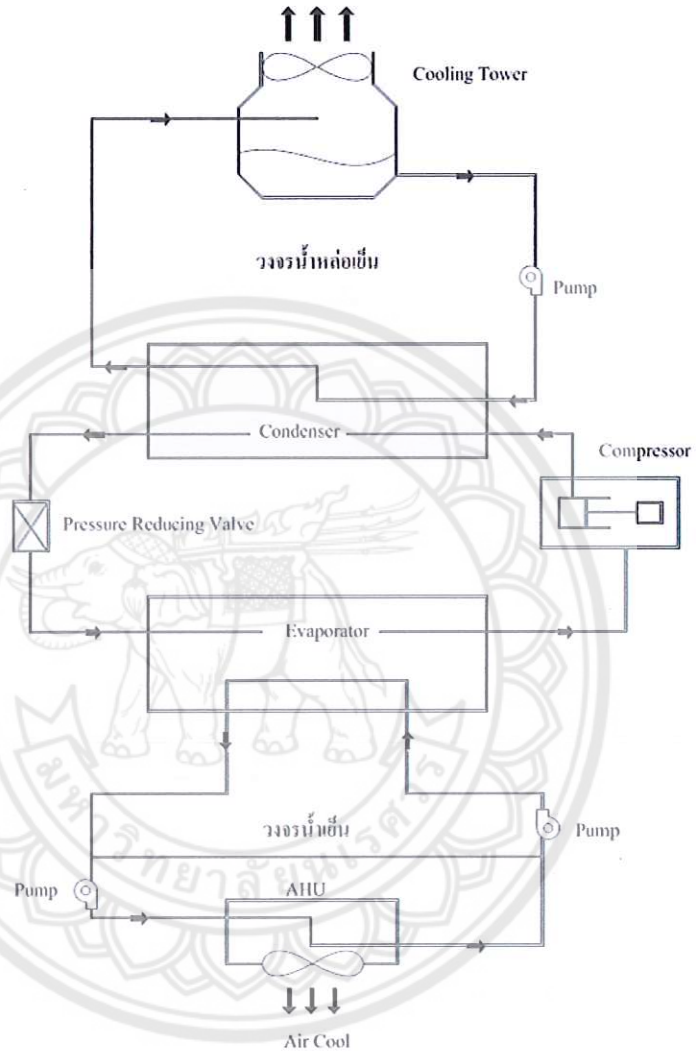
ข.) เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) ทำหน้าที่สูบน้ำจากเครื่องทำน้ำเย็นไปยังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ค.) เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit) และท่อส่งลมเย็น (Air Duct System) ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิอากาศภายนอก (Fresh Air) ให้อยู่ในระดับที่ควบคุม โดยอากาศจะถูกเป่าลมผ่านคอล์ยเย็น ซึ่งจะมีวาล์วควบคุมปริมาณน้ำเย็นที่ส่งมาจากเครื่องทำน้ำเย็นด้วย เครื่องสูบน้ำเย็นตามความต้องการของภาระการทำความเย็น

ง.) คอล์ยร้อน (Condensing Unit) ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะสารทำความเย็นจากก๊าซไปเป็นของเหลว



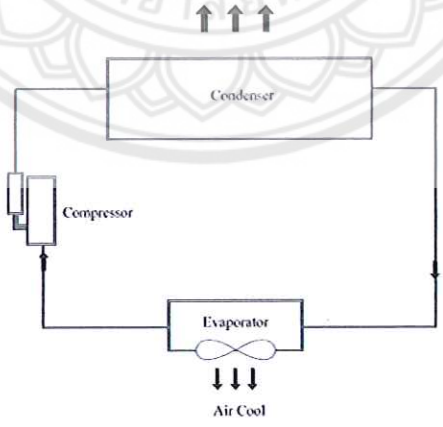
รูปที่ 2.5 Diagram Chiller Air Cool



รูปที่ 2.6 Diagram Chiller Water Cool

2.2.2 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type system)[1] ระบบปรับอากาศที่นิยมใช้ตามบ้านเรือน หอพัก หรือสำนักงานขนาดเล็ก โดยส่วนใหญ่ขนาดทำความเย็นจะไม่เกิน 40,000 BTU/hr เป็นระบบปรับอากาศเป็นที่แยกเอาระบบระบายความร้อน (Condensing Unit) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องอัดไอ ตัวควบแน่น และพัดลมระบายความร้อน (Condensing Fan) ติดตั้งไว้ภายนอกอาคาร และนำส่วนทำความเย็น (Evaporating Unit) ซึ่งประกอบด้วยตัวทำความเย็น และพัดลม ซึ่งบางทีเรียกว่าระบบทำความเย็น (Cooling Unit หรือ Indoor Unit) หรือแฟนคอยล์ยูนิต ติดตั้งไว้ภายในตัวอาคาร ซึ่งระบบนี้สามารถเลือกปิด - เปิดเครื่องปรับอากาศได้ตามความต้องการใช้งาน

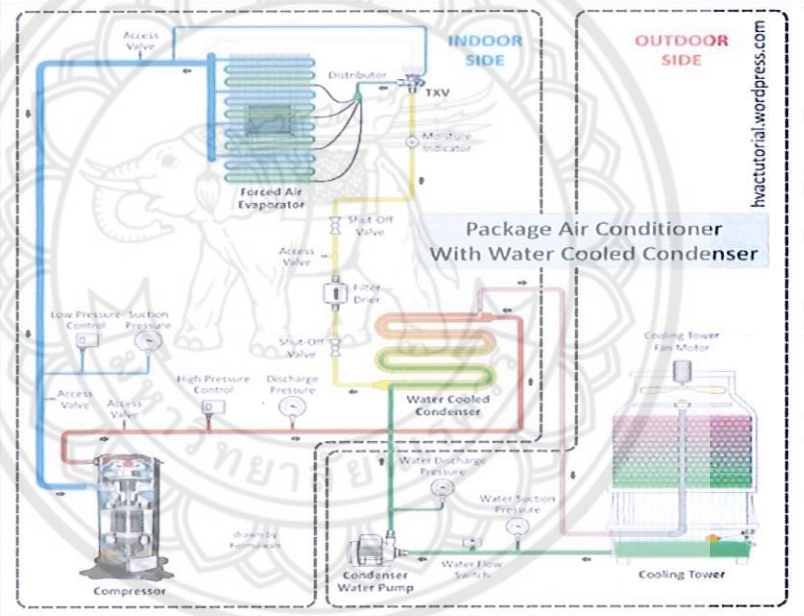
หลักการทำงานมีลักษณะตามหลักของเครื่องทำความเย็น โดยการนำเอาความร้อนของอากาศภายในห้องถ่ายเทไปสู่อากาศด้านนอกโดยอาศัยตัวกลางคือ สารทำความเย็นหรือที่เรียกกันว่า น้ำยาแอร์ การทำงานเริ่มจากเครื่องอัดไอทำการเพิ่มความดันให้กับสารทำความเย็นจนเปลี่ยนเฟสกลายเป็นไอมีอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น จากนั้นส่งไปยังส่วนควบแน่นเพื่อลดอุณหภูมิและเปลี่ยนเฟสกลับมาเป็นของเหลว สารทำความเย็นความดันสูงที่ถูกลดอุณหภูมิแล้วจะถูกส่งต่อไปยังวาล์วลดความดัน เพื่อลดความดันก่อนส่งไปยังส่วนทำระเหยที่แฟนคอยย์ยูนิต แฟนคอยยูนิตจะดูดอากาศในห้องเป่าผ่านส่วนทำระเหยได้ลมเย็นออกมา



รูปที่ 2.7 Diagram Split-Type

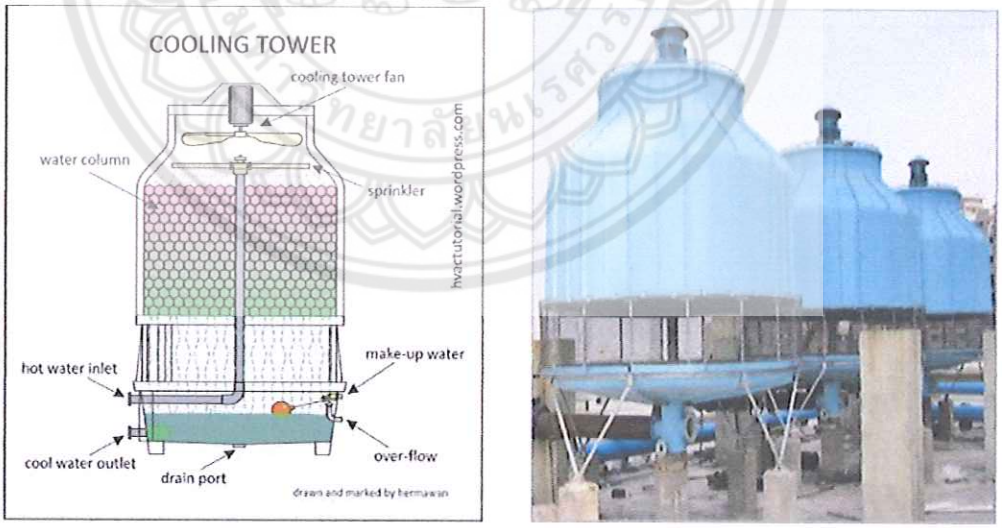
2.2.3 ระบบปรับอากาศแบบชุดหรือแพ็คเกจ (Packaged Unit System)

1.) ระบบ (Packaged Water-cooled)[5] ลักษณะโดยทั่วไปจะคล้ายกับ (Packaged Air Cooled Air – conditioner) แต่ใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าระบบโดยทั่วไปจะกินไฟทั้งระบบประมาณ 1.2 กิโลวัตต์/ตัน และเหมาะกับกรณีที่ไม่สามารถจัดหาสถานที่ตั้งเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยอากาศได้โดยที่เครื่องปรับอากาศแต่ละเครื่องสามารถเปิด-ปิดได้อิสระแต่จะมีข้อจำกัดมากกว่าเครื่องแบบ Air-cooled ตรงที่ต้องมีการดูแลการเปิดปิดหอระบายความร้อน



รูปที่ 2.8 วัฏจักรการทำงานของระบบ Packaged Water-cooled[6]

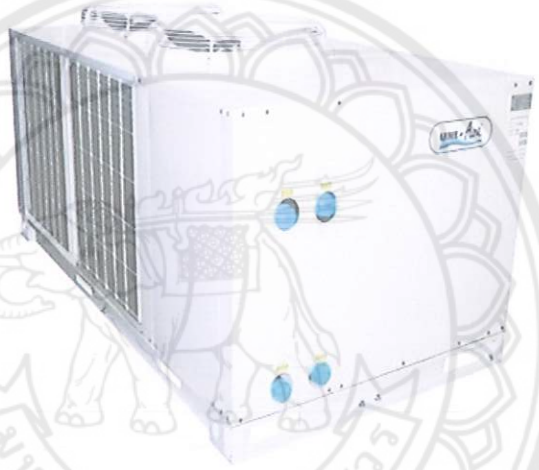
โดยระบบนี้จะมีการนำน้ำนี้ไปทำให้เย็นลง แล้วนำกลับมาใช้ใหม่เพื่อเป็นการลดค่าใช่จ่ายและทรัพยากร อุปกรณ์ที่ใช้ทำให้น้ำระบายความร้อนนี้เรียกว่า หอระบายความร้อน (Cooling Tower) และน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนเรียกว่าคอนเดนเซอร์วอล์เตอร์หลักการทำงานของหอระบายความร้อน อาศัยหลักการระเหยของน้ำที่จะทำให้น้ำเย็นลงโดยการนำน้ำที่ร้อนหลักจากผ่านคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะมีอุณหภูมิประมาณ 38 องศาเซลเซียสมาฉีดเพื่อให้สวนทางกับลมที่เกิดจากแรงดูดพัดลมของหอระบายความร้อน การระบายความร้อนด้วยน้ำมีประสิทธิภาพสูงกว่าการระบายความร้อนด้วยอากาศ เนื่องจากอุณหภูมิของน้ำที่ต่ำกว่าอากาศและการถ่ายเทความร้อนผ่านน้ำจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการถ่ายเทผ่านอากาศ การใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำทำให้ต้องมีระบบท่อน้ำระบายความร้อน (Condenser Water System) เพิ่มขึ้นอีก 1 ระบบต้องใช้น้ำมากขึ้น และยังต้องการดูแลระบบเพิ่มขึ้นเพราะน้ำจะแห้งไม่ได้ ต้องเติมสารเคมี เพื่อป้องกันการเกิดตะกรัน และตะไคร่น้ำ และต้องรักษาทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ และหอระบายความร้อนด้วยนอกจากนี้ ขนาดถังน้ำสำรองใต้ดินก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้นอีกเท่าตัวเพื่อสำรองน้ำใช้ในการเติมหอระบายความร้อน



รูปที่ 2.9 หอระบายความร้อน [6]

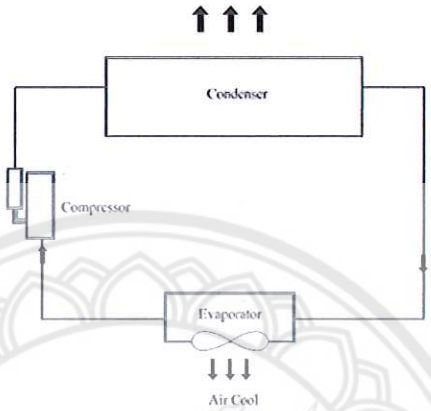
2.) ระบบ (packaged air cooled unit system)[5] เป็นระบบ

ปรับอากาศที่ไม่ต่างจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีขนาดที่ไม่ใหญ่นักโดยปกติขนาดทำความเย็นไม่เกิน 30 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดในการติดตั้ง เช่น ในอาคารสำนักงานขนาดเล็กคอนโดมิเนียม เนื่องจากติดตั้งง่ายประสิทธิภาพสำหรับเครื่องปรับอากาศของระบบนี้อยู่ที่ 1.4-1.6 กิโลวัตต์/ตัน

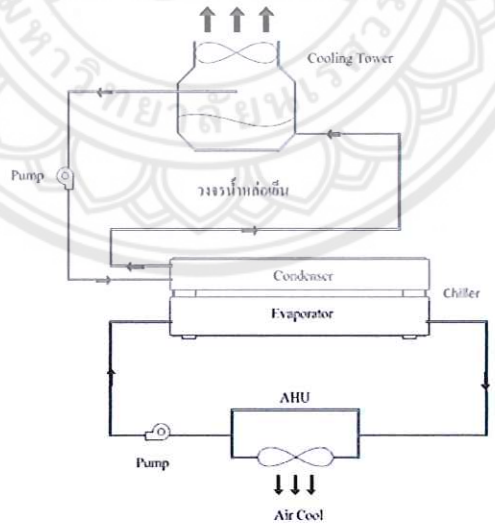


รูปที่ 2.10 ระบบปรับอากาศแบบ Packaged air cooled unit system[4]

ส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศระบบนี้ประกอบไปด้วยแผงคอยล์เย็น คอยล์ร้อนและเครื่องอัดสารทำความเย็นทั้งหมดนี้จะถูกรวมไว้ในชุดเครื่องเดียวกันโดยมีท่อส่งลมเย็นและท่อส่งลมกลับ ซึ่งจะอยู่ภายในอาคารแล้วเชื่อมต่อเครื่องปรับอากาศที่อยู่ภายในนอกอาคาร ท่อส่งลมเย็นทำหน้าที่ส่งลมเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศที่ต้องการ ท่อลมกลับนำลมที่แลกเปลี่ยนอุณหภูมิกลับมายังแผงทำความเย็นอีกครั้ง นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ควบคุมปริมาณลมเย็น เพื่อปรับลมเย็นให้เหมาะสมกับภาระความเย็นในพื้นที่ปรับอากาศ



รูปที่ 2.11 Diagram Package Air Cool



รูปที่ 2.12 Diagram Package Water Cool

2.3 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ

ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศจะถูกคำนวณที่ภาระความร้อนสูงสุด (peak load) เช่น ค่า COP และ EER การนำภาระความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วง (part load) ไปเทียบเป็นร้อยละกับภาระความร้อนสูงสุดและนำไปคิดออกมาเป็นค่าเฉลี่ย ค่าประสิทธิภาพนี้เรียกว่า IEER หรือการคิดประสิทธิภาพตามชั่วโมงการทำงาน SEER การประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยการคำนวณค่าประสิทธิภาพต่างๆที่กล่าวมาในขั้นต้นมีดังนี้

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Performance, ChP)[7] เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพการทำความเย็น คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็นได้ต่อพลังงานที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า

2.3.1 ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น (ChP) = $\frac{\text{กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้า (กิโลวัต)}}{\text{อัตราการทำความเย็นต้น}}$ (2.1)

โดยที่

TON = ความสามารถในการทำความเย็นที่ภาระเต็มพิกัด มีหน่วยวัดเป็นตันความเย็น หาได้จาก

$$TON = \frac{(F \times (T_{in} - T_{out})}{50.4} \quad (2.2)$$

F = ปริมาณน้ำเย็นที่ไหลผ่านส่วนทำน้ำเย็น มีหน่วยวัดเป็นลิตรต่อนาที

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

KW = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของส่วนทำน้ำเย็น หน่วยกิโลวัตต์

2.3.2 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Ratio, EER)[8] หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ คือค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศว่าดีหรือไม่มีหน่วยเป็น (Btu/ hr) / W

$$EER = \frac{\dot{Q}_L}{E_{comp}} \tag{2.3}$$

โดยที่ $\dot{Q}_L$ = อัตราการทำความเย็น, KW

E_{comp} = ความต้องการไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ, KW

2.3.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP)

$$COP = \frac{EER}{3.412} \tag{2.4}$$

ค่า COP สูงแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีของระบบปรับอากาศ

2.4 การคำนวณหาภาระการทำความเย็น

2.4.1 วิธี *CLTD* [16]

1.) ความร้อนถ่ายเทจากผนังด้านนอก

$$Q = U' \; A' \; CLTD_C \tag{2.5}$$

และสามารถคำนวณค่าความร้อน $CLTD_C$ ได้จาก

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

โดยที่ Q = ภาระการทำความเย็นจากผนัง $[BTU/hr]$

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

A = 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 $[{}^oF]$

$$t_a = t_o - \frac{DB}{2} \tag{2.7}$$

t_o = Outside design dry bulb temperature $[{}^oF]$

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

K = Color adjustment factor

2.) การถ่ายเทความร้อนจากหลังคา

การคำนวณภาระการทำความเย็นของการถ่ายเทความร้อนจากหลังคา ใช้สมการที่คล้ายกับการหาภาระการทำความเย็นจากความร้อนถ่ายเทจากผนังด้านนอก แต่เปลี่ยนตารางในการนำค่ามาคำนวณ

$$Q = U \times A \times CLTD_c \tag{2.8}$$

และสามารถคำนวณค่า $CLTD_c$ ได้จากสมการ

$$CLTD_c = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_a - 85) \tag{2.9}$$

โดยที่ 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 $[{}^oF]$

3.) ความร้อนจาการแผ่รังสีความร้อน

$$Q = A \times SC \times SHGF \times CLF \tag{2.10}$$

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

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดหน้าต่าง

CLF = Cooling load factor ค่าตัวแปรภาระการทำความเย็นของกระจกซึ่งสัมพันธ์และแปรผันกับทิศทางของกระจกและดวงอาทิตย์ ลักษณะและรูปแบบโครงสร้างของกระจก และเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

4.) ความร้อนผ่านผนังภายใน ฝ้าเพดาน และพื้น

$$Q = U \times A \times \Delta T \tag{2.11}$$

DT = design temperature difference, unconditioned area to room, partition,ceiling, floor [$^{\circ}F$] ในกรณีไม่ทราบค่า หากอีกด้านไม่มีการปรับอากาศอาจสมมุติให้มีค่า 5 $^{\circ}F$

5.) ความร้อนจากแสงสว่าง[15]

$$Q = U \times A \times CLTD_c \tag{2.12}$$

โดยที่ Q = ปริมาณความร้อนจากแสงสว่าง [BTU/hr]

W = ค่าความจุความร้อนของแสงสว่าง [W]

BF = ballast factor (BF = 1.25 สำหรับหลอดไฟฟลูออเรสเซนท์, BF =1สำหรับหลอดไส้)

CLF = ค่าตัวแปรภาระความเย็นของไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งสัมพันธ์กับเวลาในการเปิดไฟฟ้าระยะเวลาในการใช้งานประสิทธิภาพของไฟฟ้าแสงสว่างและชนิดของไฟฟ้าแสงสว่าง (โดยปกติจะใช้ CLF = 1)

6.) ความร้อนจากคน

$$Q_{sensible} = n \times Q_s \times CLF \quad (2.13)$$

$$Q_{latent} = n \times Q_l \quad (2.14)$$

โดยที่ n = จำนวนคนที่อยู่ในพื้นที่

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

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

CLF = ตัวแปรภาระความเย็นของ คนซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ใช้เครื่องปรับอากาศและช่วงเวลาที่ คนเข้าไปในพื้นที่การทำความเย็น CLF = 1 เมื่อเครื่องปรับอากาศถูกปิดในเวลากลางคืน

7.) ความร้อนจากเครื่องมือและอุปกรณ์

$$Q_{sensible} = Q_l \quad (2.15)$$

$$Q_{latent} = Q_s \quad (2.16)$$

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

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

8.) ความร้อนจากอากาศรั่ว

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times TC \tag{2.17}$$

$$Q_l = 4840 \times CFM \times (w_o - w_i) \tag{2.18}$$

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

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

CFM = ปริมาณของอากาศที่แทรกซึมเข้าห้อง

TC = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่แทรกเข้ามากับอุณหภูมิห้อง $[^\circ F]$

$w_o - w_i$ = ความแตกต่างระหว่างค่าความชื้นจำเพาะของอากาศที่แทรกซึมเข้ามากับความชื้นจำเพาะของอากาศในห้อง lb/lb_{da}

9.) ความร้อนจากการระบายอากาศ

$$Q_s = 1.1 \times CFM \times TC \tag{2.19}$$

$$Q_l = 4840 \times CFM \times (w_o - w_i) \tag{2.20}$$

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

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

CFM = ปริมาณของอากาศที่แทรกซึมเข้าห้อง

TC = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่แทรกเข้ามากับอุณหภูมิห้อง $[^\circ F]$

$w_o - w_i$ = ความแตกต่างระหว่างค่าความชื้นจำเพาะของอากาศที่แทรกซึมเข้ามากับความชื้นจำเพาะของอากาศในห้อง lb/lb_{da}

2.4.2 วิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นโดย (Cooling load Estimation)
วิธีนี้จะเป็นการคำนวณภาระการทำความเย็นโดยประมาณแบบง่ายๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้กันเพราะสะดวกและรวดเร็วต่อการคำนวณ โดยหลักการคำนวณมีดังนี้

$$BTU = \text{พื้นที่ห้อง (กว้าง x ยาว) x Cooling load Estimation} \quad (2.21)$$

โดยที่ Cooling load Estimation = 800 สำหรับห้องที่สัมผัสแสงแดด
Cooling load Estimation = 600 สำหรับห้องที่ไม่สัมผัสแสงแดด

หมายเหตุ : ค่า Cooling load Estimation สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะส**มของสถานที่จริง**

i.6873997

2.4.3 วิธีคำนวณจากตารางคู่มือวิศวกรเครื่องกล

ตารางที่ 2.1 แสดงการคำนวณหาภาระทำความเย็นจากตารางคู่มือวิศวกรเครื่องกล

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.***

2.5 มาตรฐานของระบบปรับอากาศ

กฎกระทรวง (2538)[7]

ออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

ตารางที่ 2.2 เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ

ชนิดส่วนทำความเย็น/เครื่องทำความเย็น	อาคารใหม่	อาคารเก่า
	(กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)	
ก. ส่วนทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง(centrifugal chiller)		
ขนาดไม่เกิน 250 ตันความเย็น	0.75	0.90
ขนาดเกินกว่า 250 ถึง 500 ตันความเย็น	0.70	0.84
ขนาดเกินกว่า 500 ตันความเย็น	0.67	0.80
ข. ส่วนทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (reciprocating chiller)		
ขนาดไม่เกิน 75 ตันความเย็น	0.98	1.18
ขนาดเกินกว่า 75 ตันความเย็น	0.91	1.10
ค. เครื่องทำความเย็นแบบชุด (package unit)	0.88	1.06
ง. ส่วนทำน้ำเย็นแบบสกรู (screw chiller)	0.70	0.84

ตารางที่ 2.3 เครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ

ชนิดส่วนทำความเย็น/เครื่องทำความเย็น	อาคารใหม่	อาคารเก่า
	(กิโลวัตต์ต่อตันความเย็น)	
ก. ส่วนทำน้ำเย็นแบบหอยโข่ง(centrifugal chiller)		
ขนาดไม่เกิน 250 ตันความเย็น	1.40	1.61
ขนาดเกินกว่า 250	1.20	1.38
ข. ส่วนทำน้ำเย็นแบบลูกสูบ (reciprocating chiller)		
ขนาดไม่เกิน 50 ตันความเย็น	1.30	1.50
ขนาดเกินกว่า 50 ตันความเย็น	1.25	1.44
ค. เครื่องทำความเย็นแบบชุด (package unit)	1.37	1.58
ง. เครื่องทำความเย็นแบบติดหน้าต่าง/แยกส่วน (window/split type)	1.40	1.61

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก

ประเภทและขนาด	ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ	
	(EER) BTU/h/W	kW/RT
ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (ระบบแยกส่วนและแบบเป็นชุด)		
น้อยกว่า 3500 วัตต์ (0.995 ตันความเย็น)	9.62	1.25
ตั้งแต่ 3500 วัตต์ ไม่เกิน 17600 วัตต์ (5 ตันความเย็น)	9.62	1.25
เกินกว่า 17600 วัตต์ (5 ตันความเย็น)	8.74	1.37
ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (ทุกขนาดทำความเย็น)	13.62	0.88

หมายเหตุ : ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการคำนวณค่า EER ให้คิดจากผลรวมกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ทุกชนิดที่ประกอบในเครื่องปรับอากาศ เช่น พัดลมระบายความร้อน พัดลมส่งลมเย็น

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำของเครื่องทำน้ำเย็น

ประเภทและขนาด	ค่าประสิทธิภาพขั้นต่ำ	
	COP	kW/RT
ชนิดใช้ไฟฟ้า ระบายความร้อนด้วยอากาศ		
- น้อยกว่าหรือเท่ากับ 351.7 กิโลวัตต์ (100 ตันความเย็น)	2.70	1.30
- เกินกว่า 351.7 วัตต์ (100 ตันความเย็น)	2.93	1.20
ชนิดใช้ไฟฟ้า ระบายความร้อนด้วยน้ำ		
- น้อยกว่า 527.5 กิโลวัตต์ (150 ตันความเย็น)	3.91	0.90
- ตั้งแต่ 527.5 กิโลวัตต์ แต่ไม่เกิน 703.3 กิโลวัตต์ (200 ตันความเย็น)	4.69	0.75
- ตั้งแต่ 703.3 กิโลวัตต์ แต่ไม่เกิน 879.2 กิโลวัตต์ (250 ตันความเย็น)	5.25	0.67
- ตั้งแต่ 879.2 กิโลวัตต์ แต่ไม่เกิน 1758.3 กิโลวัตต์ (500 ตันความเย็น)	5.40	0.65
- เกินกว่า 1758.3 วัตต์ (500 ตันความเย็น)	5.67	0.62
ชนิดดูดซึม (Absorption) ระบายความร้อนด้วยน้ำ		
- Single Effect (ทุกขนาดทำความเย็น)	0.70	
- Double Effect (ทุกขนาดทำความเย็น)	1.20	

หมายเหตุ : สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้วงจรอัดไอ ค่ากำลังไฟฟ้า Input ที่ใช้ในการคำนวณค่า COP ให้คิดจากกำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ และสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดดูดซึม ค่าพลังงานด้าน Input ที่ใช้ในการคำนวณค่า COP ให้คิดจากพลังงานความร้อนที่จ่ายให้กับเครื่องทำน้ำเย็น

ตารางที่ 2.6 สภาวะมาตรฐานสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพ

สภาวะ	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิอากาศภายนอก	35
อุณหภูมิกระเปาะแห้งลมเข้าคอยล์เย็น	26.7
อุณหภูมิกระเปาะเปียกลมเข้าคอยล์เย็น	19.4
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนด้านเข้า	32.2
อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนด้านออก	37.8
อุณหภูมิน้ำเย็นด้านเข้า	12.8
อุณหภูมิน้ำเย็นด้านออก	7.2

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท[10]

ลักษณะการเปรียบเทียบ	Chillier System Air Cooled	Chillier System Water Cooled	Split Type System	Air Cooled Package System	Water Cooled Package System	VRV System
1. อุปกรณ์และการใช้พื้นที่	- ต้องมีพื้นที่วาง Water FCU หรือ AHU โดยสามารถกระจาย ไปเป็นจุดย่อยๆหรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่องก็ได้ - ต้องมีพื้นที่วาง Chiller	- ต้องมีพื้นที่วาง Water FCU หรือ AHUโดยสามารถกระจาย ไปเป็นจุดย่อยๆ หรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่องก็ได้ - ต้องมีพื้นที่วาง Chiller - ต้องมีที่ตั้ง Cooling Tower และ ปั๊มน้ำ	- ต้องมีพื้นที่วาง FCU โดยสามารถกระจายไปเป็นจุดย่อยๆ ได้	- ต้องมีพื้นที่วาง CDU+AHU มาก - พื้นที่ตั้งเครื่องต้องสามารถระบายอากาศออกสู่ภายนอกได้	- ต้องมีพื้นที่วาง CDU+AHU มาก ต้องมีพื้นที่วาง Cooling Tower	- ต้องมีพื้นที่วาง FCU โดยสามารถกระจาย FCU ไปเป็นจุดย่อยๆ หรืออาจต่อเป็นท่อลมจากเครื่องก็ได้ - ต้องมีพื้นที่วาง CDU รวมเป็นจุดใหญ่จุดเดียวหรือแบ่งเป็น Zone
2. การแบ่งช่วงการติดตั้งระบบ	- ต้องติดตั้งระบบทั้งหมดในครั้งเดียว	- ต้องติดตั้งระบบทั้งหมดในครั้งเดียว	- สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆ ได้ ตามการเปิดใช้งานของอาคาร	- สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆ ได้ ตามการเปิดใช้งานของอาคาร	- ต้องติดตั้งระบบน้ำหล่อเย็นทั้งหมดในครั้งเดียว	- สามารถแบ่งการติดตั้งระบบเป็นส่วนๆได้ ตามการเปิดใช้งานของอาคาร

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท (ต่อ)

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

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท (ต่อ)

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

ตารางที่ 2.7 แสดงลักษณะการเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละประเภท (ต่อ)

ลักษณะการเปรียบเทียบ	Chillier System Air Cooled	Chillier System Water Cooled	Split Type System	Air Cooled Package System	Water Cooled Package System	VRV System
7. พื้นที่เหมาะสมกับการใช้งาน	- เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศที่ขนาดใหญ่	- เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศที่ขนาดใหญ่	- เหมาะสำหรับการทำความเย็นในอาคารหรือสำนักงานขนาดเล็ก	- เหมาะสมกับการใช้งานทั่วไปตามสำนักงานคอนโดมิเนียม - ใช้กับอาคารสูงที่แบ่งพื้นที่ให้เช่าเป็นส่วน ห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่	- เหมาะกับศูนย์การค้าขนาดกลาง - มักใช้กับอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ที่แบ่งพื้นที่ขายหรือให้เช่าออกเป็นส่วน ๆ	- เหมาะสำหรับการทำความเย็นในอาคารหรือสำนักงานขนาดเล็ก - เหมาะสำหรับหรับอาคารสำนักงาน ที่มีความต้องการ การปรับอากาศในแต่ละพื้นที่ต่างกัน
8. การใช้งานและบำรุงรักษา	- ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ ตรวจสอบและดูแลทุกวัน	- ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ ตรวจสอบและดูแลทุกวัน	- ใช้ช่างทั่วๆไปในการ ซ่อมบำรุง	- ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ	- ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญ	- ใช้ช่างเทคนิคที่มีความรู้ โดยเฉพาะ

2.6 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

เป้าหมายในการวิเคราะห์โครงการลงทุนคือ วิเคราะห์เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปในการเลือกลงทุนในโครงการต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยหลักการพื้นฐานต่างๆ ดังนี้

2.6.1ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period หรือ PB)[9] หมายถึง ระยะเวลาที่การลงทุนนั้นใช้ไปในการลงทุน เพื่อให้กระแสเงินสดรับสุทธิที่ได้จากการลงทุนคุ้มกับต้นทุนที่ที่จ่ายไป

วิธีการคิดระยะเวลาคืนทุน คำนวณได้โดยการหากระแสเงินสดสะสมสุทธิในแต่ละงวดเวลาจนกระทั่งกระแสเงินสดสะสมสุทธิเป็นบวก

$$PB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{เงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{กระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \qquad (2.22)$$

2.6.2 ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted Payback Period หรือ DPB) หมายถึงการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของโครงการ ที่ทำโดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่า เมื่อมีการลงทุนในโครงการแล้วจะใช้ระยะเวลาในการลงทุนกี่งวดเวลาในการคืนทุน

$$DPB = \text{จำนวนงวดก่อนคืนทุน} + \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของเงินส่วนที่ยังไม่ได้คืนทุน}}{\text{มูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในปีที่คืนทุน}} \qquad (2.23)$$

2.6.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value หรือ NPV)[9]

เป็นวิธีการหามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิของโครงลงทุนในแต่ละปี ซึ่งเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้าลบด้วยมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดออก สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังนี้

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^{T} \frac{C_i}{(1+r)^i} \tag{2.24}$$

โดยที่ NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

C_o = เงินลงทุนเริ่มต้น

C_i = กระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา

T = ช่วงอายุของโครงการในการลงทุน

2.6.4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return หรือ IRR) คือ **ผลตอบแทนที่ทำให้**ค่า NVP ของโครงการลงทุนนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ (IRR) ของ**การลงทุนคืออัตราผลตอบ**แทนที่ทำให้เงินที่ลงทุนไปนั้น มีค่าเท่ากับเงินที่ได้รับกลับคืน บางครั้ง**อาจเรียก** IRR ว่า**ผลตอบ**แทนจากการคิดลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow Return)

$$NPV = 0 + \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \tag{2.25}$$

$$NPV = 0 = CF_0 + \frac{CF_1}{(1+IRR)^1} + \frac{CF_2}{(1+IRR)^2} + \ldots\ldots + \frac{CF_n}{(1+IRR)^n} \tag{2.26}$$

โดยที่ IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน

NPV = มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

CF_t = กระแสเงินสดที่คาดหวัง ณ ช่วงเวลา t

n = ช่วงอายุของโครงการลงทุน

r = ต้นทุนของเงินทุน

2.7 ขั้นตอนการออกแบบเครื่องปรับอากาศ[11]

2.7.1 โปรแกรมการออกแบบ (Program Phase)

ก่อนที่ผู้ออกแบบจะทำการออกแบบได้นั้น ต้องได้รับการออกแบบข้อกำหนดจากเจ้าของโครงการหรือที่ปรึกษาเสียก่อนโดยในข้อกำหนดจะบอกถึงสิ่งต่างๆเหล่านี้

- งบประมาณในการลงทุน และงบประมาณในการดำเนินดานในการสร้าอาคาร
- ภูมิศาสตร์ ที่ตั้งของอาคาร และการเดินทางเข้าถึงอาคาร
- ลักษณะความสูง พื้นที่ จำนวนชั้นของอาคาร วัสดุที่ใช้ทำหลังคาและผนัง
- หน้าที่การใช้งานของอาคาร
- Drawing การออกแบบอาคารจากสถาปนิก

2.7.2 แผนการออกแบบ (Schematic Design)

ขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบอาจต้องใช้ประสบการณ์ทำงานที่เคยทำงานมาก่อน เพื่อวิเคราะห์คำนวณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละแบบ โดยหลักสำคัญของขั้นตอนนี้คือการพิจารณาการเลือกเครื่องปรับอากาศมาติดตั้งในอาคาร ซึ่งนอกจากประสบการณ์แล้วผู้ออกแบบต้องมีปัจจัยในการพิจารณาดังนี้

- ขนาดพื้นที่ในการติดตั้งระบบปรับอากาศ และอุปกรณ์ต่างๆ
- งบประมาณที่ใช้ในการติดตั้ง
- งบประมาณที่ใช้ในการวางระบบ
- ความดังเสียงและความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น
- ความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วของอากาศและความชื้น
- ความเข้ากันได้ระหว่างพื้นที่ของระบบโครงสร้างกับอาคาร
- การอนุรักษ์พลังงาน

2.7.3 การออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการประสานงานกันระหว่างสถาปนิก, วิศวกรเครื่องกล วิศวกรไฟฟ้าและวิศวกรโครงสร้าง ที่ปรึกษาด้านเสียง เพื่อปรึกษากันในเรื่องงานระบบปรับอากาศ งานสถาปัตยกรรม งานระบบโครงสร้าง เป็นต้น ในช่วงนี้จะนำกฎหมายและข้อบังคับต่างมาพิจารณา เช่น กฎกระทรวง ฉบับที่ 33 หรือ 39 ตาม พ.ร.บ. พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน , กำหนดกำลังไฟฟ้าและแสงสว่างต่อพื้นที่การใช้งาน *w/sq.m* เป็นต้น

2.7.4 การออกแบบขั้นสุดท้าย (Final Design)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่กำหนด ชนิด ขนาด รุ่น และระบบควบคุมของระบบปรับอากาศโดยละเอียด

2.7.5 หน้าที่ระหว่างการออกแบบ (Postdesign Phase)

หน้าที่ของผู้ออกแบบในขั้นตอนนี้ ผู้ออกแบบจะต้องตรวจแบบก่อสร้างและข้อกำหนดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ร่วมทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ อุณหภูมิ ระบบควบคุม

2.7.6 ขั้นตอนการทดสอบ (Commissioning Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบและปรับแต่งข้อบกพร่องต่างๆของระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้

2.8 วรรณกรรมปริทรรศน์

H.Yang[12]และคณะ ได้ทำเปรียบเทียบข้อแตกต่างของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน กับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในประเทศฮ่องกง พบว่าอาคารพาณิชย์ส่วนใหญ่ในประเทศฮ่องกงติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมากกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ด้วยเหตุผลหลักสองประการคือ

- การลดการลงทุนเริ่มต้นโดยการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีราคาไม่แพงมากนักและการใช้พลังงานในแต่ละเครื่องสามารถวัดได้อย่างง่ายดาย

- การใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบ แยกส่วนสามารถกระตุ้นให้ผู้อยู่อาศัยใช้พลังงานน้อยลงและช่วยประหยัดเงินลงได้

อย่างไรก็ตามเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแต่ละเครื่องก็มีประสิทธิภาพที่น้อยกว่า ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการดำเนินงานสำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมักจะสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ดังนั้น H.Yang และคณะ จึงเปรียบเทียบกันของทั้งสองระบบในอาคารสูงในแง่ของค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อการดำเนินการเริ่มต้นและปัจจัยอื่นๆ โดยอาคารนี้มีพื้นที่ 57,000 ft^2 ดังนี้.

-ราคาเริ่มต้นต่อพื้นที่ระบายความร้อนสำหรับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เท่ากับ 502 เหรียญฮ่องกง และ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เท่ากับ 198 เหรียนญฮ่องกง ในอาคารหลังนี้ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นต่อพื้นที่ระบายความร้อนในการติดตั้ง ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีราคาสูงมาก ส่วนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน แม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่ต่ำแต่ก็มีคุณภาพในการปรับอากาศที่ไม่ดีเนื่องจากมีความแกว่งของอุณหภูมิที่สูง

-การบริหารและประหยัดพลังงานในโรงพยาบาลโดย Sonali Suhane & Ruchi Pandey [13] การตรวจสอบอุณหภูมิ ไฟฟ้าต่างๆ พิจารณาทางด้านสาธารณูปโภคในโรงพยาบาลและการส่งไฟฟ้าระบบปรับอากาศ ปั๊มและอื่นๆ คำนวณตามพื้นฐานของประสิทธิภาพในการติดตั้งอุปกรณ์ในโรงพยาบาลโดยที่ภาระทำความเย็นสูงสุดของ ระบบปรับอากาศแบบหน้าต่างและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนคือ 159.5 kw และ 526.6 kw

การใช้พลังงานไฟฟ้ากลายเป็นปัญหาสำคัญสำหรับเอกชนเช่นเดียวกับรัฐบาล บริษัทไฟฟ้าในประเทศซาอุดิอาระเบียต้องเผชิญกับเวลาที่ยากเย็นกับการประชุมความต้องใช่ไฟฟ้าที่มากขึ้น Hani Hussain[14] ได้มีการตรวจสอบลายละเอียดของการสร้างอาคารทั้งในเรื่องการใช้วัสดุในการสร้าง การใช้พลังงาน ภาระการทำความเย็นและแสง ได้มีการบันทึกอุณหภูมิและความชื้นสัมผัสหลายจุดในอาคาร ภาพความร้อนภายในโซนต่างๆสร้างถึงเพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับการกระจายอุณหภูมิและอากาศหรือความร้อนที่ไหลออกหรือเข้าสู่อาคาร พื้นฐานในการวิเคราะห์และตรวจสอบคำแนะนำบางอย่างที่แนะนำให้ลดการใช้ไฟฟ้าซึ่งทำได้ถึง 35.3% นอกจากนี้ประสิทธิภาพในหน่วย A/C ยังเพิ่มขึ้นจาก 31% ผลลัพธ์ที่ได้ยังเป็นประโยชน์องค์การศึกษาและการปฏิบัติงานการซ่อมบำรุงเพื่อการจัดไฟฟ้าและลดค่าใช้ไฟฟ้า

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เราได้ศึกษาทฤษฎีปรับอากาศและงานวิจัยซึ่งในที่นี้เราได้ศึกษาจากงานวิจัยของ H.Yang[12] ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในประเทศฮ่องกงซึ่งผลที่ออกมาคือราคาเริ่มต้นของระบบแบบแยกส่วนจะมีราคาต่ำกว่าระบบรวมศูนย์แต่ในขณะเดียวกันก็ให้คุณภาพในการปรับอากาศที่ต่ำกว่าระบบรวมศูนย์เนื่องจากมีการแกว่งของอุณหภูมิที่สูง

3.2 สำรวจอาคาร

เป็นการเดินสำรวจโดยจะแบ่งการสำรวจเป็นสามลักษณะคือสำรวจลักษณะของห้องแต่ละองค์ประกอบโดยรวมของตึก สำรวจจำนวนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการติดตั้งอยู่เดิมจากการสำรวจพบว่าตึกของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามี 49 ตัว ภาควิชาวิศวกรรมโยธา 43 ตัว และภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ 43 ตัวและยังได้สำรวจถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการปรับอากาศของคณะฯ หลังจากนั้นได้ทำการวาดแผนผังอาคารทั้งสามอาคารโดยวาดจากโปรแกรม Microsoft Visio เพื่อจะทราบขนาดของห้องและคำนวณหาภาระการทำความเย็นต่อไป

3.3 ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบเดิม

โดยการตรวจสอบประสิทธิภาพนั้นเราจะตรวจสอบจากค่า COP ของระบบและทำการหาค่าภาระการทำความเย็นของระบบโดยมีวิธีการหาค่าภาระการทำความเย็นทั้งสิ้น 3 วิธี คือ CLTD แบบต่อตารางเมตร และแบบตารางคู่มือวิศวกร

3.4 เก็บข้อมูลของระบบที่ใช้อยู่เดิม (แบบรวมศูนย์)

การเก็บข้อมูลนั้นจะทำการวัดความดันที่ทางเข้าและทางออกของคอมเพสเซอร์ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกของอีวาบโพเรเตอร์ และกำลังไฟที่ใช้ของระบบ โดยจะทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้นเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน ฤดูร้อน ฤดูหนาว ซึ่งแต่ละฤดูเราจะทำการเก็บสามช่วงเวลา เช้า กลางวัน และเย็น นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลในขณะที่เครื่องไม่มีการทำงานอีกด้วย เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบพลังงานที่ระบบใช้ในอาคาร

3.5 ตรวจสอบราคาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในท้องตลาดปัจจุบัน

เป็นการหาข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เราได้ทำการแบ่งขอบเขตของราคาตามขนาดภาระทำความเย็นและลักษณะระบบแบบ inverter ซึ่งระบบ inverter นั้นจะมีราคาที่สูงกว่าระบบธรรมดาเนื่องจากจะให้ค่า EER ที่สูงกว่าหรือประหยัดไฟฟ้ามากกว่าระบบธรรมดานั้นเอง ซึ่งเราได้เลือกทั้งหมด 5 ยี่ห้อได้แก่ Samsung ,Mitsubishi ,Trane ,Saijo denki และ Carrier

3.6 ประมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

หลังจากที่ทราบค่า EER ของเครื่องปรับอากาศแต่ละยี่ห้อที่ได้เลือกมานั้นได้ทำการ ประมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละยี่ห้อและเลือกขนาดภาระทำความเย็นให้เหมาะสม กับขนาดของห้องในคณะฯเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.7 วิเคราะห์และเปรียบเทียบระบบปรับอากาศ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาทฤษฎีและเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์แล้วนำข้อมูลต่างๆมาเปรียบเทียบทางด้านพลังงาน ด้านการใช้งาน และทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่เหมาะสมกับความต้องการการปรับอากาศของคณะวิศวกรรมศาสตร์

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

4.1 การสำรวจอาคาร

4.1.1 สภาพแวดล้อมโดยรวมของอาคาร

อาคารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรตั้งอยู่บนพื้นที่ในเขตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประกอบด้วยกลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ทั้งสิ้น 8 อาคาร คือ อาคารเรียนรวม อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ อาคารวิศวกรรมโยธา อาคารวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ และอาคารปฏิบัติการอีก 4 อาคารซึ่งในขอบเขตของโครงงานนี้ได้ทำการสำรวจอาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 4.1 อาคารวิศวกรรมโยธาแสดงดังรูปที่ 4.2 อาคารวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการแสดงดังรูปที่ 4.3 หลังจากการสำรวจอาคารพบว่า อาคารวิศวกรรมศาสตร์ตัวอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7 ชั้น วางตัวตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก เนื่องจากข้อมูลพื้นที่แผนผังอาคารที่มีอยู่เดิมไม่เพียงพอต่อการหาค่าภาระทำความเย็นจึงได้มีการสำรวจอาคารเพื่อหาขนาดพื้นที่ห้องจริงจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาเขียนแผนผังอาคารโดยใช้โปรแกรม Microsoft visio จากแผนผังอาคารพบว่าอาคารวิศวกรรมโยธาอาคารวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการมีการวางตัวของห้องภายในอาคารที่เหมือนกันโดยผังอาคารจะอยู่ในภาคผนวก แต่อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์มีการวางตัวของห้องที่แตกต่างกันแสดงในภาคผนวกหลังจากวาดแผนผังอาคารทำให้ทราบพื้นที่ทั้งหมดของอาคารและพื้นที่ที่ปรับอากาศของอาคารแสดงตามตารางที่ 4.1 จากการสำรวจพบว่าภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้องในแต่ละห้องมีความต้องการในการปรับอากาศไม่เท่ากัน และบางห้องของอาคารมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมไปบ้างแล้ว แสดงตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 พื้นที่ทั้งหมดของอาคารและพื้นที่ที่ปรับอากาศ

อาคาร	พื้นที่	
	พื้นที่ทั้งหมด(ตารางเมตร)	พื้นที่ที่มีการปรับอากาศ(ตารางเมตร)
อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ	8,316	4,078
อาคารวิศวกรรมโยธา	8,316	4,078
อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า	9,576	5,073

ตารางที่ 4.2 จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการติดตั้งอยู่เดิม

อาคาร	จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ	26
อาคารวิศวกรรมโยธา	43
อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า	49

4.1.2 ลักษณะการปรับของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ระบบปรับอากาศเป็นแบบรวมศูนย์โดยชิลเลอร์แสดงดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นระบบจ่ายน้ำเย็นจากเครื่องส่วนกลางไปยังห้องปรับอากาศโดยใช้แฟนคอล์ยยูนิตเป็นอุปกรณ์ปลายทางที่จะทำให้อากาศในห้องเย็น เครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ยี่ห้อTrane ขนาด 70 ตันความเย็น ซึ่งแต่ละอาคารมีชิลเลอร์อยู่อาคารละ 4 เครื่อง แบ่งเป็นฝั่งละ 2 เครื่อง มีลักษณะการวางตัวของชิลเลอร์ แสดงตามรูปที่ 4.15 โดยที่ชิลเลอร์แต่ละเครื่องจะมีอุปกรณ์ต่างๆทำงานในระบบ เช่น ปั๊ม วาล์ว เกจความดันและเกจอุณหภูมิ แสดงตามรูปที่ 4.16 โดยชิลเลอร์ 1 เครื่องมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5 กิโลวัตต์แสดงตามรูปที่ 4.7 ท่อน้ำเป็นท่อเหล็กกล้าหุ้มฉนวนโฟมโพลียูรีเทน และมีห้องควบคุมไฟฟ้าอยู่ภายในชั้น 1 ของแต่ละอาคาร จากการสำรวจเครื่องชิลเลอร์ใน ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว ทั้ง 3 เวลาพบว่าแต่ละอาคารเครื่องชิลเลอร์จะทำงานไม่ครบทุกเครื่องโดยจะทำงานอาคารละ 2 เครื่องจากทั้งหมด 4 เครื่องและจะสลับกันทำงานในแต่ละวัน ส่วนปัญหาที่พบภายในอาคารพบว่ามีการฉีกขาดของฉนวนความร้อนของท่อน้ำแสดงตามรูปที่ 4.9 และห้องที่ปรับอากาศบางห้องพบปัญหาการรั่วไหลของอากาศ โดยมีช่องเปิดขนาดใหญ่เนื่องจากผนังไม่ติดกันแสดงตามรูปที่ 4.10 ด้านบนฝ้าเพดานบางห้องมีลักษณะเปิดถึงกันได้ ซึ่งไม่มีผนังกั้นเพดานระหว่างห้อง ดังนั้นลมกลับจะดูดอากาศที่มีฝุ่นผงกลับเข้าไปในแฟนคอล์ยโดยตรง

4.1.3 ปัญหาในระบบปรับอากาศของคณะวิศวกรรมในปัจจุบัน

จากการตรวจสอบระบบปรับอากาศของคณะวิศวกรรมศาสตร์ นอกจากปัญหาของเครื่องชิลเลอร์ ปั๊ม และเครื่องส่งลมเย็นที่มีการใช้งานมานานกว่า 15 ปีแล้ว ได้พบปัญหาที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบปรับอากาศรวมถึงผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งานโดยสามารถแบ่งเป็นหัวข้อ ดังนี้

1 ปัญหาของระบบการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง

จากการตรวจสอบปัญหาการหมุนเวียนอากาศภายในห้อง โดยปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากการไม่มีระบบท่อลมกลับที่ดี ตามรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าไม่มีระบบท่อลมกลับ (Return air duct system) ทำให้อากาศจากส่วนอื่นที่อยู่บนฝ้าเพดานที่ไม่ได้มีการปรับอากาศถูกเพิ่มเข้ามาเป็นภาระในการปรับอากาศตลอดเวลาเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน รวมทั้งเป็นการแพร่กระจาย กลิ่นไม่พึงประสงค์และเชื้อโรคจากซากสัตว์ตายในฝ้าเพดาน ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่สำหรับระบบปรับอากาศภายในอาคาร ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้โดยการทำท่อลมกลับเข้ากับ AHU หรือทำผนังกั้นเป็นกล่องลมกลับโดยมีพื้นที่เฉพาะตัวเครื่องเพื่อกันปัญหาที่กล่าวข้างต้น และหากเปลี่ยนเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดผนังหรือ ใต้ฝ้าก็จะไม่มีปัญหาที่กล่าวมา

2 ปัญหาของอากาศรั่วระหว่างกระจก

เนื่องจากในอาคารส่วนที่เป็นรอยต่อของผนังหรือพื้นกับกระจกบางส่วนไม่มีการปิดให้สนิทตามรูปที่ 4.10 โดยปัญหาในส่วนนี้จะทำให้มีการสิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศมาก ควรจะทำการปิดช่องเหล่านี้ทั้งหมด ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาของอากาศรั่วไหลออกจากห้องปรับอากาศได้

3 วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นต้องซ่อมแซม

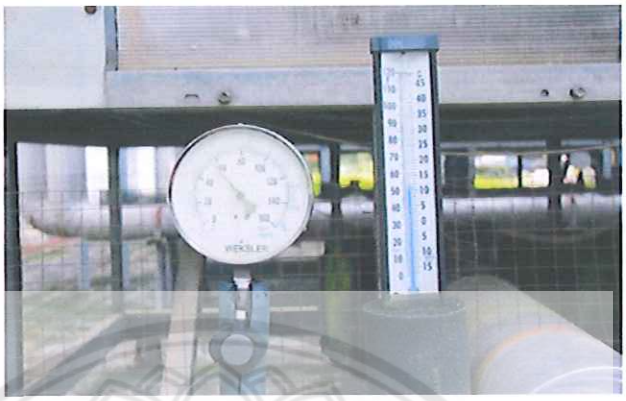
อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบปรับอากาศในอาคารที่ขาดการดูแลซ่อมแซม ท่อลมบางส่วนชำรุดนอกจากภายในอาคารแล้ว เรายังพบฉนวนของท่อน้ำภายนอกอาคารฉีกขาด ดังรูปที่ 4.9 ทำให้ความร้อนบริเวณนั้นส่งผ่านรอยรั่วเข้ามา ควรแก้ไขโดยการตรวจสอบอุปกรณ์โดยละเอียดและทำการซ่อมแซมท่อน้ำภายนอกอาคารอาจจะต้องมีการหุ้มฉนวนใหม่

รูปที่ 4.1 อาคารเรียนวิศวกรรมไฟฟ้า

รูปที่ 4.2 อาคารเรียนวิศวกรรมโยธา

รูปที่ 4.3 อาคารเรียนวิศวกรรมอุตสาหการ

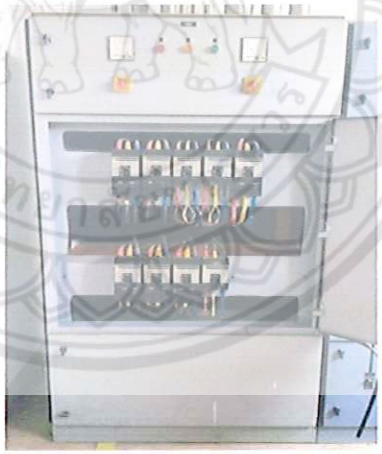
รูปที่ 4.4 เครื่องชิลเลอร์



รูปที่ 4.5 เกจวัดความดัน และวัดอุณหภูมิ

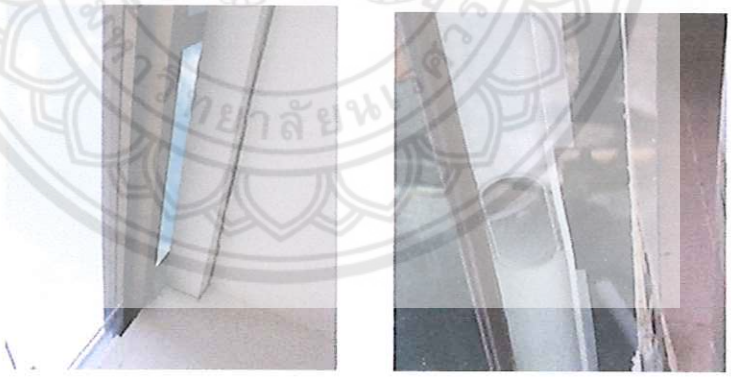
รูปที่ 4.6 แผงควบคุมไฟฟ้าของปั๊มน้ำ

รูปที่ 4.7 ชุดเครื่องสูบน้ำเย็นเข้าสู่อาคาร

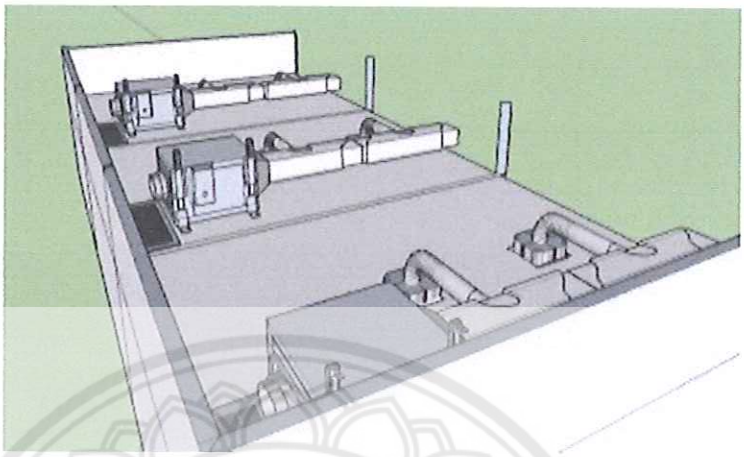


รูปที่ 4.8 ตู้ควบคุมไฟฟ้าเครื่องชิลเลอร์

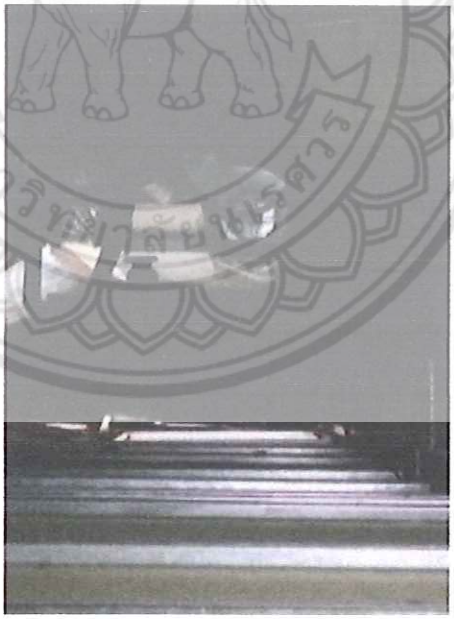
รูปที่ 4.9 ปัญหาการฉีกขาดของฉนวนหุ้มท่อน้ำ



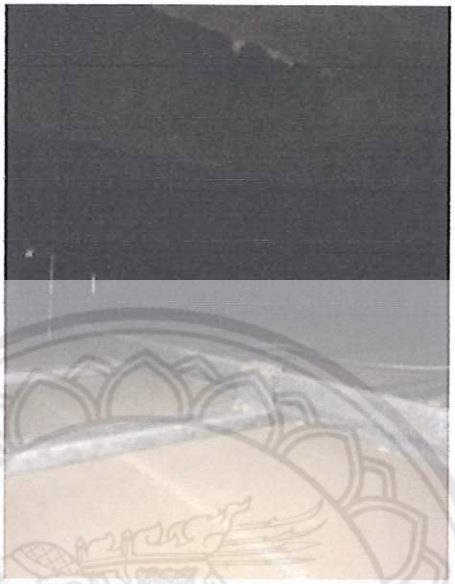
รูปที่ 4.10 ปัญหารอยรั่วอากาศระหว่างชั้น และ ระหว่างกระจก



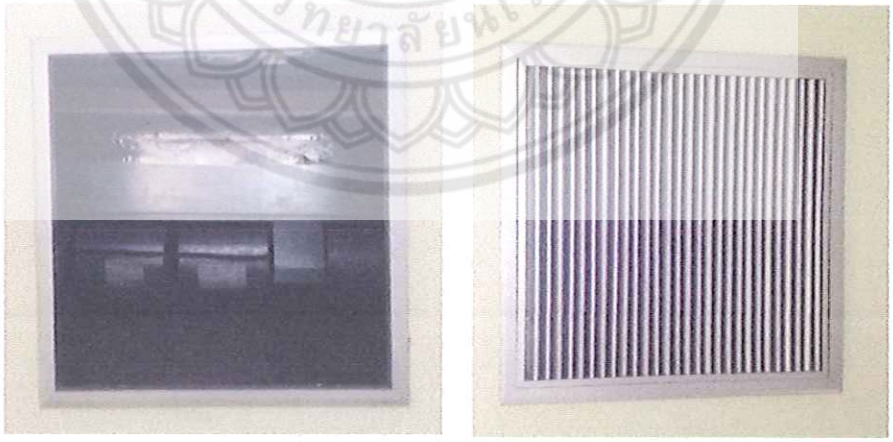
รูปที่ 4.11 ระบบปรับอากาศของอาคารที่ไม่มีท่อลมกลับ



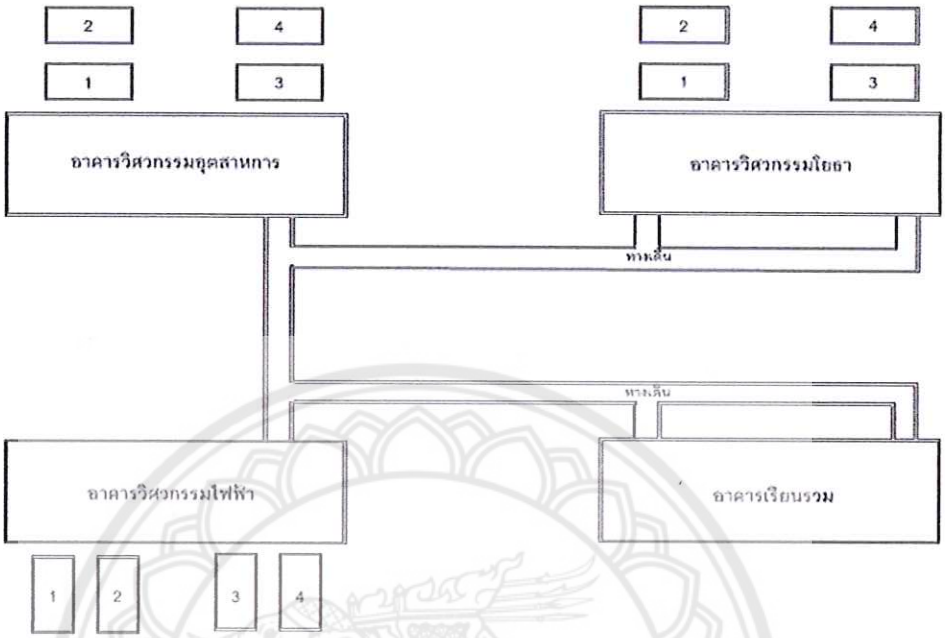
รูปที่ 4.12 พัดลมที่ไม่มีท่อลมกลับ



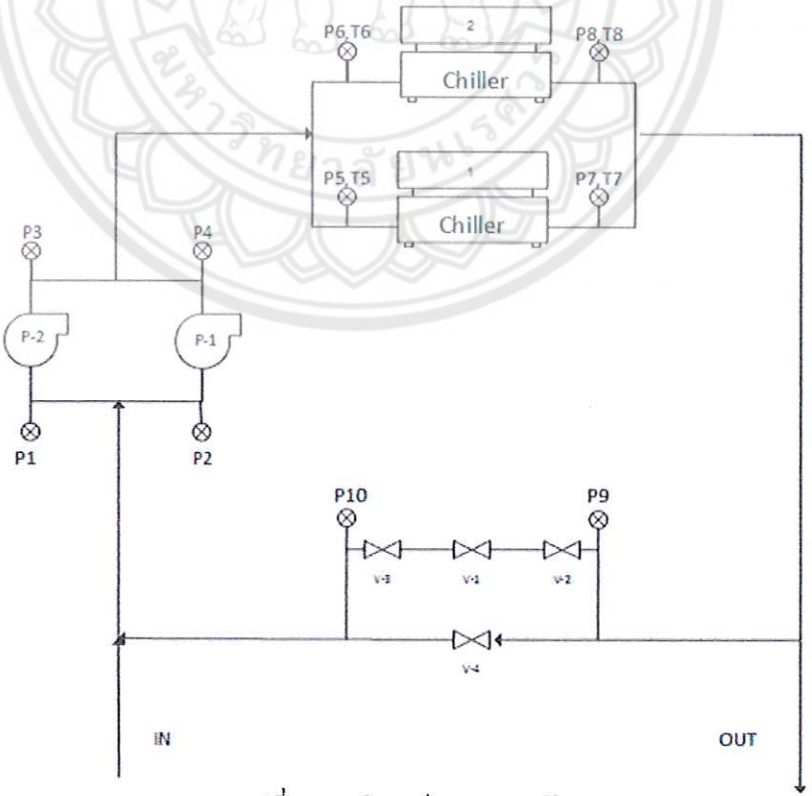
รูปที่ 4.13 ฝุ่นละอองที่อยู่ในฝ้าเพดาน



รูปที่ 4.14 ช่องลมกลับภายในอาคาร



รูปที่ 4.15 การเรียงตัวของเครื่องชิลเลอร์



รูปที่ 4.16 ตำแหน่งเกจความดัน

4.2 เก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ผล

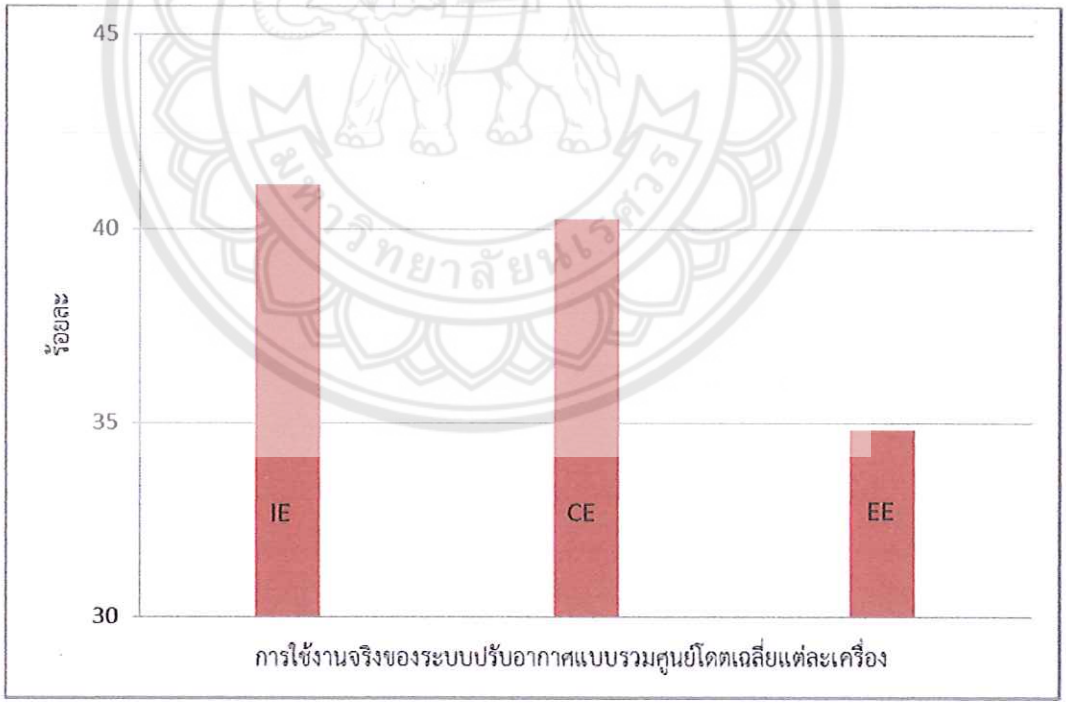
ในการเก็บข้อมูลเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 11 เมษายน 2557 – 17 ธันวาคม 2557 โดยข้อมูลที่เก็บจะเป็นข้อมูลทางด้าน ไฟฟ้า กำลังไฟ อุณหภูมิ ความดัน ของชิลเลอร์และปั๊มน้ำ ทำการเก็บข้อมูลวันละ 3 ครั้งในอาคารเรียน IE, CE, EE ที่เวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. ทั้งหมด 3 ฤดูกาลได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว และนำค่าแต่ละช่วงเวลามาเฉลี่ยกันเพื่อวิเคราะห์หาค่าภาระการทำความร้อน ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องชิลเลอร์ และค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องชิลเลอร์ใช้ ซึ่งจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

จากข้อมูลจะเห็นว่าทั้ง 3 ฤดูเครื่องชิลเลอร์จะทำงานไม่เต็มที่โดยจะทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 30 - 40 เปอร์เซ็นและจากการสำรวจอาคารในหัวข้อ 4.1 ที่เครื่องชิลเลอร์แต่ละอาคารทำงานเพียง 2 เครื่องจากทั้งหมด 4 เครื่องจะได้ว่าแต่ละอาคารชิลเลอร์ทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ตัวละ 20 - 30 ตันความเย็น ในขณะที่ความเย็นรวมของเครื่องในแต่ละอาคารอยู่ที่ 280 ตันความเย็นทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากห้องภายในอาคารอาคารมีการใช้งานที่ไม่พร้อมกันและมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในบางห้องเพิ่มเข้าไป

ดังนั้นการที่จะหาประสิทธิภาพของเครื่องชิลเลอร์เดิมเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะใช้ค่า EER จากค่า IPLV(INTEGRATED PART LOAD VALUE) เพราะแต่ละห้องมีการใช้งานที่ไม่พร้อมกันทำให้เครื่องชิลเลอร์ต้องปรับขนาดการทำความเย็นตามภาระการทำความเย็นรวมของอาคาร แต่ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสามารถใช้ค่า EER หาประสิทธิภาพได้เลยเพราะว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะทำงานเต็มกำลังในแต่ละครั้งที่มีการใช้งานการใช้งาน

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์

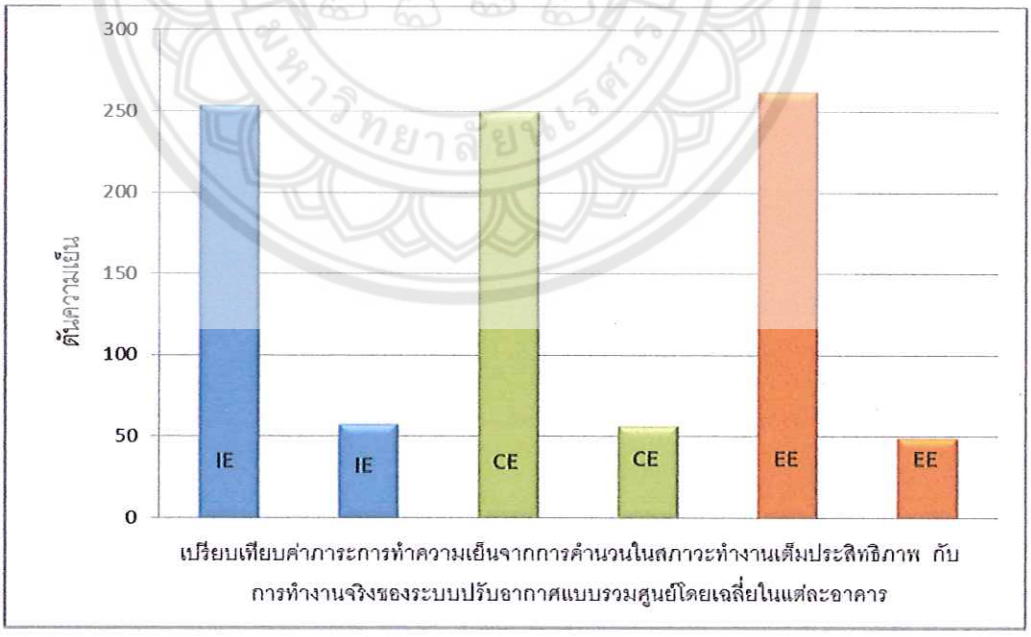
เครื่องที่ทำงาน	IE		CE		EE	
	1	3	1	3	1	3
Power (kW)	32.57	43.17	37.09	34.19	32.02	29.68
Flow rate (gpm)	169.97	182.79	164.84	170.48	162.28	162.28
Q (Btu/hr)	274,917.39	416,281.67	338,936.61	337,383.69	309,682.14	275,080.67
Q (ton-R)	22.91	34.69	28.24	28.12	25.81	22.92
COP	2.48	2.82	2.72	2.85	2.83	2.77
EER	8.33	9.47	9.63	9.76	9.86	9.73
kW/Ton	1.42	1.24	1.31	1.22	1.24	1.29



รูปที่ 4.17 การใช้งานจริงของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยเฉลี่ยแต่ละเครื่อง

4.3 การหาค่าภาระการทำความเย็น

การหาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ ทั้ง 3 อาคารโดยจากการสำรวจอาคารในหัวข้อที่ 4.1 ทำให้ทราบว่าระบบปรับอากาศเดิมมีการติดตั้งแฟนคอยล์ยูนิตภายในของแต่ละห้องไว้แล้ว ทำให้หาภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศเดิมแต่ละห้องได้และประมาณได้ว่าการติดตั้งแฟนคอยล์ยูนิต น่าจะมีลักษณะการติดคล้ายกันทั้ง 3 อาคารโดยน่าจะใช้พื้นที่ห้องเป็นเกณฑ์ในการติดตั้ง และได้ทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นเพิ่มเติมอีกโดยจะใช้วิธีการหาทั้งหมด 3 วิธีได้แก่ วิธี การหาแบบ CLTD การหาแบบตารางเมตร และการหาจากตารางคู่มือวิศวกรเครื่องกลหลักการคำนวณจะอยู่ในบทที่ 2 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อความแม่นยำจากผลการคำนวณที่ได้มาพบว่าในแต่ละอาคารมีการออกแบบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ให้มีการทำงาน 100% แต่มีการใช้งานจริงเพียง 20% เท่านั้น และพบว่าแต่ละอาคารออกแบบให้มีความต้องการค่าภาระการทำความเย็นทั้งหมดประมาณ 250 ตันความเย็น แต่มีการใช้งานจริงเพียงอาคารละประมาณ 50 ตันความเย็นในแต่ละวัน แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณในสภาวะทำงานเต็มประสิทธิภาพกับการทำงานจริงของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยเฉลี่ยในแต่ละอาคาร

4.4 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

ในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ขั้นตอนแรกคือการสำรวจขนาดพื้นที่ห้องและคำนวณภาระทำความเย็น โดยใช้วิธีการคำนวณ 3 วิธี ได้แก่ 1.ภาระทำความเย็นแบบ CLTD 2.ภาระทำความเย็นแบบตารางเมตร 3.ภาระทำความเย็นจากตารางคู่มือวิศวกรเครื่องกลดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3 หลังจากนั้นนำค่าภาระทำความเย็นที่คำนวณได้จาก 3 วิธี หาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาใช้ในการเลือกขนาด BTU/hr และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อติดตั้ง ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ในอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยได้แบ่งขนาด BTU/hr ออกเป็น 3 ขนาด คือ 9,000-20,000 BTU/hr 20,000-30,000 BTU/h และ 30,000-40,000 BTU/hr ซึ่งได้จำนวน เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อติดตั้งจากการออกแบบจากการออกแบบพบว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 30,000-40,000BTU/hr มีการติดตั้งเยอะที่สุดแสดงตามตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 แสดงจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ได้ออกแบบไว้ของอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์

อาคาร	ขนาด BTU/hr	จำนวนเครื่องปรับอากาศ(ตัว)
วิศวกรรมไฟฟ้า	9,000-20,000	35
	20,000-30,000	19
	30,000-40,000	109
วิศวกรรมอุตสาหการ	9,000-20,000	34
	20,000-30,000	20
	30,000-40,000	73
วิศวกรรมโยธา	9,000-20,000	34
	20,000-30,000	20
	30,000-40,000	74

4.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบรวมศูนย์

การพิจารณาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อที่จะมาแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีการพิจารณาเพิ่มมาเป็น 2 กรณีคือ การใช้เครื่องชิลเลอร์เดิม และการเปลี่ยนเครื่องชิลเลอร์ใหม่ ปกติแล้วราคาลงทุนในการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีค่าติดตั้งสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมากแต่ชิ้นส่วนเดิมบางส่วนของเครื่องชิลเลอร์ และ AHU ยังสามารถใช้แทนกันได้การประมาณราคาของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จึงประมาณราคาในการซ่อมบำรุงเท่านั้น ส่วนการประมาณราคาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะใช้จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ติดตั้งทั้ง 3 อาคารมาประมาณราคาและจากการสำรวจอาคารภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์พบว่า อาคารแต่เดิมไม่มีการเดินสายไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงมาเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจริงจะต้องคิดค่าราคาในการเดินระบบไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ โดยการเลือกเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมาติดตั้งจะใช้การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของแต่ละอาคารเพื่อเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.4

การเปรียบเทียบการประมาณราคาและการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เดิมและระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ใหม่จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 จากตารางพบว่าการคำนวณการประเมินระยะเวลาที่จะคืนทุนสำหรับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีระยะเวลาคืนทุนที่ 20 ปีซึ่งถือว่าเท่ากับอายุการใช้งานของเครื่องชิลเลอร์ ซึ่งเมื่อเข้าสู่ปีที่ 15 อาจจะต้องมีค่าซ่อมบำรุงเพิ่มเข้ามาด้วยเหมือนกับเครื่องชิลเลอร์เก่าในปัจจุบันที่มีอายุการใช้งานเหลืออีก 4-5 ปีซึ่งหลังจากระยะเวลาดังกล่าวเครื่องชิลเลอร์อาจเสียหายจนซ่อมไม่ได้อาจต้องมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนซึ่งก็ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเข้ามาอีก สำหรับกรณีของการเปลี่ยนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต้องใช้เวลาประมาณ 12 ปีถึงจะคุ้มทุนซึ่งพบว่าเวลาจะใกล้เคียงกับอายุของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพอดี สำหรับการเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนการเปลี่ยนนำเอาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมาแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยใช้ระยะเวลาของอายุเครื่องที่ 20 ปีเช่นเดียวกับเครื่องชิลเลอร์พบว่าทั้งการนำระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมาเปลี่ยนและเครื่องชิลเลอร์ใหม่มีค่า NPV ไม่แตกต่างกันมาก ที่ราคาประมาณ 55 - 57 ล้านบาทแสดงในรูปที่ 4.15 แต่การคิดราคามูลค่าปัจจุบันสุทธิของการเปลี่ยนเครื่องชิลเลอร์ใหม่ยังไม่รวมราคาของ AHU ซึ่งต้องมีการตรวจสอบโดยละเอียดหากจะมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ทั้งหมดทำให้การที่จะเปลี่ยนมาใช้เครื่องชิลเลอร์ใหม่จะมีราคาจากส่วนนี้เพิ่มขึ้นมาอีก ส่วนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะมีราคาในด้านการติดตั้งระบบไฟฟ้าและการเดินสายไฟในระบบใหม่

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และปริมาณการใช้พลังงาน

	ซิลเลอร์เก่า	ซิลเลอร์ใหม่	split type
การใช้พลังงานไฟฟ้า	412,083.80	250,113.60	340,761.60
ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)	1,545,314	937,926	1,277,856
ค่าซ่อมแซมรายปี	840,000.00	-	-
ค่าบำรุงรักษารายปี	854,400.00	854,400.00	418,000.00
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	3,239,714.23	1,792,326.00	1,695,856.00
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	-	1,447,388.23	1,543,858.23
Initial cost	-	28,800,000	18,642,925
ระยะเวลาคืนทุน	-	19.9	12.1
NPV	-	-55,465,285	-57,452,872

รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ด้วยการใช้ระยะเวลาของอายุเครื่อง 20 ปี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศ แบบรวมศูนย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรโดยดำเนินการศึกษา การสำรวจอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ เก็บข้อมูลของชิลเลอร์และปั๊มน้ำ มาวิเคราะห์ผล หาค่าภาระการทำความเย็นออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการดำเนินงานในส่วนแรกพบว่า

การสำรวจอาคารโดยทำการออกสำรวจ 3 อาคารได้แก่ อาคารเรียนวิศวกรรมอุตสาหการ อาคารเรียนวิศวกรรมโยธา และอาคารเรียนวิศวกรรมไฟฟ้า โดยจากสำรวจพบว่าอาคารวิศวกรรมศาสตร์ผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก ภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้อง ซึ่งห้องส่วนใหญ่มีการปรับอากาศ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ระบบปรับอากาศเป็นแบบน้ำทั้งหมด เครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 70 ตันความเย็นมีการทำงานแบบสลับกันทำงาน และมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5 กิโลวัตต์ พบว่าบางห้องได้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเข้ามา

เก็บข้อมูลของเครื่องชิลเลอร์และปั๊มน้ำโดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ฤดูกาลจากการเก็บข้อมูลพบว่าแต่ละอาคารมีชิลเลอร์ทั้งหมด 4 เครื่องแต่ละเครื่องมีขนาด 70 ตันความเย็นทำงานอาคารละ 2 เครื่องโดยแบ่งเป็นฝั่งละเครื่อง ตามการใช้งานพบว่าเครื่องชิลเลอร์ทำงานโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่เครื่องละ 20 – 30 ตันความเย็นคิดเป็น 40% ของการทำงานจริงจาก 100% ในขณะที่ความเย็นรวมของเครื่องอยู่ที่ 280 ตันความเย็น

หาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์โดยหาทั้งหมด 3 วิธี จากผลการคำนวณพบว่า แต่ละอาคารมีการออกแบบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ให้มีการทำงาน 100% แต่มีการใช้งานจริงเพียง 20% เท่านั้น และพบว่าแต่ละอาคารออกแบบให้มีความต้องการค่าภาระการทำความเย็นทั้งหมดประมาณ 250 ตันความเย็น แต่มีการใช้งานจริงเพียงอาคารละประมาณ 50 ตันความเย็น

การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารเรียนในคณะวิศวกรรมศาสตร์จะเลือกขนาดของ เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ที่ได้สำรวจราคามาแล้วนำมาเลือกขนาดจาก CLTD ที่คำนวณมาได้ก่อนหน้านี้โดยได้แบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ 9,000 - 20,000 BTU/hr 20,000 - 30,000 BTU/hr และ 30,000 - 40,000 BTU/hr ซึ่งได้จำนวน เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อติดตั้งจากการออกแบบอาคารวิศวกรรมไฟฟ้าได้ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนตามที่ออกแบบทั้งหมด 163 ตัว อาคารวิศวกรรมโยธา 128 ตัว อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ 127 ตัว จากการออกแบบพบว่าต้องมีค่าในการเดินระบบสายเพิ่มขึ้นอีกหากจะติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบความคุ้มค่าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ปกติแล้วราคาลงทุนในการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีค่าติดตั้งสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมาก แต่ชิ้นส่วนเดิมบางส่วนของเครื่องชิลเลอร์ และ AHU ยังสามารถใช้แทนกันได้ ส่วนการประมาณราคาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่า อาคารแต่เดิมไม่มีการเดินสายไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงมาเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจริงจะต้องคิดค่าราคาในการเดินระบบไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ การคำนวณการประเมินระยะเวลาที่จะคืนทุนด้วยวิธี NPV สำหรับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีระยะเวลาคืนทุนที่ 20 ปี สำหรับกรณีของการเปลี่ยนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต้องใช้เวลาประมาณ 12 ปีโดยค่า NPV ของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกันมาก ที่ราคาประมาณ 55 - 57 ล้านบาท

ข้อเสนอแนะ

จากที่เราได้ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบความคุ้มค่าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ปกติแล้วราคาลงทุนในการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีค่าติดตั้งสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมากแต่ชิ้นส่วนเดิมบางส่วนของเครื่องชิลเลอร์และ AHU ยังสามารถใช้แทนกันได้การคำนวณการประเมินระยะเวลาที่จะคืนทุนด้วยวิธี NPV สำหรับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีระยะเวลาคืนทุนที่ 20 ปี สำหรับกรณีของการเปลี่ยนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต้องใช้เวลาประมาณ 12 ปีโดยค่า NPV ของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกันมาก ที่ราคาประมาณ 55 - 57 ล้านบาท จะเป็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการทำโครงการนี้ค่อนข้างจะสูงดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขในเรื่องปัญหาที่สำคัญที่เราพบภายในอาคาร เราจึงทำแผนวิเคราะห์เพื่อเป็นตัวเลือกในการตัดสินใจในกรณีที่ต้นทุนหรืองบประมาณไม่เพียงพอ

ตารางแนวทางการแก้ไขปัญหา

ปัญหาที่พบ	แนวทางการแก้ไข
ปัญหาไม่มีท่อที่คลุมในส่วนของท่อลมกลับ ทำให้เกิดความสกปรกของอากาศภายในฝ่าสงผลให้อากาศที่สกปรกไหลเวียนอยู่ในห้องที่ต้องการปรับอากาศ รวมถึงกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ด้วย	นำท่อหรือกล่องพลาสติกมาคลุมบริเวณช่องว่างระหว่าง AHU และช่องลมกลับ
รอยรั่วระหว่างชั้นภายในห้องปรับอากาศ	นำซิลิโคลนหรือยางปะรอยรั่วให้แนบสนิทกัน
ปัญหาฉนวนหุ้มท่อน้ำเย็นที่ส่งไปภายในอาคารฉีกขาด	ดึงฉนวนเดิมออกแล้วหุ้มด้วยฉนวนใหม่

เอกสารอ้างอิง

[1] สมศักดิ์ สุโมตยกุล. (2543). **เครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ.**กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ.

[2] DAIKIN INDUSTRIES, Ltd.(2014). **Scroll compressor** (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ (6 พ.ย. 2557) จาก http://www.acr-heat-pumps-today.co.uk/Air

[3] DAIKIN INDUSTRIES, Ltd. (2014). **Water Cooled Chillers** (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ (6 พ.ย. 2557) จาก http://www.acr-heat-pumps-today.co.uk/Air

[4] Uniaire Corporation Co., Ltd. (2012). **เครื่องปรับอากาศสำหรับงานอุตสาหกรรม** สืบค้นเมื่อ (6 พ.ย.2557) จาก http://www.uni-aire.com

[5] ผศ. ชูชัย ต.ศิริวัฒนา.2554. **การทำความเย็นและการปรับอากาศ.** กรุงเทพมหานคร : ส.ส.ท.

[6] Hermawan's (4 ธันวาคม 2010) **refrigeration and air conditioning system** สืบค้นเมื่อ (6 พ.ย. 2557) จาก http://hvactutorial.wordpress.com

[7] กฎกระทรวง (3 พ.ย. พ.ศ. 2538) หมวด 4 การประเมินหาค่าการถ่ายเทความร้อนค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างในอาคาร และค่าสมรรถนะของอุปกรณ์ปรับอากาศประกาศ **ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับกฤษฎีกา**เล่ม 112 ตอน 46

[8] ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒกุล. (2549). **การใช้ปริมาณพลังงานเฉลี่ยรวมจากการทำความเย็นที่แปรเปลี่ยนสำหรับการพิจารณาเลือกใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมในระบบปรับอากาศ.**

[9] วิโรจน์ จินดารัตน์, อโนทัย สุขแสงพนมรุ้ง, พิชัย อัษฎมงคล. (2548). **การคำนวณช่วยในกาตัดสินใจเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานใน.**

[10] จักรพันธุ์ ภวังค์คะรัตน์ (ผู้บรรยาย). (13 กันยายน 2551). **วิธีเลือกใช้อุปกรณ์หลักระบบปรับอากาศ.**

[11] จักรพันธุ์ ภวังค์คะรัตน์. (ผู้บรรยาย). (13 กันยายน 2551). **ขั้นตอนการออกแบบระบบปรับอากาศ.**

[12] H. Yang, Ph.D., J. Burnett, Ph.D., K. Lau and L. Lu. 2001. **Comparing Central and** SplitAir-Conditioning Systems. ASHRAE.

[13] Sonali Shhane, Prof. Ruchi Pandey. (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

[14] Hani Hussain Sait. (2013). Auditing and analysis of energy consumption of an educational building in hot and humid area. King Abdulaziz University Saudi Arabia.143-152.

[15] ASHRAE Handbook-Fundamentals. (2009) Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations.

[16] Trane Company.(2000). TRG-TRC002-EN **Cooling and Heating Load Estimation.** American Standard Inc. All rights reserved

ภาคผนวก ก

ตารางการเก็บข้อมูล อุณหภูมิ ความดัน กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ของชิล**เลอร์และปั๊มน้ำ**

ตารางที่ ก.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ชิลเลอร์ใช้ของอาคารเรียน IE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ชิลเลอร์ทิศเหนือ			ชิลเลอร์ทิศใต้		
		กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)
ฤดูร้อน	09:00 น.	60.10	59.70	58.95	86.25	87.125	84.85
	12:00 น.	71.54	71.49	70.74	90.73	90.73	89.38
	15:00 น.	68.83	68.33	67.10	94.68	95.15	92.73
ฤดูฝน	09:00 น.	71.90	74.70	72.00	89.00	90.20	87.30
	12:00 น.	78.10	80.00	76.40	90.90	91.20	88.60
	15:00 น.	77.40	78.90	75.60	85.90	86.90	83.10
ฤดูหนาว	09:00 น.	61.05	62.50	58.50	66.85	67.55	63.10
	12:00 น.	59.70	61.20	57.65	61.25	62.40	56.30
	15:00 น.	59.60	60.70	57.10	59.15	60.70	55.70

ตารางที่ ก.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ชิลเลอร์ใช้ของอาคารเรียน CE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ชิลเลอร์ทิศ เหนือ			ชิลเลอร์ทิศ ใต้		
		กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)
ฤดูร้อน	09:00 น.	83.63	85.08	82.55	82.40	86.20	83.48
	12:00 น.	87.40	89.03	85.75	88.33	91.80	88.38
	15:00 น.	79.00	79.08	77.15	86.63	89.70	85.55
ฤดูฝน	09:00 น.	71.00	75.60	72.50	43.10	43.50	41.20
	12:00 น.	75.70	78.80	75.80	56.00	55.80	54.50
	15:00 น.	75.60	77.10	75.60	57.70	56.40	55.00
ฤดูหนาว	09:00 น.	42.05	44.65	42.50	35.30	35.95	33.90
	12:00 น.	40.40	42.90	41.00	37.10	37.75	35.10
	15:00 น.	37.15	39.45	37.70	37.10	37.70	35.75

ตารางที่ ก.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ชิลเลอร์ใช้ของอาคารเรียน EE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ชิลเลอร์ทิศ เหนือ			ชิลเลอร์ทิศ ใต้		
		กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)
ฤดูร้อน	09:00 น.	62.93	57.13	53.78	77.63	81.43	76.30
	12:00 น.	71.60	74.85	69.83	89.95	94.98	88.15
	15:00 น.	72.10	74.30	69.43	93.98	98.28	90.98
ฤดูฝน	09:00 น.	71.90	77.40	71.70	45.60	45.40	42.10
	12:00 น.	72.80	78.30	72.70	49.50	51.80	48.10
	15:00 น.	78.10	85.40	78.10	51.10	57.40	53.40
ฤดูหนาว	09:00 น.	43.80	45.85	41.20	30.20	32.20	29.50
	12:00 น.	53.20	55.55	51.85	39.30	41.50	38.20
	15:00 น.	41.45	44.10	39.90	39.50	42.00	38.10

ตารางที่ ก.4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำใช้ของอาคารเรียน IE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ปั๊มน้ำทิศเหนือ			ปั๊มน้ำทิศใต้		
		กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)
ฤดูร้อน	9:00 น.	12.20	12.73	12.20	13.24	13.50	13.28
	12:00 น.	12.14	12.67	12.18	13.05	13.54	13.09
	15:00 น.	12.03	12.78	12.10	13.02	13.37	13.70
ฤดูฝน	9:00 น.	12.70	13.10	12.50	13.40	13.90	13.40
	12:00 น.	12.70	13.10	12.50	13.40	13.70	13.10
	15:00 น.	12.70	13.10	12.50	13.30	13.70	13.20
ฤดูหนาว	9:00 น.	12.25	12.65	11.90	10.55	10.85	10.20
	12:00 น.	11.40	11.60	11.05	11.25	11.75	11.05
	15:00 น.	11.35	11.70	11.05	11.30	11.65	11.10

ตารางที่ ก.5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำใช้ของอาคารเรียน CE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ปั๊มน้ำทิศเหนือ			ปั๊มน้ำทิศใต้		
		กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)
ฤดูร้อน	9:00 น.	13.33	8.37	13.00	13.22	8.28	13.10
	12:00 น.	13.20	8.41	13.05	13.10	8.21	13.01
	15:00 น.	13.17	8.34	12.99	13.17	8.22	13.14
ฤดูฝน	9:00 น.	13.50	8.40	13.20	13.70	8.60	13.50
	12:00 น.	13.50	8.40	13.20	13.60	8.60	13.20
	15:00 น.	13.50	8.40	13.20	13.80	8.60	13.40
ฤดูหนาว	9:00 น.	12.95	8.05	12.55	12.95	8.10	12.50
	12:00 น.	13.45	8.45	13.05	12.20	7.65	11.85
	15:00 น.	13.45	8.45	13.15	12.20	7.65	11.85

ตารางที่ ก.6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำใช้ของอาคารเรียน EE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ปั๊มน้ำทิศเหนือ			ปั๊มน้ำทิศใต้		
		กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส A (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส B (แอมแปร์)	กระแสไฟเฟส C (แอมแปร์)
ฤดูร้อน	9:00 น.	8.99	9.30	8.89	9.32	9.41	9.21
	12:00 น.	8.71	9.01	8.42	9.49	9.74	9.46
	15:00 น.	8.64	8.98	8.46	9.52	9.73	9.38
ฤดูฝน	9:00 น.	9.60	9.90	9.60	8.90	9.20	8.70
	12:00 น.	9.10	9.80	9.50	8.60	9.00	8.60
	15:00 น.	9.50	9.90	9.60	8.80	9.10	8.70
ฤดูหนาว	9:00 น.	8.95	9.30	9.10	8.40	8.80	8.20
	12:00 น.	8.95	9.20	9.10	8.40	8.70	8.20
	15:00 น.	8.90	9.25	9.00	8.40	8.70	8.20

ตารางที่ ก.7 แสดงค่ากำลังไฟที่ชิลเลอร์ใช้ของอาคารเรียน IE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ชิลเลอร์ทิศเหนือ			ชิลเลอร์ทิศใต้		
		กำลังไฟเฟส A (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส B (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส C (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส A (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส B (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส C (กิโลวัตต์)
ฤดูร้อน	9:00 น.	34.03	33.29	33.47	54.18	52.78	51.12
	12:00 น.	34.70	33.73	33.64	55.87	54.76	53.46
	15:00 น.	35.02	33.87	33.63	59.09	57.92	56.42
ฤดูฝน	9:00 น.	33.80	35.00	34.86	42.80	43.34	41.74
	12:00 น.	35.39	36.73	36.21	44.23	45.50	44.79
	15:00 น.	35.32	36.60	35.92	43.63	43.18	44.06
ฤดูหนาว	9:00 น.	27.17	28.78	27.75	31.35	31.02	30.27
	12:00 น.	27.19	28.61	28.84	31.55	31.46	30.23
	15:00 น.	28.72	29.09	27.94	29.94	31.49	29.45

ตารางที่ ก.8 แสดงค่ากำลังไฟที่ซิลเลอร์ใช้ของอาคารเรียน CE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ซิลเลอร์ทิศ เหนือ			ซิลเลอร์ทิศ ใต้		
		กำลังไฟเฟส A (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส B (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส C (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส A (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส B (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส C (กิโลวัตต์)
ฤดูร้อน	9:00 น.	47.97	46.05	45.40	52.31	54.17	54.60
	12:00 น.	52.03	50.91	49.51	59.13	61.63	56.82
	15:00 น.	51.00	50.10	47.93	51.42	53.74	49.31
ฤดูฝน	9:00 น.	39.10	40.50	40.95	25.35	26.11	25.40
	12:00 น.	40.27	41.57	41.44	27.16	27.71	27.31
	15:00 น.	40.30	41.12	41.80	27.50	28.17	27.20
ฤดูหนาว	9:00 น.	20.01	20.87	21.00	19.58	20.41	19.89
	12:00 น.	20.50	21.37	21.52	19.56	20.37	19.98
	15:00 น.	22.90	23.00	22.41	23.25	22.86	22.18

ตารางที่ ก.9 แสดงค่ากำลังไฟที่ชิลเลอร์ใช้ของอาคารเรียน EE ทั้ง 3 ฤดูกาล

ฤดูกาล	เวลาที่บันทึก	ชิลเลอร์ทิศ เหนือ			ชิลเลอร์ทิศ ใต้		
		กำลังไฟเฟส A (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส B (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส C (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส A (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส B (กิโลวัตต์)	กำลังไฟเฟส C (กิโลวัตต์)
ฤดูร้อน	9:00 น.	23.33	24.69	24.60	40.18	43.53	40.30
	12:00 น.	39.39	42.76	39.60	44.11	48.03	43.66
	15:00 น.	39.82	42.50	39.82	46.38	50.65	47.37
ฤดูฝน	9:00 น.	35.45	35.4	33.35	26.23	26.03	25.12
	12:00 น.	36.23	36.16	33.97	27.41	27.1	26.02
	15:00 น.	36.72	36.94	34.44	25.32	26.66	26.5
ฤดูหนาว	9:00 น.	20.67	21.77	20.53	12.40	15.20	13.53
	12:00 น.	28.40	29.35	26.53	19.03	21.03	19.73
	15:00 น.	26.95	28.25	27.07	19.95	21.13	18.85

ตารางที่ ก.10 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูร้อน เวลา 09.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน	ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน	
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	72.5	87.5	76	279.5	107.5	75.5	74.5	86.5	72.3		61.4	
		out	213.9	166.5	76	175.5	184.5	191.5	171.3	177.5	285.5		235.2	
Thermal		in	51.1	47	52	52.7	51.8	50.7	50.5	50.7	50.2		45.6	
		out	46.7	51.3	48	47.7	51.5	47.2	46.5	50.9	46.5		45.5	
Pessure (Pump)	in		42	42	45	44	44	40	48	28	43	46	41	45
	out		54	54	64	65	54	54	24	52	44	45	53	44
Pessure (Chiller)	in		60	52	66	62	56	56	38	44	40	47	61	60
	out		40	56	56	58	54	60	42	48	40	44	54	56
Thermal	in		58	54	50	54	53	54	58	53	55	55	52	52
	out		48	54	50	51	53	48	48	54	50	52	51	48
Pessure Valve	in		42		42		44		48		44		54	
	out		50		41		40		42		42		38	

ตารางที่ ก.10 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูร้อน (ต่อ) เวลา 12.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน	ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน	
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	72	69	76.5	275.6	106.5	75.5	75.5	87.5	72.5		60.5	
		out	244.5	199.5	75	169.4	204.5	209.5	201.5	204.5	265.8		226.5	
Thermal		in	47	47	52	51.6	50.8	49.9	47.5	50.2	52.2		50.5	
		out	47.3	53.2	49	47.5	50.7	46.7	46.5	50.5	46.9		46.5	
Pessure (Pump)	in		42	42	43	44	46	42	48	28	42	42	45	40
	out		54	54	64	44	54	54	24	52	44	42	45	54
Pessure (Chiller)	in		58	50	67	61	53	56	38	52	56	48	60	60
	out		40	56	54	66	54	62	42	48	40	44	56	58
Thermal	in		50	55	54	54	58	52	54	53	55	55	53	54
	out		46	55	49	50	52	48	48	53	49	55	49	53
Pessure Valve	in		42		42		44		48		44		54	
	out		56		44		40		42		42		38	

ตารางที่ ก.10 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูร้อน (ต่อ) เวลา 15.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน	ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน	
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	72.5	86.5	76.5	278.8	106.5	76.5	75.5	87.5	72.5		61.5	
		out	252.5	191.5	191.5	192.5	191.5	213.5	201.2	209.5	289.5		233.5	
Thermal		in	47	47	44.9	44.7	51	50.2	50.7	51.2	52.4		45.8	
		out	47.2	51.1	46.9	46.7	51	46.7	46.9	51.4	46.6		45.5	
Pessure (Pump)	in		42	42	45	45	45	42	48	30	43	43	46	40
	out		54	53	54	64	54	54	22	52	44	44	43	54
Pessure (Chiller)	in		58	52	67	51	58	55	38	56	40	48	60	60
	out		40	56	56	61	59	62	42	48	40	44	56	58
Thermal	in		51	56	53	52	52	54	58	58	44	55	52	52
	out		49	55	55	50	54	48	49	58	50	55	48	50
Pessure Valve	in		50		49		44		48		44		54	
	out		41		43		40		44		42		37	

ตารางที่ ก.11 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูร้อนฝน เวลา 09.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	72.5	85.5	116.5	71.5	107.5	82.5	74.5	90.5	64.5			56.5
		out	204.5	148.5	151.5	193.5	175.5	197.3	169.5	167.5	197.5			185.5
Thermal		in	49.9	49.6	44.2	49.3	51.5	50.5	52.2	52.4	51.2			50.3
		out	46.8	49.6	49.5	44.8	51.4	46.5	49.5	52.6	47.2			42.3
Pessure (Pump)	in		40	42	48	28	44	42	50	28	38	42	43	40
	out		54	54	28	52	54	54	24	52	46	42	45	54
Pessure (Chiller)	in		56	58	48	48	56	56	40	44	50	46	60	62
	out		52	52	48	42	54	62	44	50	40	44	56	56
Thermal	in		48	50	51	51	55	54	55	55	52	53	50	53
	out		40	50	50	51	54	48	48	56	48	53	50	48
Pessure Valve	in		44		48		44		50		42		37	
	out		40		42		40		44		40		54	

ตารางที่ ก.11 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูฝน (ต่อ) เวลา 12.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	71.5	87.5	117.5	74.5	107.4	75.5	74.5	90.5	70.3			59.5
		out	230.5	163.5	164.5	179.5	204.5	205.5	205.3	204.5	212.5			232.5
Thermal		in	50.2	49.8	26.1	50.8	51.7	50.8	51.9	52.5	51.5			51.5
		out	46.8	49.8	51.2	47.1	55.5	46.7	46.5	52.4	47.2			47.2
Pessure (Pump)	in		38	44	48	28	44	42	50	30	48	42	43	40
	out		54	54	24	52	54	54	24	52	46	42	45	54
Pessure (Chiller)	in		56	56	50	46	56	56	42	52	50	46	60	60
	out		52	52	46	42	52	62	46	48	40	44	56	56
Thermal	in		52	52	53	53	54	53	55	55	52	53	54	44
	out		48	51	53	49	54	48	50	55	48	53	53	48
Pessure Valve	in		44		48		44		50		42		37	
	out		40		42		40		42		40		54	

ตารางที่ ก.11 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูฝน (ต่อ) เวลา 15.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	72.5	86.5	118.5	73.5	106.5	76.5	74.5	89.5	70.5			59.5
		out	231.5	166.5	182.5	188.5	191.5	211.1	210.5	209.5	222.5			232.5
Thermal		in	50.2	49.7	25.6	49.5	51.7	50.7	51.9	52.3	51.5			52.5
		out	46.8	49.8	49.6	45.8	51.5	46.7	47.3	52.5	47.2			47.4
Pessure (Pump)	in		38	42	48	28	44	42	48	30	38	42	44	40
	out		54	54	24	52	54	54	24	52	46	42	45	54
Pessure (Chiller)	in		56	56	56	46	56	56	52	52	50	46	60	60
	out		54	54	46	42	52	60	46	50	40	44	56	50
Thermal	in		51	51	52	52	53	52	55	54	52	54	54	54
	out		48	51	52	48	52	54	49	54	49	53	53	48
Pessure Valve	in		44		48		44		50		42		40	
	out		40		48		40		42		40		54	

ตารางที่ ก.12 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูหนาว เวลา 09.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน				ทำงาน	ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	145.5	81.2	84.5	107.5	72.5	83.2	63.5	95.5		81.5		80.5
		out	165.5	140.2	150.5	153.5	181.5	149.5	196.3	149.5		125.5		116.5
Thermal		in	75.2	48.9	49.9	50.3	48.4	47.3	47.2	47.3		50.2		46.1
		out	77.5	46.5	46.5	50.5	45.2	57.3	42.5	57.3		46.6		45.1
Pessure (Pump)	in		40	44	30	48	44	42	42	42	38	40	40	40
	out		64	64	52	24	46	49	62	62	60	44	44	54
Pessure (Chiller)	in		56	66	54	50	44	42	44	42	14	54	8	64
	out		38	56	44	50	42	42	42	43	40	42	8	54
Thermal	in		70	48	52	52	23	23	23	25	72	48	72	47
	out		74	47	49	52	23	23	25	25	72	48	72	46
Pessure Valve	in		44		50		40		42		44		38	
	out		40		44		45		42		44		44	

ตารางที่ ก.12 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูหนาว (ต่อ) เวลา 12.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน				ทำงาน	ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	144.3	80.5	84.5	107.5	74.5	84.5	96.5	74.8		81.5		82.5
		out	160.5	150.9	150.5	150.5	190.2	163.7	159.3	194.7		125.5		116.5
Thermal		in	78.8	48.9	50.5	50.3	47.6	42.5	47.5	47.3		50.2		50.2
		out	77.8	46.5	46.7	50.3	42.2	51.2	42.5	57.5		46.6		46.6
Pessure (Pump)	in		44	44	30	48	44	42	42	42	38	44	40	40
	out		64	64	52	24	47	46	62	62	60	40	44	54
Pessure (Chiller)	in		56	66	54	52	60	42	68	42	20	54	20	64
	out		34	54	46	50	47	46	60	46	40	42	20	55
Thermal	in		70	48	52	50	23	23	23	25	72	46	72	47
	out		74	46	49	49	23	23	25	25	72	46	72	47
Pessure Valve	in		44		50		40		42		44		38	
	out		40		42		45		42		44		42	

ตารางที่ ก.12 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ใน 1 วัน ในช่วงฤดูหนาว (ต่อ) เวลา 15.00 น.

ตึก			IE				CE				EE			
เครื่องที่ทำงาน				ทำงาน	ทำงาน		ทำงาน		ทำงาน			ทำงาน		ทำงาน
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	140.7	79.5	84.5	127.5	74.5	84.7	63.9	92.5		80.5		78.5
		out	155.5	150.9	158.5	173.5	190.7	164.7	201.2	165.5		145.5		146.5
Thermal		in	78.8	46.5	50.6	50.3	47.5	42.8	47.2	47.5		52.5		46.6
		out	78.7	46.9	48.7	50.5	42.3	51.2	46.9	52.2		48.6		45.4
Pessure (Pump)	in		44	40	28	48	44	42	44	42	40	38	42	40
	out		64	64	54	24	56	56	62	64	44	60	40	54
Pessure (Chiller)	in		56	66	52	52	60	42	60	60	16	54	18	64
	out		32	54	46	50	47	46	62	47	40	42	18	52
Thermal	in		70	49	52	52	23	23	23	26	72	50	74	48
	out		76	49	50	52	23	23	25	25	74	50	74	46
Pessure Valve	in		44		50		40		44		44		38	
	out		40		42		47		44		44		54	

ตารางที่ ก.13 แสดงอุณหภูมิและความดันที่ทางเข้าและทางออกของ Chiller ในขณะที่ไม่มีการทำงาน

ตึก			IE				CE				EE			
Chiller No.			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pessure	Digital	in	121.5	120.8	127.3	118.5	120.2	121.6	126.7	120.5	118.5	119.5	122.5	121.5
		out	139.5	139.5	141.5	140.5	137.5	138.9	127.4	127.3	136.5	137.5	137.5	137.5
Thermal		in	68.6	68.9	36.4	67.6	68.5	67.9	67.7	67.7	68.2	70.5	68.5	68.7
		out	68.9	68.9	68.2	66.7	67.9	68.3	68.5	66.9	68.1	68.7	68.7	68.5
Pessure (Pump)	in		42	42	48	28	42	43	44	42	42	44	42	37
	out		42	42	12	40	42	42	40	42	48	45	45	54
Pessure (Chiller)	in		56	42	46	38	54	50	46	44	43	40	41	44
	out		46	52	40	38	48	52	44	42	40	41	41	70
Thermal	in		71	70	70	71	23	23	23	25	70	70	70	50
	out		70	70	70	69	23	23	25	25	70	70	70	70
Pessure Valve	in		42		44		40		42		42		37	
	out		40		42		45		42		41		54	

ภาคผนวก ข

ค่าภาระทำความเย็น

ตารางที่ ข.1 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมอุตสาหการ

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
IE 106	96	80,813.71	76,800.00	95,636.00
IE 108	96	80,813.71	76,800.00	95,636.00
IE 113	96	89,775.35	67,200.00	61,796.00
IE 115	96	89,775.35	67,200.00	61,796.00
IE 202	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 204	32	16,447.88	16,000.00	17,088.00
IE 206	32	16,448.88	16,000.00	17,088.00
IE 208	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
IE 209	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
IE 210	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 211	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
IE 212	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 213	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
IE 214	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 215	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
IE 216	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
IE 217	20	31,080.01	14,000.00	16,306.00
IE 218	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 220	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 222	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 224	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
IE 226	76	57,980.77	60,800.00	76,724.00
IE 227	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00

ตารางที่ ข.1 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมอุตสาหการ (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
IE 228	48	22,915.08	24,000.00	24,052.00
IE 229	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
IE 230	80	65,534.40	64,000.00	87,712.00
IE 231	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
IE 232	24	13,023.97	12,000.00	15,209.00
IE 233	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
IE 234	24	13,023.97	12,000.00	15,209.00
IE 236	16	9,601.06	8,000.00	8,042.00
IE 238	32	16,446.88	16,000.00	12,088.00
IE 240	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
IE 242	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 244	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 246	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
IE 248	32	40,193.22	16,000.00	61,192.00
IE 302	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
IE 304	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
IE 306	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
IE 308	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
IE 309	40	33,620.84	28,000.00	22,602.00
IE 310	60	50,075.62	48,000.00	65,757.00
IE 311	40	33,620.84	28,000.00	22,602.00
IE 312	40	34,522.44	32,000.00	45,602.00
IE 313	40	33,620.84	28,000.00	27,602.00

ตารางที่ ข.1 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมอุตสาหการ (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
IE 314	40	34,522.44	32,000.00	45,602.00
IE 315	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
IE 316	56	50,075.62	44,800.00	65,757.00
IE 317	20	31,080.01	10,000.00	15,306.00
IE 318	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
IE 320	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
IE 322	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
IE 323	64	53,687.06	44,800.00	37,078.00
IE 324	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
IE 329	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
IE 331	20	31,080.01	14,000.00	17,306.00
IE 333	20	33,620.84	14,000.00	22,602.00
IE 335	40	33,620.84	28,000.00	22,602.00
IE 337	40	33,621.84	28,000.00	17,603.00
IE 404	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 406	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
IE 408	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 409	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 410	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
IE 411	26	32,001.52	18,200.00	23,069.00
IE 412	45	36,614.56	36,000.00	46,926.00
IE 413	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 415	26	32,001.52	18,200.00	23,069.00

ตารางที่ ข.1 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมอุตสาหการ (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
IE 417	40	33,620.84	28,000.00	25,752.00
IE 425	64	53,687.06	44,800.00	37,078.00
IE 426	45	36,614.56	36,000.00	46,926.00
IE 428	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 430	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
IE 432	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 433	40	33,620.84	28,000.00	25,752.00
IE 434	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
IE 435	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 437	26	32,001.52	18,200.00	20,069.00
IE 439	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
IE 441	26	32,001.52	18,200.00	20,069.00
IE 502	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 504	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 506	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 508	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 509	96	89,775.35	67,200.00	61,796.00
IE 510	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 511	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
IE 512	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 513	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
IE 514	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 515	60	53,687.06	42,000.00	41,407.00

ตารางที่ ข.1 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมอุตสาหการ (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
IE 516	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
IE 517	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
IE 519	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
IE 521	96	89,775.35	67,200.00	61,796.00

ตารางที่ ข.2 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมโยธา

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
CE 106	96	72,813.42	76,800.00	86,136.00
CE 108	96	72,813.42	76,800.00	86,136.00
CE 113	96	81,775.35	67,200.00	57,296.00
CE 115	96	81,775.35	67,200.00	57,296.00
CE 202	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 204	32	16,447.88	16,000.00	17,088.00
CE 206	32	16,448.88	16,000.00	17,088.00
CE 208	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
CE 209	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
CE 210	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 211	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
CE 212	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 213	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
CE 214	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 215	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
CE 216	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
CE 217	20	31,080.01	14,000.00	16,306.00
CE 218	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 220	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 222	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 224	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
CE 226	76	57,980.77	60,800.00	76,724.00
CE 227	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00

ตารางที่ ข.2 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมโยธา(ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
CE 228	48	22,915.08	24,000.00	24,052.00
CE 229	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
CE 230	80	65,534.40	64,000.00	87,712.00
CE 231	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
CE 232	24	13,023.97	12,000.00	15,209.00
CE 233	40	39,448.48	28,000.00	24,052.00
CE 234	24	13,023.97	12,000.00	15,209.00
CE 236	16	9,601.06	8,000.00	8,042.00
CE 238	32	16,446.88	16,000.00	12,088.00
CE 240	32	40,193.22	25,600.00	61,192.00
CE 242	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 244	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 246	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
CE 248	32	40,193.22	16,000.00	61,192.00
CE 302	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
CE 304	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
CE 306	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
CE 308	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
CE 309	40	33,620.84	28,000.00	22,602.00
CE 310	60	50,075.62	48,000.00	65,757.00
CE 311	40	33,620.84	28,000.00	22,602.00
CE 312	40	34,522.44	32,000.00	45,602.00
CE 313	40	33,620.84	28,000.00	27,602.00

ตารางที่ ข.2 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมโยธา(ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
CE 314	40	34,522.44	32,000.00	45,602.00
CE 315	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
CE 316	56	50,075.62	44,800.00	65,757.00
CE 317	20	31,080.01	10,000.00	15,306.00
CE 318	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
CE 320	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
CE 322	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
CE 323	64	53,687.06	44,800.00	37,078.00
CE 324	30	37,853.34	24,000.00	57,561.00
CE 329	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
CE 331	20	31,080.01	14,000.00	17,306.00
CE 333	20	33,620.84	14,000.00	22,602.00
CE 335	40	33,620.84	28,000.00	22,602.00
CE 337	40	33,621.84	28,000.00	17,603.00
CE 404	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 406	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
CE 408	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 409	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 410	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
CE 411	26	32,001.52	18,200.00	23,069.00
CE 412	45	36,614.56	36,000.00	46,926.00
CE 413	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 415	26	32,001.52	18,200.00	23,069.00

ตารางที่ ข.2 ค่าภาระทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมโยธา(ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
CE 417	40	33,620.84	28,000.00	25,752.00
CE 425	64	53,687.06	44,800.00	37,078.00
CE 426	45	36,614.56	36,000.00	46,926.00
CE 428	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 430	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
CE 432	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 433	40	33,620.84	28,000.00	25,752.00
CE 434	32.5	35,836.70	26,000.00	50,623.00
CE 435	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 437	26	32,001.52	18,200.00	20,069.00
CE 439	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
CE 441	26	32,001.52	18,200.00	20,069.00
CE 502	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 504	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 506	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 508	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 509	96	81,775.35	67,200.00	57,296.00
CE 510	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 511	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
CE 512	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 513	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
CE 514	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 515	60	53,687.06	42,000.00	41,407.00

ตารางที่ ข.2 ค่าภาระการทำความเย็นทั้ง 3 ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมโยธา(ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
CE 516	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
CE 517	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
CE 519	60	57,735.79	42,000.00	36,407.00
CE 521	96	81,775.35	67,200.00	57,296.00

ตารางที่ ข.3 ค่าภาระการทำความเย็นทั้ง 3ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมไฟฟ้า

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
EE 106	96	80,813.71	67,200.00	61,796.00
EE 108	96	80,813.71	67,200.00	61,796.00
EE 113	96	89,775.35	76,800.00	95,136.00
EE 115	96	89,775.35	76,800.00	95,136.00
EE 202	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
EE 204	32	16,447.88	16,000.00	17,088.00
EE 206	32	16,448.88	16,000.00	17,088.00
EE 208	32	48,074.80	22,400.00	24,882.00
EE 209	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 210	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
EE 211	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 212	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
EE 213	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 214	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
EE 215	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
EE 216	32	48,074.80	22,400.00	24,882.00
EE 217	20	21,517.88	16,000.00	33,606.00
EE 218	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
EE 220	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
EE 222	32	16,446.88	16,000.00	17,088.00
EE 223	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 224	32	48,074.80	22,400.00	24,882.00
EE 225	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00

ตารางที่ ข.3 ค่าภาระการทำความเย็นทั้ง 3ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมไฟฟ้า (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
EE 226	76	69,862.38	53,200.00	39,964.00
EE 227	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 228	48	22,915.08	24,000.00	24,052.00
EE 229	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 230	80	79,386.39	56,000.00	42,762.00
EE 232	24	13,023.97	12,000.00	15,209.00
EE 234	24	13,023.97	12,000.00	15,209.00
EE 236	16	9,601.06	8,000.00	8,042.00
EE 238	32	16,446.88	16,000.00	12,088.00
EE 240	32	48,074.80	22,400.00	24,882.00
EE 250	32	48,075.80	22,400.00	24,883.00
EE 260	32	16,446.88	16,000.00	12,088.00
EE 270	32	16,447.88	16,000.00	12,088.00
EE 280	32	16,448.88	16,000.00	12,088.00
EE 302	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
EE 304	30	45,242.03	21,000.00	23,861.00
EE 306	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
EE 308	30	45,242.03	21,000.00	23,861.00
EE 309	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 310	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 311	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 312	40	39,448.80	28,000.00	24,052.00
EE 313	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00

ตารางที่ ข.3 ค่าภาระการทำความเย็นทั้ง 3ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมไฟฟ้า (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
EE 314	40	39,448.80	28,000.00	24,052.00
EE 315	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
EE 316	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 317	20	21,517.88	16,000.00	33,606.00
EE 318	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
EE 320	30	45,242.03	21,000.00	23,861.00
EE 321	64	55,712.15	51,200.00	66,288.00
EE 322	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
EE 324	30	45,242.03	21,000.00	23,861.00
EE 325	20	21,517.88	16,000.00	33,606.00
EE 327	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
EE 329	20	34,522.64	16,000.00	50,152.00
EE 331	40	34,523.64	32,000.00	50,152.00
EE 333	40	34,524.64	32,000.00	50,152.00
EE 402	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
EE 404	32.5	42,240.87	22,750.00	23,443.00
EE 406	32.5	42,241.87	22,750.00	23,443.00
EE 408	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
EE 409	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
EE 411	32.5	29,860.15	26,000.00	44,371.00
EE 412	45	45,540.52	31,500.00	29,876.00
EE 413	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00

ตารางที่ ข.3 ค่าภาระการทำความเย็นทั้ง 3ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมไฟฟ้า (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
EE 414	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
EE 415	32.5	29,860.15	26,000.00	44,371.00
EE 418	45	45,540.52	31,500.00	29,876.00
EE 419	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 420	30	15,591.50	15,000.00	16,526.00
EE 421	26	13,136.33	13,000.00	13,402.00
EE 422	32.5	13,879.70	16,250.00	13,402.00
EE 423	64	55,712.15	51,200.00	66,288.00
EE 424	32.5	42,241.87	22,750.00	23,443.00
EE 426	32.5	42,241.87	22,750.00	23,443.00
EE 427	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 428	26	13,879.70	13,000.00	13,402.00
EE ชั้น 4	88	75,538.47	70,400.00	94,410.00
EE ชั้น 4	20	11,312.51	10,000.00	11,716.00
EE ชั้น 4	16	15,523.57	12,800.00	28,194.00
EE ชั้น 4	16	9,601.06	8,000.00	8,042.00
EE 502	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 504	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 506	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 508	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 509	96	89,775.35	76,800.00	95,136.00
EE 510	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 511	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00

ตารางที่ ข.3 ค่าภาระการทำความเย็นทั้ง 3ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมไฟฟ้า (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
EE 512	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 513	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
EE 514	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 515	64	55,712.15	51,200.00	66,288.00
EE 516	60	63,181.21	42,000.00	37,907.00
EE 517	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
EE 519	60	45,076.00	48,000.00	55,982.00
EE 601	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 602	96	79,386.39	67,200.00	42,762.00
EE 603	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 604	96	79,386.39	67,200.00	42,762.00
EE 605	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 606	96	79,386.39	67,200.00	42,762.00
EE 607	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
EE 608	96	79,386.39	67,200.00	42,762.00
EE 609	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
EE 610	96	79,386.39	67,200.00	42,762.00
EE 611	64	55,712.15	51,200.00	66,288.00
EE 612	40	39,448.80	28,000.00	24,052.00
EE 613	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
EE 614	40	39,448.80	28,000.00	24,052.00
EE 615	60	45,075.00	48,000.00	55,982.00
EE 617	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00

ตารางที่ ข.3 ค่าภาระการทำความเย็นทั้ง 3ประเภทของอาคารเรียน วิศวกรรมไฟฟ้า (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	แบบ CLTD (BTU/hr)	แบบตารางเมตร (BTU/hr)	แบบคู่มือวิศวกร (BTU/hr)
EE 619	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00
EE 621	40	34,522.64	32,000.00	50,152.00

ภาคผนวก ค

การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

ตารางที่ ค.1 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
EE 106	96	69,936.57	-	-	3
EE 108	96	69,936.57	-	-	3
EE 113	96	87,237.12	-	-	3
EE 115	96	87,237.12	-	-	3
EE 202	32	16,511.63	1	-	-
EE 204	32	16,511.96	1	-	-
EE 206	32	16,512.29	1	-	-
EE 208	32	31,785.60	-	1	-
EE 209	40	38,891.55	-	-	1
EE 210	32	16,511.63	1	-	-
EE 211	40	38,891.55	-	-	1
EE 212	32	16,511.63	1	-	-
EE 213	40	38,891.55	-	-	1
EE 214	32	16,511.63	1	-	-
EE 215	20	11,009.50	1	-	-
EE 216	32	31,785.60	-	1	-
EE 217	20	23,707.96	-	1	-
EE 218	32	16,511.63	1	-	-
EE 220	32	16,511.63	1	-	-
EE 222	32	16,511.63	1	-	-
EE 223	40	38,891.55	-	-	1
EE 224	32	31,785.60	-	1	-
EE 225	40	38,891.55	-	-	1
EE 226	76	54,342.13	-	-	2
EE 227	40	38,891.55	-	-	1
EE 228	48	23,655.69	-	1	-

ตารางที่ ค.1 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU /hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
EE 229	40	38,891.55	-	-	1
EE 230	80	59,382.80	-	-	2
EE 232	24	13,410.99	1	-	-
EE 234	24	13,410.99	1	-	-
EE 236	16	8,547.69	1	-	-
EE 238	32	14,844.96	1	-	-
EE 240	32	31,785.60	-	1	-
EE 250	32	31,786.27	-	-	1
EE 260	32	14,844.96	1	-	-
EE 270	32	14,845.29	1	-	-
EE 280	32	14,845.63	1	-	-
EE 302	30	15,705.83	1	-	-
EE 304	30	30,034.34	-	1	-
EE 306	30	15,705.83	1	-	-
EE 308	30	30,034.34	-	1	-
EE 309	40	38,891.55	-	-	1
EE 310	60	47,696.07	-	-	2
EE 311	40	38,891.55	-	-	1
EE 312	40	30,500.27	-	-	1
EE 313	40	38,891.55	-	-	1
EE 314	40	30,500.27	-	-	1
EE 315	20	11,009.50	1	-	-
EE 316	60	47,696.07	-	-	2
EE 317	20	23,707.96	-	1	-
EE 318	30	15,705.83	1	-	-
EE 320	30	30,034.34	-	1	-

ตารางที่ ค.1 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
EE 321	64	57,733.38	-	-	2
EE 322	30	15,705.83	1	-	-
EE 324	30	30,034.34	-	1	-
EE 325	20	23,707.96	-	1	-
EE 327	20	11,009.50	1	-	-
EE 329	20	33,558.21	-	1	-
EE 331	40	38,891.88	-	-	1
EE 333	40	38,892.21	-	-	1
EE 402	26	13,427.23	1	-	-
EE 404	32.5	29,477.96	-	1	-
EE 406	32.5	29,478.29	-	1	-
EE 408	26	13,427.23	1	-	-
EE 409	26	13,427.23	1	-	-
EE 411	32.5	33,410.38	-	1	-
EE 412	45	35,638.84	-	-	1
EE 413	26	13,427.23	1	-	-
EE 414	30	15,705.83	1	-	-
EE 415	32.5	33,410.38	-	1	-
EE 418	45	35,638.84	-	-	1
EE 419	40	38,891.55	-	-	1
EE 420	30	15,705.83	1	-	-
EE 421	26	13,179.44	1	-	-
EE 422	32.5	14,510.57	1	-	-
EE 423	64	57,733.38	-	-	2
EE 424	32.5	29,478.29	-	1	-

ตารางที่ ค.1 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
EE 426	32.5	29,478.29	-	1	-
EE 427	40	38,891.55	-	-	1
EE 428	26	13,427.23	1	-	-
EE ชั้น 4	88	80,116.16	-	-	3
EE ชั้น 4	20	11,009.50	1	-	-
EE ชั้น 4	16	18,839.19	1	-	-
EE ชั้น 4	16	8,547.69	1	-	-
EE 502	60	47,696.07	-	-	2
EE 504	60	47,696.07	-	-	2
EE 506	60	47,696.07	-	-	2
EE 508	60	47,696.07	-	-	2
EE 509	96	87,237.12	-	-	3
EE 510	60	47,696.07	-	-	2
EE 511	60	49,685.67	-	-	2
EE 512	60	47,696.07	-	-	2
EE 513	60	49,685.67	-	-	2
EE 514	60	47,696.07	-	-	2
EE 515	64	57,733.38	-	-	2
EE 516	60	47,696.07	-	-	2
EE 517	60	49,685.67	-	-	2
EE 519	60	49,686.00	-	-	2
EE 601	40	38,891.55	-	-	2
EE 602	96	63,116.13	-	-	3
EE 603	40	38,891.55	-	-	1
EE 604	96	63,116.13	-	-	3

ตารางที่ ค.1 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมไฟฟ้า

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
EE 605	40	38,891.55	-	-	1
EE 606	96	63,116.13	-	-	3
EE 607	60	49,685.67	-	-	2
EE 608	96	63,116.13	-	-	3
EE 609	60	49,685.67	-	-	2
EE 610	96	63,116.13	-	-	3
EE 611	64	57,733.38	-	-	2
EE 612	40	30,500.27	-	-	1
EE 613	60	49,685.67	-	-	2
EE 614	40	30,500.27	-	-	1
EE 615	60	49,685.67	-	-	2
EE 617	40	38,891.55	-	-	1
EE 619	40	38,891.55	-	-	1
EE 621	40	38,891.55	-	-	1

ตารางที่ ค.2 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
IE 106	96	84,249.90	-	-	3
IE 108	96	84,249.90	-	-	3
IE 113	96	72,923.78	-	-	3
IE 115	96	72,923.78	-	-	3
IE 202	32	16,511.63	1	-	-
IE 204	32	16,511.96	1	-	-
IE 206	32	16,512.29	1	-	-
IE 208	32	42,328.41	-	-	1
IE 209	40	30,500.16	-	1	-
IE 210	32	16,511.63	1	-	-
IE 211	40	30,500.16	-	1	-
IE 212	32	16,511.63	1	-	-
IE 213	40	30,500.16	-	1	-
IE 214	32	16,511.63	1	-	-
IE 215	20	11,009.50	1	-	-
IE 216	32	42,328.41	-	-	1
IE 217	20	20,462.00	1	-	-
IE 218	32	16,511.63	1	-	-
IE 220	32	16,511.63	1	-	-
IE 222	32	16,511.63	1	-	-
IE 224	32	42,328.41	-	-	1
IE 226	76	65,168.26	-	-	2
IE 227	40	30,500.16	-	1	-
IE 228	48	23,655.69	-	1	-
IE 229	40	30,500.16	-	1	-

ตารางที่ ค.2 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
IE 230	80	72,415.47	-	-	2
IE 231	40	30,500.16	-	1	-
IE 232	24	13,410.99	1	-	-
IE 233	40	30,500.16	-	1	-
IE 234	24	13,410.99	1	-	-
IE 236	16	8,547.69	1	-	-
IE 238	32	14,844.96	1	-	-
IE 240	32	42,328.41	-	-	1
IE 242	32	16,511.63	1	-	-
IE 244	32	16,511.63	1	-	-
IE 246	32	16,511.63	1	-	-
IE 248	32	39,128.41	-	-	1
IE 302	30	15,705.83	1	-	-
IE 304	30	39,804.78	-	-	1
IE 306	30	15,705.83	1	-	-
IE 308	30	39,804.78	-	-	1
IE 309	40	28,074.28	-	1	-
IE 310	60	54,610.87	-	-	2
IE 311	40	28,074.28	-	1	-
IE 312	40	37,374.81	-	-	1
IE 313	40	29,740.95	-	1	-
IE 314	40	37,374.81	-	-	1
IE 315	20	11,009.50	1	-	-
IE 316	56	53,544.21	-	-	2
IE 317	20	18,795.34	1	-	-

ตารางที่ ค.2 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
IE 318	30	15,705.83	1	-	-
IE 320	30	39,804.78	-	-	1
IE 322	30	15,705.83	1	-	-
IE 323	64	45,188.35	-	-	2
IE 324	30	39,804.78		-	1
IE 329	20	11,009.50	1	-	-
IE 331	20	20,795.34	1	-	-
IE 333	20	23,407.61	-	1	-
IE 335	40	28,074.28	-	1	-
IE 337	40	26,408.28	-	1	-
IE 404	26	13,427.23	1	-	-
IE 406	32.5	37,486.57	-	-	1
IE 408	26	13,427.23	1	-	-
IE 409	26	13,427.23	1	-	-
IE 410	32.5	37,486.57	-	-	1
IE 411	26	24,423.51	-	1	-
IE 412	45	39,846.85	-	-	1
IE 413	26	13,427.23	1	-	-
IE 415	26	24,423.51	-	1	-
IE 417	40	29,124.28	-	1	-
IE 425	64	45,188.35	-	-	2
IE 426	45	39,846.85	-	-	1
IE 428	26	13,427.23	1	-	-
IE 430	32.5	37,486.57	-	-	1
IE 432	26	13,427.23	1	-	-

ตารางที่ ค.2 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมอุตสาหการ โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
IE 433	40	29,124.28	-	1	-
IE 434	32.5	37,486.57	-	-	1
IE 435	26	13,427.23	1	-	-
IE 437	26	23,423.51	-	1	-
IE 439	26	13,427.23	1	-	-
IE 441	26	23,423.51	-	1	-
IE 502	60	49,685.67	-	-	2
IE 504	60	49,685.67	-	-	2
IE 506	60	49,685.67	-	-	2
IE 508	60	49,685.67	-	-	2
IE 509	96	72,923.78	-	-	3
IE 510	60	49,685.67	-	-	2
IE 511	60	45,380.93	-	-	2
IE 512	60	49,685.67	-	-	2
IE 513	60	45,380.93	-	-	2
IE 514	60	49,685.67	-	-	2
IE 515	60	45,698.02	-	-	2
IE 516	60	49,685.67	-	-	2
IE 517	60	45,380.93	-	-	2
IE 519	60	45,380.93	-	-	2
IE 521	96	72,923.78	-	-	3

ตารางที่ ค.3 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมโยธา

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
CE 106	96	78,583.14	-	-	3
CE 108	96	78,583.14	-	-	3
CE 113	96	68,757.12	-	-	3
CE 115	96	68,757.12	-	-	3
CE 202	32	16,511.63	1	-	-
CE 204	32	16,511.96	1	-	-
CE 206	32	16,512.29	1	-	-
CE 208	32	42,328.41	-	-	1
CE 209	40	30,500.16	-	1	-
CE 210	32	16,511.63	1	-	-
CE 211	40	30,500.16	-	1	-
CE 212	32	16,511.63	1	-	-
CE 213	40	30,500.16	-	1	-
CE 214	32	16,511.63	1	-	-
CE 215	20	11,009.50	1	-	-
CE 216	32	42,328.41	-	-	1
CE 217	20	20,462.00	1	-	-
CE 218	32	16,511.63	1	-	
CE 220	32	16,511.63	1	-	
CE 222	32	16,511.63	1	-	
CE 224	32	42,328.41	-	-	1
CE 226	76	65,168.26	-	-	2
CE 227	40	30,500.16	-	1	-
CE 228	48	23,655.69	-	1	-
CE 229	40	30,500.16	-	1	-

ตารางที่ ค.3 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมโยธา

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
CE 230	80	72,415.47	-	-	3
CE 231	40	30,500.16	-	1	-
CE 232	24	13,410.99	1	-	-
CE 233	40	30,500.16	-	1	-
CE 234	24	13,410.99	1	-	-
CE 236	16	8,547.69	1	-	-
CE 238	32	14,844.96	1	-	-
CE 240	32	42,328.41	-	-	1
CE 242	32	16,511.63	1	-	-
CE 244	32	16,511.63	1	-	-
CE 246	32	16,511.63	1	-	-
CE 248	32	39,128.41	-	-	1
CE 302	30	15,705.83	1	-	-
CE 304	30	39,804.78	-	-	1
CE 306	30	15,705.83	1	-	-
CE 308	30	39,804.78	-	-	1
CE 309	40	28,074.28	-	1	-
CE 310	60	54,610.87	-	-	2
CE 311	40	28,074.28	-	1	-
CE 312	40	37,374.81	-	-	1
CE 313	40	29,740.95	-	1	-
CE 314	40	37,374.81	-	-	1
CE 315	20	11,009.50	1	-	-
CE 316	56	53,544.21	-	-	2
CE 317	20	18,795.34	1	-	-

ตารางที่ ค.3 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมโยธา

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
CE 318	30	15,705.83	1	-	-
CE 320	30	39,804.78	-	-	1
CE 322	30	15,705.83	1	-	-
CE 323	64	45,188.35	-	-	2
CE 324	30	39,804.78	-	-	1
CE 329	20	11,009.50	1	-	-
CE 331	20	20,795.34	1	-	-
CE 333	20	23,407.61	-	1	-
CE 335	40	28,074.28	-	1	-
CE 337	40	26,408.28	-	1	-
CE 404	26	13,427.23	1	-	-
CE 406	32.5	37,486.57	-	-	1
CE 408	26	13,427.23	1	-	-
CE 409	26	13,427.23	1	-	-
CE 410	32.5	37,486.57	-	-	1
CE 411	26	24,423.51	-	1	-
CE 412	45	39,846.85	-	-	1
CE 413	26	13,427.23	1	-	-
CE 415	26	24,423.51	-	1	-
CE 417	40	29,124.28	-	1	-
CE 425	64	45,188.35	-	-	2
CE 426	45	39,846.85	-	-	1
CE 428	26	13,427.23	1	-	-
CE 430	32.5	37,486.57	-	-	1
CE 432	26	13,427.23	1	-	-

ตารางที่ ค.3 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารวิศวกรรมโยธา

โดยใช้ค่าภาระทำความเย็นในการเลือกขนาด BTU/hr (ต่อ)

ห้อง	พ.ท ห้อง m^2	BTU/hr	ขนาด BTU/hr ของ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
			9,000-20000	20,000-30000	30,000-40,000
CE 433	40	29,124.28	-	1	-
CE 434	32.5	37,486.57	-	-	1
CE 435	26	13,427.23	1	-	-
CE 437	26	23,423.51	-	1	-
CE 439	26	13,427.23	1	-	-
CE 441	26	23,423.51	-	1	-
CE 502	60	49,685.67	-	-	2
CE 504	60	49,685.67	-	-	2
CE 506	60	49,685.67	-	-	2
CE 508	60	49,685.67	-	-	2
CE 509	96	68,757.12	-	-	3
CE 510	60	49,685.67	-	-	2
CE 511	60	45,380.93	-	-	2
CE 512	60	49,685.67	-	-	2
CE 513	60	45,380.93	-	-	2
CE 514	60	49,685.67	-	-	2
CE 515	60	45,698.02	-	-	2
CE 516	60	49,685.67	-	-	2
CE 517	60	45,380.93	-	-	2
CE 519	60	45,380.93	-	-	2
CE 521	96	68,757.12	-	-	3

ภาคผนวก ง

ราคาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ตารางที่ ง.1 ราคาเครื่องปรับอากาศแบบตั้งแขวนฝ้าเพดาน

ยี่ห้อ	Model	BTU/hr	ราคา	ราคา/BTU
Mitsubishi	PC-2.5KAKLT	23,936	42,400	1.77
	PC-3KAKLT	30,000	42,800	1.43
	PC-3KAKLT	29,923	46,400	1.55
	PC-4KAKLT	36,000	48,800	1.36
	PC-4KAKLT	38,790	51,800	1.34
	PC-5KAKLT	42,000	56,400	1.34
	PC-6KAKLT	48,000	62,400	1.30
TRANE	TTK512LB5 / MCX512GB5W	13,100	20,400	1.56
	TTK512LB5 / MCX512GB5R	13,100	21,400	1.63
	TTK518LB5 / MCX518GB5W	19,500	31,200	1.60
	TTK518LB5 / MCX518GB5R	19,500	32,200	1.65
	TTK524LB5 / MCX524GB5W	24,400	34,800	1.43
	TTK524LB5 / MCX524GB5R	24,400	35,800	1.47
	TTK530KB5 / MCX530GB5W	30,100	40,000	1.33
	TTK530KB5 / MCX530GB5R	30,100	41,000	1.36
	TTK536KB5 / MCX536GB5W	37,100	48,800	1.32
	TTK536KB5 / MCX536GB5R	37,100	49,800	1.34
	TTK536KD5 / MCX536GB5W	37,300	50,200	1.35
	TTK536KD5 / MCX536GB5R	37,300	51,200	1.37
	TTK042KD5 / MCX042GB5W	40,900	56,000	1.37
	TTK042KD5 / MCX042GB5R	40,900	57,000	1.39

ตารางที่ ง.1 ราคาเครื่องปรับอากาศแบบตั้งแขวนฝ้าเพดาน (ต่อ)

ยี่ห้อ	Model	BTU/hr	ราคา	ราคา/BTU
Saijo Denki	DOUBLE A.P.S SSU-13	13,100	23,500	1.79
	DOUBLE A.P.S SSU-18	18,051	27,500	1.52
	DOUBLE A.P.S SSU-25	25,070	32,500	1.30
	DOUBLE A.P.S SSU-30	30,082	43,500	1.45
	DOUBLE A.P.S SSU-33	32,936	45,500	1.38
	DOUBLE A.P.S SSU-38	37,408	48,500	1.30
	DOUBLE A.P.S SSU-30S	30,300	40,500	1.34
	DOUBLE A.P.S SSU-33S	33,000	41,500	1.26
	DOUBLE A.P.S SSU-38S	38,200	45,500	1.19
	DOUBLE A.P.S SSU-30T	30,300	39,500	1.30
	DOUBLE A.P.S SSU-33T	33,000	41,500	1.26
	DOUBLE A.P.S SSU-38T	38,200	45,500	1.19
	DOUBLE A.P.S SSU-44	44,000	54,500	1.24
	DOUBLE A.P.S SSU-52	51,000	61,500	1.21
	DOUBLE A.P.S SSU-60	60,000	65,500	1.09
Carrier	38FAE013R / 42FAE004X010	13,554	20,400	1.51
	38FAE018R / 42FAE006X010	18,939	26,800	1.42
	38FAE020R / 42FAE007X010	20,106	28,000	1.39
	38FAE025S / 42FAE008X210	26,350	32,100	1.22
	38FAE030R / 42FAE009X010	30,876	39,900	1.29
	38FAE033R / 42FAE010X110	34,100	41,500	1.22
	38FAE036S / 42FAE012X210	37,854	44,600	1.18
	38FAE037S / 42FAE012X210	37,863	45,900	1.21
	38FAE040S / 42FAE014X210	40,619	52,500	1.29

ตารางที่ ง.1 ราคาเครื่องปรับอากาศแบบตั้งแขวนฝ้าเพดาน (ต่อ)

ยี่ห้อ	Model	BTU/hr	ราคา	ราคา/BTU
Daikin	FH13NUV2S	13,000	24,900	1.92
	FH18NUV2S	18,000	29,900	1.66
	FH24NUV2S	24,000	35,400	1.48
	FH30NUV2S	30,000	40,900	1.36
	FH36NUV2S	36,000	46,400	1.29
	FH42NUV2S	42,000	53,400	1.27
	FH48NUV2S	48,000	59,900	1.25
	FH62NUV2S	56,000	64,900	1.16

จากตารางข้างต้นสามารถแบ่งช่วงราคาเฉลี่ยของ 5 ยี่ห้อตามการทำงาน BTU/hr ได้ดังนี้

10,000-20,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 25,820 บาท

20,000-30,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 37,110 บาท

30,000-40,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 45,064 บาท

40,000-50,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 56,512 บาท

50,000-60,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 63,966 บาท

ตารางที่ ง.2 ราคาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแบบติดผนังแบบธรรมดา

ยี่ห้อ	Model	BTU/hr	ราคา	ราคา/BTU
Mitsubishi	MS-GK 09VA	9,207	13,500	1.47
	MS-GK 13VA	12,431	15,500	1.25
	MS-GK 18VA	18,268	23,500	1.29
	MS-GK 24VA	23,666	35,500	1.50
Trane	TTK 509BB5/MCW 509BB5	9,400	12,900	1.37
	TTK 512BB5/MCW 512BB5	12,600	15,100	1.20
	TTK 515BB5/MCW 515BB5	15,200	19,600	1.29
	TTK 518BB5/MCW 518BB5	18,800	22,700	1.21
	TTK 524BB5/MCW 524BB5	24,000	32,500	1.35
	TTK 524BB5/MCW 524BB5	30,300	44,600	1.47
	TTK 530MB/MCW 5306B	30,000	37,400	1.25
	TTK 536MB/MCW 5366B	36,000	45,100	1.25
Saijo-Denki	ECO-09-A	9,621	15,296	1.59
	ECO-12-A	12,968	15,296	1.18
	ECO-18-A	18,152	23,762	1.31
	ECO-25-A	25,435	27,855	1.10
	Super APS-10	9,060	17,135	1.89
	Super APS-13	13,706	19,037	1.39
	Super APS-16A	14,962	23,113	1.54
	Super APS-19A	18,480	25,641	1.39
	Super APS-26A	25,549	29,496	1.15
	Super APS-30A	30,333	40,930	1.35
	Super APS-33	33,437	40,390	1.21
	Super APS-36	36,221	49,964	1.38

ตารางที่ ง.2 ราคาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแบบติดผนังแบบธรรมดา (ต่อ)

ยี่ห้อ	Model	BTU/hr	ราคา	ราคา/BTU
Carrier	38TSR010	8,738	15,296	1.75
	38TSU012	13,090	15,900	1.21
	38TSU018	17,536	26,900	1.53
	38TSU018	17,536	26,900	1.53
	38TSR024	21,837	28,900	1.32
	38TSU025	22,954	34,900	1.52
Daikin	FTM09NV2S	8,900	16,900	1.90
	FTM13NV2S	12,700	19,900	1.57
	FTM15NV2S	14,400	22,900	1.59
	FTM18NV2S	18,090	26,900	1.49
	FTM24NV2S	22,530	35,900	1.59
	FTM28NV2S	24,500	37,900	1.55

จากตารางข้างต้นสามารถแบ่งช่วงราคาเฉลี่ยของ 5 ยี่ห้อตามการทำงาน BTU/hr ได้ดังนี้

10,000-20,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 19,713 บาท

20,000-30,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 33,372 บาท

30,000-40,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 44,197 บาท

ตารางที่ ง.3 ราคาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแบบติดผนังแบบ Inverter

ยี่ห้อ	Model	BTU/hr	ราคา(บาท)	ราคา/BTU
Mitsubishi	MSY-GK09VA	8,657	17,900	2.07
	MSY-GK13VA	12,104	21,500	1.78
	MSY-GK15VA	14,457	25,900	1.79
	MSY-GK18VA	17,993	28,900	1.61
	MSY-GK24VA	22,894	41,900	1.83
TRANE	TTK A09BB5/MCW A09BB5	9,200	23,800	2.59
	TTK A12BB5/MCW A12BB5	12,100	28,500	2.36
	TTK A18BB5/MCW A18BB5	18,300	38,300	2.09
Saijo-Denki	Grand Hybrid Inverter - 09	8,993	28,500	3.17
	Grand Hybrid Inverter - 12	12,357	32,500	2.63
	Grand Hybrid Inverter - 18	18,105	38,500	2.13
	Grand Hybrid Inverter - 25	24,299	46,500	1.91
	Grand Hybrid Inverter - 30	30,120	60,500	2.01
	Grand Hybrid Inverter - 36	36,450	64,500	1.77
Carrier	38TVR010	8,538	18,900	2.21
	38TVR012	11,605	22,900	1.97
	38TVR016	14,816	26,900	1.82
	38TVR018	17,181	29,900	1.74
	38TVR022	20,084	38,900	1.94
Daikin	FTKM09NV2S	8,500	23,400	2.75
	FTKM12NV2S	11,900	25,800	2.17
	FTKM15NV2S	14,300	30,400	2.13
	FTKM18NV2S	17,700	34,400	1.94
	FTKM24NV2S	20,500	43,400	2.12

จากตารางข้างต้นสามารถแบ่งช่วงราคาเฉลี่ยของ 5 ยี่ห้อตามการทำงาน BTU/h ได้ดังนี้

10,000-20,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 26,788 บาท

20,000-30,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 41,175 บาท

30,000-40,000 BTU/hr มีราคาอยู่ที่ 52,000 บาท

ตารางที่ ง.4 ราคาเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแบบติดผนังแบบ Super Inverter

ยี่ห้อ	Model	BTU/hr	ราคา	ราคา/BTU
Mitsubishi	MSZ-FK09VA	9,034	26,500	2.93
	MSZ-FK13VA	12,992	28,900	2.22
	MSZ-EF 09 VA	8,599	22,500	2.62
	MSZ-EF13 VA	11,674	26,500	2.27
Saijo Denki	Grand Hybrid Inverter - 09	8993	28,500	3.17
	Grand Hybrid Inverter - 12	12357	32,500	2.63
	Grand Hybrid Inverter - 18	18105	38,500	2.13
	Grand Hybrid Inverter - 25	24299	46,500	1.91
	Grand Hybrid Inverter - 30	30120	60,500	2.01
	Grand Hybrid Inverter - 36	36450	64,500	1.77
Carrier	42TVU010-703	8,547	20,070	2.35
	42TVU012-703	11,646	24,390	2.09
	42TVU016-703	14,517	28,800	1.98
	42TVU018-703	17,094	32,490	1.90
	42TVU022-703	19,744	41,490	2.10
Daikin	FTXZ 09 NV1S	8,500	44,500	5.24
	FTXZ 12 NV1S	11,600	51,000	4.40
	FTXZ 18 NV1S	17,100	66,000	3.86

จากตารางข้างต้นสามารถแบ่งช่วงราคาเฉลี่ยของ 4 ยี่ห้อตามการทำงาน BTU/hr ได้ดังนี้

10,000-20,000 BTU/hr	มีราคาอยู่ที่	34,176 บาท
20,000-30,000 BTU/hr	มีราคาอยู่ที่	46,500 บาท
30,000-40,000 BTU/hr	มีราคาอยู่ที่	62,500 บาท

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการคำนวณ

เนื่องจากวิธี CLTD มีประสิทธิภาพที่สุดในการหาค่าภาระการทำความเย็น จึงแสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นด้วยวิธี CLTD ของห้องภายในอาคารที่ติดกับผนังด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ดังนี้

ผนังอยู่ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ ห้อง IE 309 พื้นที่ห้อง = 40 m^2 หรือ 430.56 f^2

1 .) ความร้อนถ่ายเทจากผนังด้านนอก

จาก $Q = U' \ A' \ CLTD_C$

เนื่องจากพื้นที่ผนังของอาคารทั้งสองด้านของอาคารที่เป็นปูนแล้วสัมผัสแสงแดดมี ชั้น 1,3,4,5 และมีพื้นที่ที่สัมผัสแสงแดดคิดเป็น 1 ใน 3 ของผนังห้องด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ส่วนพื้นที่ของกระจกจะเป็น 2 ใน 3 ของพื้นที่ผนังด้านที่สัมผัสแสงแดด ดังนั้นพื้นที่ของผนังของห้อง IE 309 จะมีค่าเท่ากับ 53.79 f^2 โดยค่า U คือค่า wall Construction Group Description ในที่นี้เลือกผนัง Group E จะได้ค่า U = 0.585

ตารางที่ 1 Wall Construction Group Description

Group no.	Description of construction	Weight, lb/ft²	U value, Btu/(h · ft² · °F)	Code numbers of layers (see Table 8)
4-in Face brick + (brick)				
C	Airspace + 4-in face brick	83	0.358	A0, A2, B1, A2, E0
D	4-in Common brick	90	0.415	A0, A2, C4, E1, E0
C	1-in Insulation or airspace + 4-in common brick	90	0.174–0.301	A0, A2, C4, B1/B2, E1, E0
B	2-in Insulation + 4-in common brick	88	0.111	A0, A2, B3, C4, E1, E0
B	8-in Common brick	130	0.302	A0, A2, C9, E1, E0
A	Insulation or airspace + 8-in common brick	130	0.154–0.243	A0, A2, C9, B1/B2, E1, E0
4-in Face brick + (heavyweight concrete)				
C	Airspace + 2-in concrete	94	0.350	A0, A2, B1, C5, E1, E0
B	2-in Insulation + 4-in concrete	97	0.116	A0, A2, B3, C5, E1, E0
A	Airspace or insulation + 8-in or more concrete	143–190	0.110–0.112	A0, A2, B1, C10/11, E1, E0
4-in Face brick + (lightweight or heavyweight concrete block)				
E	4-in Block	62	0.319	A0, A2, C2, E1, E0
D	Airspace or insulation + 4-in block	62	0.153–0.246	A0, A2, C2, B1/B2, E1, E0
D	8-in Block	70	0.274	A0, A2, C7, A6, E0
C	Airspace or 1-in insulation + 6-in or 8-in block	73–89	0.221–0.275	A0, A2, B1, C7/C8, E1, E0
B	2-in Insulation + 8-in block	89	0.096–0.107	A0, A2, B3, C7/C8, E1, E0
4-in Face brick + (clay tile)				
D	4-in tile	71	0.381	A0, A2, C1, E1, E0
D	Airspace + 4-in tile	71	0.281	A0, A2, C1, B1, E1, E0
C	Insulation + 4-in tile	71	0.169	A0, A2, C1, B2, E1, E0
C	8-in Tile	96	0.275	A0, A2, C6, E1, E0
B	Airspace or 1-in insulation + 8-in tile	96	0.142–0.221	A0, A2, C6, B1/B2, E1, E0
A	2-in Insulation + 8-in tile	97	0.097	A0, A2, B3, C6, E1, E0
Heavyweight concrete wall + (finish)				
E	4-in Concrete	63	0.585	A0, A1, C5, E1, E0
D	4-in Concrete + 1-in or 2-in insulation	63	0.170–0.200	A0, A1, C5, B2/B3, E1, E0
C	2-in Insulation + 4-in concrete	63	0.119	A0, A1, B6, C5, E1, E0
C	8-in Concrete	109	0.490	A0, A1, C10, E1, E0
B	8-in Concrete + 1-in or 2-in insulation	110	0.115–0.187	A0, A1, C10, B5/B6, E1, E0
A	2-in Insulation + 8-in concrete	110	0.115	A0, A1, B3, C10, E1, E0
B	12-in Concrete	156	0.421	A0, A1, C11, E1, E0
A	12-in Concrete + insulation	156	0.113	A0, C11, B6, A6, E0

ตารางที่ 2 Cooling Load Temperature Differences for Calculating Cooling Load from Sunlit Walls

North latitude wall facing	Solar time, h																							Max. CLTD, h	Min. CLTD	Max. CLTD	Difference CLTD
	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400				
Group E Walls																												
N	12	10	8	7	5	4	3	4	5	6	7	9	11	13	15	17	19	20	21	23	20	18	16	14	20	3	22	19
NE	13	11	9	7	6	4	5	9	15	20	24	25	25	26	26	26	26	26	25	24	22	19	17	15	16	4	26	22
E	14	12	10	8	6	5	6	11	18	26	33	36	38	37	36	34	33	32	30	28	25	22	20	17	13	5	38	33
SE	15	12	10	8	7	5	5	8	12	19	25	31	35	37	37	36	34	33	31	28	26	23	20	17	15	5	37	32
S	15	12	10	8	7	5	4	3	4	5	9	15	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17	17	3	34	31
SW	22	18	15	12	10	8	6	5	6	6	7	8	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26	19	5	45	40
W	25	21	17	14	11	9	7	5	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29	20	6	49	43
NW	20	17	14	11	9	7	6	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	38	32	28	24	20	5	38	33
Group F Walls																												
N	8	6	5	3	2	1	2	4	6	7	9	11	14	17	19	21	22	23	24	23	20	16	13	11	19	1	23	22
NE	9	7	5	3	2	1	5	14	23	28	30	29	28	27	27	27	27	26	24	22	19	16	13	11	11	1	30	29
E	10	7	6	4	3	2	6	17	28	38	44	45	43	39	36	34	32	30	27	24	21	17	15	12	12	2	45	43
SE	10	7	6	4	3	2	4	10	19	28	36	41	43	42	39	36	34	31	28	25	21	18	15	12	13	2	43	41
S	10	8	6	4	3	2	1	1	3	7	13	20	27	34	38	39	38	35	31	26	22	18	15	12	10	1	39	38
SW	15	11	9	6	5	3	2	2	4	5	8	13	17	26	35	44	50	53	52	46	37	28	23	18	18	2	53	51
W	17	13	10	7	6	4	3	3	4	6	8	11	14	20	28	39	49	57	60	54	43	34	27	21	19	3	60	57
NW	14	10	8	6	4	3	2	2	3	5	8	10	13	15	21	27	39	42	48	43	35	28	22	18	19	2	48	44
Group G Walls																												
N	3	2	1	0	−1	2	7	8	9	12	16	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5	18	−1	26	27
NE	3	2	1	0	−1	9	27	36	38	35	30	26	23	21	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	8	9	−1	39	40
E	4	2	1	0	−1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	26	23	19	15	12	10	8	6	10	−1	55	56
SE	4	2	1	0	−1	5	18	32	42	48	51	48	42	36	32	30	27	26	23	19	15	12	10	8	6	11	−1	51	52
S	4	2	1	0	−1	0	1	5	12	22	31	38	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	6	14	−1	46	47
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	59	63	61	52	37	24	17	13	10	8	16	0	63	63
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	12	8	17	1	72	71
NW	5	3	2	1	0	0	2	5	8	11	15	18	21	27	37	47	55	55	41	25	17	13	10	7	18	0	55	55

1. *Direct application of the table without adjustments:* Values in the table were calculated using the same conditions for walls as outlined for the roof CLTD table, Table 1. These values may be used for all normal air-conditioning estimates, usually without correction (except as noted below) when the load is calculated for the hottest weather. For totally shaded walls, use the north orientation values.

2. *Adjustments to table values:* The following equation makes adjustments for conditions other than those listed in note 1.

$$\text{CLTD}_{corr} = (\text{CLTD} + \text{LM}K + (78 - T_R) + (T_o - 85)$$

where CLTD is from Table 1 at the wall orientation.
LM is the latitude-month correction from Table 4
K is a color adjustment factor applied after first making month-latitude adjustment
$K = 1.0$ if dark colored or light in an industrial area
$K = 0.83$ if permanently medium-colored (rural area)
$K = 0.65$ if permanently light-colored (rural area)
Credit should not be taken for wall color other than dark except where permanence of color is established by experience, as in rural areas or where there is little smoke.

SOURCE: Copyright 1989, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., www.ashrae.org. Abstracted by permission from ASHRAE Handbook, *1989 Fundamentals*, Chap. 26, Table 31. (Subsequent editions provide more extensive data.)

และสามารถคำนวณค่าความร้อน $CLTD_C$ ได้จา $CLTD_C = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_a - 85)$ จากความสัมพันธ์ของการเลือกผนังเพื่อหาค่า U ในขั้นแรก จะได้ค่า CLTD = 37 เป็นค่าที่มากสุดในผนัง Group E มาคำนวณซึ่งรายละเอียดของตัวแปลแสดงในตารางที่ 2

ค่า K คือระดับความเข้มสีของผนัง ในอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นผนังสีอ่อนค่า K เท่ากับ 0.65

LM เป็นค่า Latitude and month โดยค่า LM จะเลือกจากละติจูดที่ตั้งกับทิศของอาคารฝั่งที่โดนแสงแดด จากนั้นจะเลือกค่าที่มากที่สุด สำหรับทิศตะวันออกเฉียงใต้หน้าหนาวจะมีค่า LM มากที่สุด ในที่นี้ได้ค่าเท่ากับ 4 ซึ่งค่าตัวแปลจะแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 CLTD Correction for Latitude and Month Applied to Walls and Roofs, North Latitudes

Lat.	Month	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	HOR
8	Dec	−4	−6	−6	−6	−3	0	4	8	12	−5
	Jan/Nov	−3	−5	−6	−5	−2	0	3	6	10	−4
	Feb/Oct	−3	−4	−3	−3	−1	−1	1	2	4	−1
	Mar/Sept	−3	−2	−1	−1	−1	−2	−2	−3	−4	0
	Apr/Aug	2	2	2	0	−1	−4	−5	−7	−7	−1
	May/Jul	7	5	4	0	−2	−5	−7	−9	−7	−2
	Jun	9	6	4	0	−2	−6	−8	−9	−7	−2
16	Dec	−4	−6	−8	−8	−4	−1	4	9	13	−9
	Jan/Nov	−4	−6	−7	−7	−4	−1	4	8	12	−7
	Feb/Oct	−3	−5	−5	−4	−2	0	2	5	7	−4
	Mar/Sept	−3	−3	−2	−2	−1	−1	0	0	0	−1
	Apr/Aug	−1	0	−1	−1	−1	−3	−3	−5	−6	0
	May/Jul	4	3	3	0	−1	−4	−5	−7	−7	0
	Jun	6	4	4	1	−1	−4	−6	−8	−7	0

t_r คืออุณหภูมิภายในห้องที่ออกแบบในที่นี้ให้ $t_r = 77F^\circ$

$t_a = t_o - \frac{DB}{2}$ คืออุณหภูมิภายนอกที่ออกแบบโดยเฉลี่ย จะใช้จังหวัดเพรชบูรณ์ซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับจังหวัดพิษณุโลก หลักการเลือกคือเลือกอุณหภูมิอากาศภายนอก t_o ที่ 2% อุณหภูมิกระเปาะแห้งได้ $t_o = 97F^\circ$ และเลือก Range of DB ได้ค่าเท่ากับ 20.9 ซึ่งค่าตัวแปลจะแสดงในตารางที่ 4

จะได้ $t_a = 97 - \frac{20.9}{2} = 86.55F^\circ$

$CLTD_C = (37 + 4)0.65 + (78 - 77) + (86.55 - 85)$

$CLTD_C = 29.2F^\circ$

ตารางที่ 4

Cooling and Dehumidification Design Conditions—World Locations

Station	Cooling DB/MWB						Evaporation WB/MDB						Dehumidification DP/MDB and HR									Range of DB
	0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%		0.4%			1%			2%			
	DB	MWB	DB	MWB	DB	MWB	WB	MDB	WB	MDB	WB	MDB	DP	HR	MDB	DP	HR	MDB	DP	HR	MDB	
1	2a	2b	2c	2d	2e	2f	3a	3b	3c	3d	3e	3f	4a	4b	4c	4d	4e	4f	4g	4h	4i	5
Lugano	85	71	83	69	81	68	73	82	71	80	70	79	69	112	79	68	106	77	66	100	76	17.6
Payerne	84	67	81	66	78	64	69	81	67	78	65	76	64	95	74	63	91	73	61	86	70	19.8
Sacatis (Aut)	57	47	55	46	53	44	50	54	48	52	47	51	48	67	51	46	63	49	45	60	48	7.7
San Bernardino	69	55	67	54	64	53	58	65	57	64	55	62	56	81	62	54	76	60	52	71	58	14.9
Zurich	83	66	80	65	77	63	67	80	66	77	65	74	64	94	71	62	90	70	61	86	69	16.0
SYRIA																						
Damascus	101	64	98	64	96	64	69	85	68	85	67	84	66	103	72	64	97	72	62	91	71	33.8
TAIWAN																						
Hsinchu	93	81	92	81	91	81	83	91	82	90	81	90	80	158	89	80	154	88	79	150	87	12.4
Hualien	90	80	89	80	88	80	82	88	81	87	81	87	80	156	87	79	153	86	79	149	86	9.7
Kaohsiung	92	79	90	79	90	79	82	88	81	87	80	87	80	158	85	79	151	84	79	150	84	11.5
Taichung	94	82	93	82	91	81	84	92	83	91	82	90	82	169	90	81	162	89	80	159	89	15.1
Tainan (593580)	92	81	91	81	90	80	83	89	82	88	81	86	81	162	86	80	158	85	80	155	85	9.9
Taipei	94	80	93	80	92	80	82	91	81	90	81	90	80	153	86	79	150	86	79	148	86	13.3
Taipei Intl Airport	93	80	92	80	91	80	82	90	82	90	81	89	80	159	88	79	152	86	79	149	86	13.1
TAJIKISTAN																						
Dushanbe	99	67	97	67	95	66	71	93	69	91	68	90	64	98	83	62	91	81	60	85	80	25.6
Khujand (Leninabad)	99	67	96	66	94	66	70	92	69	91	67	90	63	90	79	61	84	79	59	79	78	23.0
THAILAND																						
Bangkok	99	80	97	79	95	78	84	94	83	91	82	89	82	164	88	81	160	87	80	156	87	16.7
Chiang Mai	100	72	98	72	96	73	79	89	78	88	78	87	77	146	83	76	139	82	75	138	81	24.5
Chiang Rai	98	72	96	72	94	73	79	89	79	88	78	87	77	147	84	76	144	83	76	141	82	25.0
Chiangbon	95	79	94	79	92	79	82	92	81	91	80	90	79	150	87	78	147	87	78	145	86	16.7
[illegible]	95	77	94	77	93	77	80	89	80	89	79	88	79	149	83	78	144	82	77	143	82	18.0
Phetchabon	101	78	99	78	97	78	82	92	81	91	81	90	79	153	87	79	150	87	78	148	86	20.9
[illegible]	101	76	99	77	97	76	81	92	81	90	80	90	79	153	86	78	149	85	78	146	85	22.1
Tak	102	74	101	74	99	74	80	90	79	89	79	88	78	146	83	77	144	83	76	140	83	18.7

ดังนั้นค่าความร้อนถ่ายเทจากผนังด้านนอกของห้อง IE 309

$Q = U' \ A' \ CLTD_C$

$Q = 0.585' \ 53.79' \ 29.2$

$Q = 918.84 BTU/hr$

2. ความร้อนถ่ายเทจากหลังคา

เนื่องจากห้อง IE 309 ไม่มีหลังคาดังนั้นความร้อนที่ถ่ายเทจากหลังคาในห้องนี้จึงมีค่าเท่ากับศูนย์

3. ความร้อนถ่ายเทผ่านกระจก

เนื่องจากพื้นที่ผนังอาคารส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของกระจะซึ่งค่าภาระความร้อนส่วนใหญ่จะมาจากการนำและการแผ่รังสีของกระจก โดยผนังที่อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้สามารถค่าความร้อน ถ่ายเทผ่านกระจกได้ดังนี้

3.1 ความร้อนเนื่องจากการนำ $Q = U' \ A' \ CLTD_C$

ผนังของอาคารทิศตะวันออกเฉียงใต้ที่เป็นกระจกจะใช้กระจกแผ่นเดี่ยวซึ่งในฤดูหนาวจะมีความร้อนสูงสุดในช่วงเช้า ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนค่า U จะเลือกในหน้าหนาวพบว่ามีค่ามากสุดดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 OVERALL HEAT TRANSFER COEFFICIENT *U* FOR GLASS (BTU/HR-FT²-F) (For glass installed vertically)

Type of Glazing	Type of Frame (Sash)			
	Aluminum (with thermal break)		Wood or Vinyl	
	Winter	Summer	Winter	Summer
Single glass	1.10	1.01	0.98	0.90
Double glass				
⅜ in. air space	0.60	0.56	0.51	0.47
⅜ in. air space E-film	0.48	0.45	0.39	0.37
Triple Glass				
⅜ in. air space	0.46	0.43	0.38	0.36
⅜ in. argon space	0.34	0.33	0.25	0.24

Note: E-film is a reflective coating (E = 0.15).
Abridged with permission from the *1993 ASHRAE Handbook—Fundamentals.*

ค่า $CLTD_C = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_a - 85)$ โดยค่า $CLTD$ การนำความร้อนของกระจกจะเลือกจากเวลาที่มีค่า $CLTD$ สูงสุดจากตารางที่ 6พบว่าที่เวลา 15.00และ 16.00 มีค่า$CLTD$ สูงสุดที่ $14F^o$ ส่วนค่า K ,t_a,t_rได้แสดงการหาไว้ในขั้นต้นแล้ว

ตารางที่ 6 Cooling Load Temperature Differences (CLTD) for Conduction Through Glass

Solar time, h	CLTD °F	Solar time, h	CLTD °F
0100	1	1300	12
0200	0	1400	13
0300	−1	1500	14
0400	−2	1600	14
0500	−2	1700	13
0600	−2	1800	12
0700	−2	1900	10
0800	0	2000	8
0900	2	2100	6
1000	4	2200	4
1100	7	2300	3
1200	9	2400	2

จะได้

$$CLTD_C = (CLTD + LM)K + (78 - t_r) + (t_a - 85)$$
$$CLTD_C = (14 + 0)0.65 + (78 - 77) + (86.55 - 85)$$
$$CLTD_C = 16.55$$

ดังนั้น ความร้อนเนื่องจากการนำผ่านกระจกของห้อง IE 309

$$Q = U' \; A' \; CLTD_C$$
$$Q = 1.10' \; 107.58' \; 16.55$$
$$Q = 1958.5 BTU / hr$$

3.2 ความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี $Q = A \times SC \times SHGF \times CLF$

ค่าความร้อนของกระจกเนื่องจากการแผ่รังสีนั้นจะใช้ค่า SC สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีแบบไม่ติดม่านและในการคำนวณจะให้กระจกเป็นกระจกใสค่าแสดงดังตารางที่ 7 ค่าSHGF จะหาจากละติจูดที่ตั้งของอาคารและทิศของผนังที่สัมผัสแสงแดดจากนั้นจะเลือกเดือนที่มีค่า แฟคเตอร์มากที่สุดในการคำนวณผนังของอาคารด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้มีค่าแฟคเตอร์มากสุดในเดือนธันวาคมค่าแสดงดังตารางที่ 8 ค่า CLF หาได้จากทิศของผนังที่สัมผัสแสงแดดกับเวลาที่แสงแดดส่องผ่านกระจกโดยไม่มีม่านกั้นจะเลือกจากเวลาที่มีค่าแฟคเตอร์มากที่สุดจากตารางที่ 9พบว่าเวลา 11.00น. มีค่าแฟคเตอร์สูงที่สุด

ดังนั้นค่าความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีผ่านกระจกของห้อง IE 309

$$Q = A \times SC \times SHGF \times CLF$$
$$Q = 107.58 \times 0.94 \times 254 \times 0.63$$
$$Q = 16,182 BTU / hr$$

4. ความร้อนผ่านผนังด้านใน พื้นและ ฝ้าเพดาน $Q = U \times A \times \Delta T$

ความร้อนจากผนังด้านในจะสมมติให้ $\Delta T = 5F^{\circ}$ และค่า Uจะใช้ค่าเดิมของผนังในหัวข้อแรก ดังนั้นค่าความร้อนผ่านผนังด้านในของห้อง IE 309

$$Q = U \times A \times \Delta T$$
$$Q = 0.585 \times 677.78 \times 5$$
$$Q = 1,982.5 BTU / hr$$

ตารางที่ 7 SHADING COEFFICIENTS FOR GLASS WITHOUT OR WITH INTERIOR SHADING DEVICES

Type of Glazing	Nominal Thickness, in. (Each light)	Without Shading	With Interior Shading: Venetian Blinds Medium	Venetian Blinds Light	Roller Shades Opaque Dark	Roller Shades Opaque Light	Roller Shades Translucent Light
Single glass							
Clear	¼	0.94	0.74	0.67	0.81	0.39	0.44
Heat absorbing	¼	0.69	0.57	0.53	0.45	0.30	0.36
Double glass							
Clear	¼	0.81	0.62	0.58	0.71	0.35	0.40
Heat absorbing	¼	0.55	0.39	0.36	0.40	0.22	0.30

Note: Venetian blinds are assumed set at a 45° position. Adapted with permission from the *1993 ASHRAE Handbook—Fundamentals*.

ตารางที่ 8 Maximum Solar Heat Gain Factors, Btu/(h · ft²), for Sunlit Glass, North Latitudes

	16°N Lat.									
	N	NNE/ NNW	NE/ NW	ENE/ WNW	E/ W	ESE/ WSW	SE/ SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	30	30	55	147	210	244	251	223	199	248
Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Apr.	39	99	172	216	227	204	150	77	45	289
May	52	132	189	218	215	179	115	45	41	282
June	66	142	194	217	207	167	99	41	41	277
July	55	132	187	214	210	174	111	44	42	277
Aug.	41	100	168	209	219	196	143	74	46	282
Sept.	36	50	134	196	227	224	191	134	93	282
Oct.	33	33	95	174	223	237	225	183	150	270
Nov.	30	30	55	145	206	241	247	220	196	246
Dec.	29	29	41	132	198	241	254	233	212	234

ตารางที่ 9 Cooling Load Factors for Glass without Interior Shading, North Latitudes

Fenestration facing	Room construction	Solar time, h																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
N (Shaded)	L	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.33	0.42	0.48	0.55	0.63	0.71	0.76	0.80	0.82	0.82	0.79	0.75	0.84	0.61	0.48	0.38	0.31	0.25	0.20
	M	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14	0.34	0.41	0.46	0.53	0.59	0.65	0.70	0.73	0.75	0.76	0.74	0.75	0.79	0.61	0.50	0.42	0.36	0.31	0.27
	H	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.38	0.45	0.49	0.55	0.60	0.65	0.69	0.72	0.72	0.72	0.70	0.70	0.75	0.57	0.46	0.39	0.34	0.31	0.28
NNE	L	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.26	0.43	0.47	0.44	0.41	0.40	0.39	0.39	0.38	0.36	0.33	0.30	0.26	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.24	0.38	0.42	0.39	0.37	0.37	0.36	0.36	0.36	0.34	0.33	0.30	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.09	0.09	0.08	0.26	0.39	0.42	0.39	0.36	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
NE	L	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.23	0.41	0.51	0.51	0.45	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.21	0.36	0.44	0.45	0.40	0.36	0.33	0.31	0.30	0.28	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.08	0.08	0.07	0.07	0.23	0.37	0.44	0.44	0.39	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
ENE	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.21	0.40	0.52	0.57	0.53	0.45	0.39	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.18	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.20	0.35	0.45	0.49	0.47	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.23	0.20	0.17	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08
	H	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.22	0.36	0.46	0.49	0.45	0.38	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10
E	L	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.19	0.37	0.51	0.57	0.57	0.50	0.42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.22	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05
	M	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.18	0.33	0.44	0.50	0.51	0.46	0.39	0.35	0.31	0.29	0.26	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08
	H	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.20	0.34	0.45	0.49	0.49	0.43	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.12	0.11	0.10
ESE	L	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.17	0.34	0.49	0.58	0.61	0.57	0.48	0.41	0.36	0.32	0.28	0.24	0.20	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06
	M	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.16	0.31	0.43	0.51	0.54	0.51	0.44	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09
	H	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08	0.19	0.32	0.43	0.50	0.52	0.49	0.41	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11
SE	L	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.13	0.28	0.43	0.55	0.62	0.63	0.57	0.48	0.42	0.37	0.33	0.28	0.24	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
	M	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.14	0.26	0.38	0.48	0.54	0.56	0.51	0.45	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12	0.10
	H	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.17	0.28	0.40	0.49	0.53	0.53	0.48	0.41	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.20	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12
SSE	L	0.07	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.15	0.29	0.43	0.55	0.63	0.64	0.60	0.52	0.45	0.40	0.35	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08
	M	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.16	0.26	0.38	0.48	0.55	0.57	0.54	0.48	0.43	0.39	0.35	0.30	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.12
	H	0.12	0.11	0.11	0.10	0.09	0.12	0.19	0.29	0.40	0.49	0.54	0.55	0.51	0.44	0.39	0.35	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.13
S	L	0.08	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.09	0.14	0.22	0.34	0.48	0.59	0.65	0.65	0.59	0.50	0.43	0.36	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
	M	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.08	0.11	0.14	0.21	0.31	0.42	0.52	0.57	0.58	0.53	0.47	0.41	0.36	0.29	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14
	H	0.13	0.12	0.12	0.11	0.10	0.11	0.14	0.17	0.24	0.33	0.43	0.51	0.56	0.55	0.50	0.43	0.37	0.32	0.26	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
SSW	L	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.06	0.09	0.11	0.15	0.19	0.27	0.39	0.52	0.62	0.67	0.65	0.58	0.46	0.36	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.18	0.25	0.35	0.46	0.55	0.59	0.59	0.53	0.44	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.14	0.16	0.18	0.21	0.27	0.37	0.46	0.53	0.57	0.55	0.49	0.40	0.32	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16
SW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.24	0.36	0.49	0.60	0.66	0.66	0.58	0.43	0.33	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.23	0.33	0.44	0.53	0.58	0.59	0.53	0.41	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.19	0.25	0.34	0.44	0.52	0.56	0.56	0.49	0.37	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
WSW	L	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.05	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.17	0.26	0.40	0.52	0.62	0.66	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.15
	M	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.17	0.24	0.35	0.46	0.54	0.58	0.55	0.42	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18
	H	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.19	0.26	0.36	0.46	0.53	0.56	0.51	0.38	0.30	0.25	0.21	0.19	0.17
W	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.12	0.14	0.20	0.32	0.45	0.57	0.64	0.61	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.19	0.29	0.40	0.50	0.56	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.16	0.21	0.30	0.40	0.49	0.54	0.52	0.38	0.30	0.24	0.21	0.18	0.16
WNW	L	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.17	0.26	0.40	0.53	0.63	0.62	0.44	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14
	M	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.17	0.24	0.35	0.47	0.55	0.55	0.41	0.33	0.27	0.23	0.20	0.17
	H	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.25	0.36	0.46	0.53	0.52	0.38	0.30	0.24	0.20	0.18	0.16
NW	L	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.17	0.19	0.23	0.33	0.47	0.59	0.60	0.42	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14
	M	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18	0.21	0.30	0.42	0.51	0.54	0.39	0.32	0.26	0.22	0.19	0.16
	H	0.14	0.12	0.11	0.10	0.10	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.18	0.19	0.22	0.30	0.41	0.50	0.51	0.36	0.29	0.23	0.20	0.17	0.15
	L	0.12	0.09	0.08	0.06	0.05	0.07	0.11	0.14	0.18	0.22	0.25	0.27	0.29	0.30	0.33	0.44	0.57	0.62	0.44	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14

5. ความร้อนจากแสงสว่าง $Q = 3.4 \times W \times BF \times CLF$

ความร้อนในส่วนนี้จะมาจากหลอดไฟภายในห้องโดยจำนำความร้อนที่หลอดไฟปล่อยออกมาโดย ค่า W จะคิดโดยให้อาคารมีการใช้งานแบบ Office ดังตารางที่ 10 ส่วนค่า BF จะใช้ค่า 1.25 เนื่องจากเป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ และค่า CLF โดยทั่วไปจะใช้ค่าเท่ากับ 1

ตารางที่ 10 Lighting Power Densities Using Space-by-Space Method

Common Space Types*	LPD, W/ft²	Building-Specific Space Types	LPD, W/ft²
Office—enclosed	1.1	Gymnasium/exercise center	
Office—open plan	1.1	Playing Area	1.4
Conference/meeting/multipurpose	1.3	Exercise Area	0.9
Classroom/lecture/training	1.4	Courthouse/police station/penitentiary	
For penitentiary	1.3	Courtroom	1.9
Lobby	1.3	Confinement cells	0.9
For hotel	1.1	Judges' chambers	1.3
For performing arts theater	3.3	Fire Stations	
For motion picture theater	1.1	Engine room	0.8
Audience/seating Area	0.9	Sleeping quarters	0.3
For gymnasium	0.4	Post office—sorting area	1.2

ดังนั้นค่าความร้อนเนื่องจากแสงสว่างของห้อง IE 309

$Q = 3.4 \times W \times BF \times CLF$
$Q = 3.4 \times 473.62 \times 1.25 \times 1$
$Q = 2{,}012.90 BTU / hr$

6. ความร้อนจากคน

ความร้อนที่ถ่ายเทจากคนหลักการคำนวณจะคิดทั้งความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงดังตารางที่ 11 โดยให้รูปแบบอาคารมีลักษณะคล้ายกับ Office กำหนดให้จำนวนคนภายในห้องนี้เท่ากับ 5 คน

ดังนั้นค่าความร้อนที่เกิดจากคนของห้อง IE 309

$Q_{sensible} = n \times Q_s \times CLF$
$Q_{latent} = n \times Q_l$
$Q_{sensible} = 5 \times 245 \times 1 = 1{,}225 BTU / hr$
$Q_{latent} = 775 BTU / hr$

ตารางที่ 11 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces, Btu/h

Degree of activity	Typical application	Total heat for adults, male[1]	Total heat adjusted[1]	Sensible heat	Latent heat
Seated at rest	Theater, movie	390	330	225	105
Seated, very light work writing	Offices, hotels, apartments	450	400	245	155
Seated, eating	Restaurant[2]	490	550[4]	275	105
Standing, light work or walking slowly	Retail store, bank	550	450	250	200
Light bench work	Factory	900	750	330	420
Walking, 3 mi/h, light machine work	Factory	1000	1000	375	105
Bowling[3]	Bowling alley	1500	1450	580	800
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	1600	1600	635	965
Heavy work, athletics	Gymnasium	2000	1800	710	1090

7. ความร้อนจากอุปกรณ์และเครื่องมือ

เนื่องจากไม่ทราบว่าแต่ละห้องมีการนำอุปกรณ์ใดมาไว้ในห้องบ้างจึงหาค่าความร้อนในหัวข้อนี้แต่ถ้าทราบว่าภายในห้องติดตั้งอุปกณ์ ดังแสดงในตารางที่ 12 ก็จะสามารถหาค่าความร้อนได้

ตารางที่ 12 Estimated Rate of Heat Release from Cooking and Miscellaneous Appliances

Appliance and capacity	Overall dim., in W × D × H	Manufacturer's input rating, Btu / h	Probable max. input, Btu / h	Estimated rate of heat release Btu/h			
				Without hood			With hood
				Sensible	Latent	Total	All sensible
Cooking, gas-burning, counter type							
Broiler-griddle	31 × 20 × 18	36,000	18,000	11,700	6,300	18,000	3,600
Coffee urn, 8-gal twin	25 in wide	20,000	10,000	7,000	3,000	10,000	2,000
Steam table, per square feet of top		2,500	1,250	750	500	1,250	250
Gas-burning, floor-mounted type							
Range, heavy-duty							
Top section	32 W × 39 D	64,000	32,000	Hood required			6,400
Oven	25 × 28 × 15	40,000	20,000	Hood required			4,000
Range, restaurant type							
Per two-burner section	12 W × 28 D	24,000	12,000	Hood required			2,400
Per oven	24 × 22 × 14	30,000	15,000	Hood required			3,000
Per broiler-griddle	24 W × 26 D	35,000	17,500	Hood required			3,500
Cooking, electric, counter type							
Coffee brewer, 240 cs/h	27 × 21 × 22	17,000	8,500	6,500	2,000	8,500	1,700
Deep-fat fryer, 14 lb	13 × 22 × 10	18,750	9,400	2,800	6,600	9,400	3,000
Toaster, cont., 360 slices/h	15 × 15 × 28	7,500	3,700	1,960	1,740	3,700	1,200
Cooking, steam-heated							
Steam table, per square feet of top		1,650	825	500	325	825	260
Steam kettle, per gallon cap.		2,000	1,000	600	400	1,000	320
Miscellaneous							
Hair dryer, helmet type		2,400		1,870	330		2,200
Instrument sterilizer		3,750		650	1,200		1,850
Bunsen burner		3,000		1,680	420		2,100

SOURCE: Copyright 1985, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., www.ashrae.org. Abstracted by permission from ASHRAE Handbook, *1985 Fundamentals*, Chap. 26, Tables 20 and 21. (Subsequent editions provide more extensive data.)

8. ความร้อนจากอากาศรั่ว

ความร้อนในส่วนนี้เกิดจากการระบายอากาศที่เกิดการแทรกซึมเข้าห้องทั้งความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงในปริมาณ CFM โดยCFM หาจากปริมาตรห้องคูณแฟคเตอร์ของอากาศที่แทรกซึมเข้าห้องดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 Estimates of Infiltration Airflow, Air Changes Per Hour

Neutral pressure, poor construction	1.0
Neutral pressure, average construction	0.6
Neutral pressure, tight construction	0.3
Pressurized, poor construction	0.5
Pressurized, average construction	0.3
Pressurized, tight construction	0.0

Reprinted with permission from Commercial Load Calculation, Manual N, copyright ACCA

ดังนั้นค่าความร้อนที่เกิดจากอากาศรั่วของห้อง IE 309

$$Q_{sensible} = 1.1 \times CFM \times TC$$

$$Q_{latent} = 4080 \times CFM \times (W_o - W_i)$$

$$Q_{sensible} = 1.1 \times \left(\frac{4236.71 \times 0.3}{60} \right) \times 20 = 465.96 BTU/hr$$

$$Q_{latent} = 4080 \times \left(\frac{4236.71 \times 0.3}{60} \right) \times (0.007) = 717.58 BTU/hr$$

9. ความร้อนจากการระบายอากาศ

ความร้อนส่วนนี้จะคล้ายกับความร้อนจากอากาศรั่วแต่ ค่า CFM จะคิดจากแฟคเตอร์ของปริมาณการรั่วของอากาศสำหรับประตูและหน้าต่างดังแสดงตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าประมาณปริมาณการรั่วของอากาศสำหรับประตู หน้าต่าง

รายการ	อากาศรั่วเข้าห้อง
หน้าต่าง	0.5 cfm/ft sash crack
ประตูกระจกบานเลื่อน	0.5 cfm/ft^2 door area
ประตูบานสวิง	1.0 cfm/ft^2 door area
ประตูบานเลื่อน	1.0 cfm/ft^2 door area
ประตูหมุน	11 cfm/ft door crack

*ความเร็วลมภายนอก 25 mph (2200 fpm)

ดังนั้นค่าความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศของห้อง IE 309

$$Q_{sensible} = 1.1 \times CFM \times TC$$
$$Q_{latent} = 4080 \times CFM \times (W_o - W_i)$$
$$Q_{sensible} = 1.1 \times (430.56 \times 0.5) \times 20 = 4376.16 BTU/hr$$
$$Q_{latent} = 4080 \times (430.56 \times 0.5) \times (0.007) = 7293.69 BTU/hr$$

ดังนั้นค่าภาระการทำความเย็นทั้งหมดของห้อง IE 309 จะเกิดจากการรวมกันของค่าความร้อนต่างๆที่คำนวณจากหัวข้อในข้างต้นและรวมกันทั้งหมดได้ที่ 33,620.84 BTU/hr

ภาคผนวก ฉ

โครงงานฉบับย่อ

กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Case Study Sprit type System Related Central System in Engineering Department at Naresuan University

จักรกริช แย้มกลีบ วิสุทธิ์ รงค์ทอง นิภัทร์ เพชระบูรณิน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering

Naresuan University, Pitsanulok

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาระบบปรับอากาศภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ (IE) อาคารวิศวกรรมโยธา (CE) และ อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า (EE) โดยได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ซึ่งเป็นระบบเดิมเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งเป็นระบบปรับอากาศใหม่ที่จะนำมาติดตั้ง การศึกษาในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การลงมือปฏิบัติจริงในการออกสำรวจพื้นที่อาคาร และการเก็บข้อมูลของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ทั้ง 3 ฤดู เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ คำนวณหาภาระการทำความเย็น สำรวจราคา ประมาณการใช้พลังงาน สำรวจปัญหาระบบปรับอากาศภายในอาคาร และเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เดิมถูกออกแบบมาให้ทำงานเต็มประสิทธิภาพที่ 280 ตันความเย็นต่ออาคาร แต่ตัวอาคารมีลักษณะแบ่งเป็นหลายห้อง บางห้องไม่มีการใช้งานอีกทั้งการใช้งานอาคารภายในคณะวิศวกรรศาสตร์มีความต้องการการปรับอากาศที่ไม่พร้อมกัน โดยมีการใช้งานโดยเฉลี่ยเพียง 20% ของขีดความสามารถสูงสุดของระบบ ซึ่งเป็นการใช้งาน ที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับขีดความสามารถสูงสุดของระบบที่สามารถทำได้ นอกจากนี้ยังพบปัญหาเกี่ยวกับรอยรั่วระหว่างชั้นภายในอาคารและปัญหาของห้องที่ไม่มีระบบลมกลับ (return air) ทำให้อากาศในห้องไม่มีการถ่ายเท จากการเปรียบเทียบราคาในการลงทุนโดยคิดแบบ NPV ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกัน

ที่ 57 ล้านบาทซึ่งไม่แตกต่างกันมาก จึงสรุปได้ว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความเหมาะสมในการติดตั้งภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์มากกว่า เพราะลักษณะของตัวอาคารที่แบ่งเป็นหลายห้อง อีกทั้งมีความต้องการในการปรับอากาศที่ไม่พร้อมกันในแต่ละห้อง และยังมีปัญหาความสะอาดของอากาศภายในห้องปรับอากาศ ที่ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนทำได้ดีกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

บทนำ

ค่าใช้จ่ายในการใช้ไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศจะมีอัตราส่วนสูงที่สุด ดั้งนั้นการเลือกใช้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โครงการนี้จึงศึกษาความเหมาะสมในการเลือกระบบปรับอากาศของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ระบบปรับอากาศที่ทำการศึกษาคือระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type system) ศึกษาเพื่อทำการเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller System) ซึ่งเป็นระบบเดิมที่คณะฯใช้อยู่ สำหรับภาระการทำความเย็นของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ส่วนใหญ่มีความต้องการในการปรับอากาศไม่พร้อมกันเครื่องจึงไม่ได้ทำงานตามภาระการทำความเย็นที่ออกแบบไว้ ซึ่งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า

โครงงานนี้จะศึกษาเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน คุณภาพของอากาศ การใช้พลังงานไฟฟ้า ราคาต่ออายุการใช้งานกับพื้นที่ ที่ใช้ทำความเย็นและอื่นๆ ตามลักษณะการใช้งานที่เหมาะสม

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เราได้ศึกษาทฤษฎีปรับอากาศและงานวิจัยซึ่งในที่นี้เราได้ศึกษาจากงานวิจัยของ H.Yang[12] ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในประเทศฮ่องกงซึ่งผลที่ออกมาคือราคาเริ่มต้นของระบบแบบแยกส่วนจะมีราคาต่ำกว่าระบบรวมศูนย์แต่ในขณะเดียวกันก็ให้คุณภาพในการปรับอากาศที่ต่ำกว่าระบบรวมศูนย์เนื่องจากมีการแกว่งของอุณหภูมิที่สูง

สำรวจอาคาร

เป็นการเดินสำรวจโดยจะแบ่งการสำรวจเป็นสามลักษณะคือสำรวจลักษณะของห้องแต่องค์ประกอบโดยรวมของตึก สำรวจจำนวนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการติดตั้งอยู่เดิมจากการสำรวจพบว่าตึกของภาควิชาไฟฟ้ามี 49 ตัว ภาควิชาโยธา 43 ตัว และภาควิชาอุตสาสหการ 43 ตัวและยังได้ สำรวจถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการปรับอากาศของคณะฯ หลังจากนั้นได้ทำการวาดผังอาคารทั้งสามอาคารโดยวาดจากโปรแกรม Microsoft Visio เพื่อจะทราบขนาดของห้องและคำนวณหาภาระการทำความเย็นต่อไป

ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบเดิม

โดยการตรวจสอบประสิทธิภาพนั้นเราจะตรวจสอบจากค่า COP ของระบบและทำการหาค่าภาระการทำความเย็นของระบบโดยมีวิธีการหาค่าภาระการทำความเย็นทั้งสิ้น 3 วิธี คือ CLTD แบบต่อตารางเมตร และแบบตารางคู่มือวิศวกร

เก็บข้อมูลของระบบที่ใช้อยู่เดิม (แบบรวมศูนย์)

การเก็บข้อมูลนั้นจะทำการวัดความดันที่ทางเข้าและทางออกของคอมเพสเซอร์ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกของอีวาบโพเรเตอร์ และกำลังไฟที่ใช้ของระบบ โดยจะทำการเก็บข้อมูลทั้งสิ้นเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูฝน ฤดูร้อน ฤดูหนาว ซึ่งแต่ละฤดูเราจะทำการเก็บสามช่วงเวลา เช้า กลางวัน และเย็น นอกจากนี้ยังเก็บข้อมูลในขณะที่เครื่องไม่มีการทำงานอีกด้วยเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบพลังงานที่ระบบใช้ในอาคาร

ตรวจสอบราคาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในท้องตลาดปัจจุบัน

เป็นการหาข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน เราได้ทำการแบ่งขอบเขตของราคาตามขนาดภาระทำความเย็นและลักษณะระบบแบบ inverter ซึ่งระบบ inverter นั้นจะมีราคาที่สูงกว่าระบบธรรมดาเนื่องจากจะให้ค่า EER ที่สูงกว่าหรือประหยัดไฟฟ้ามากกว่าระบบธรรมดานั้นเอง ซึ้งเราได้เลือกทั้งหมด 4 ยี่ห้อได้แก่ Samsung Mitsubishi Trane Saijo denki และ Carrier

ประมาณการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

หลังจากที่ทราบค่า EER ของเครื่องปรับอากาศแต่ละยี่ห้อที่ได้เลือกมานั้นได้ทำการ ประมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละยี่ห้อและเลือกขนาดภาระทำความเย็นให้เหมาะสม กับขนาดของห้องในคณะฯเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

วิเคราะห์และเปรียบเทียบระบบปรับอากาศ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาทฤษฎีและเก็บข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์แล้วนำข้อมูลต่างๆมาเปรียบเทียบทางด้านพลังงาน ด้านการใช้งาน และทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่เหมาะสมกับความต้องการการปรับอากาศของคณะวิศวกรรมศาสตร์

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

การสำรวจอาคาร

สภาพแวดล้อมโดยรวมของอาคาร

อาคารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรตั้งอยู่บนพื้นที่ในเขตคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร ประกอบด้วยกลุ่มอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ทั้งสิ้น 8 อาคาร คือ อาคารเรียนรวม อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ อาคารวิศวกรรมโยธา อาคารวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ และอาคารปฏิบัติการอีก 4 อาคาร หลังจากการสำรวจอาคารพบว่า อาคารวิศวกรรมศาสตร์ตัวอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กสูง 7 ชั้น วางตัวตามแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก เนื่องจากข้อมูลพื้นที่ผังอาคารที่มีอยู่เดิมไม่เพียงพอต่อการหาค่าภาระทำความเย็นจึงได้มีการสำรวจอาคารเพื่อหาขนาดพื้นที่ห้องจริงจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมาเขียนผังอาคารโดยใช้โปรแกรม Microsoft visio จากผังอาคารพบว่าอาคารวิศวกรรมโยธา อาคารวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการมีการวางตัวของห้องภายในอาคารที่เหมือนกันโดยผังอาคารจะอยู่ในภาคผนวกแต่อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์มีการวางตัวของห้องที่แตกต่างกันแสดงในภาคผนวก หลังจากวาดแผนผังอาคารทำให้ทราบพื้นที่ทั้งหมดของอาคารและพื้นที่ที่ปรับอากาศของอาคารแสดงตามตารางที่ 1จากการสำรวจพบว่าภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้องในแต่ละห้องมีความต้องการในการปรับอากาศไม่เท่ากัน และบางห้องของอาคารมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมไปบ้างแล้ว แสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 พื้นที่ทั้งหมดของอาคารและพื้นที่ที่ปรับอากาศ

อาคาร	พื้นที่	
	พื้นที่ทั้งหมด(ตารางเมตร)	พื้นที่ที่มีการปรับอากาศ(ตารางเมตร)
อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ	8,316	4,078
อาคารวิศวกรรมโยธา	8,316	4,078
อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า	9,576	5,073

ตารางที่ 2 จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีการติดตั้งอยู่เดิม

อาคาร	จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน
อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ	26
อาคารวิศวกรรมโยธา	43
อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า	49

ลักษณะการปรับของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ระบบปรับอากาศเป็นแบบรวมศูนย์โดยชิลเลอร์ ซึ่งเป็นระบบจ่ายน้ำเย็นจากเครื่องส่วนกลางไปยังห้องปรับอากาศโดยใช้แฟนคอล์ยยูนิตเป็นอุปกรณ์ปลายทางที่จะทำให้อากาศในห้องเย็น เครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ยี่ห้อ Trane ขนาด 70 ตันความเย็น ซึ่งแต่ละอาคารมีชิลเลอร์อยู่อาคารละ 4 เครื่อง แบ่งเป็นฝั่งละ 2 เครื่อง มีลักษณะการวางตัวของชิลเลอร์ โดยที่ชิลเลอร์แต่ละเครื่องจะมีอุปกรณ์ต่างๆทำงานในระบบ เช่น ปั๊ม วาวล์ เกจความดันและเกจอุณหภมิ โดยชิลเลอร์ 1 เครื่องมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5 กิโลวัตต์ ท่อน้ำเป็นท่อเหล็กกล้าหุ้มฉนวนโฟมโพลียูรีเทน และมีห้องควบคุมไฟฟ้าอยู่ภายในชั้น 1 ของแต่ละอาคาร จากการสำรวจเครื่องชิลเลอร์ใน ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว ทั้ง 3 เวลาพบว่าแต่ละอาคารเครื่องชิลเลอร์จะทำงานไม่ครบทุกเครื่องโดยจะทำงานอาคารละ 2 เครื่องจากทั้งหมด 4 เครื่องและจะสลับกันทำงานในแต่ละวัน ส่วนปัญหาที่พบภายในอาคารพบว่ามีการฉีกขาดของฉนวนความร้อนของท่อน้ำ และห้องที่ปรับอากาศบางห้องพบปัญหาการรั่วไหลของอากาศโดยมีช่องเปิดขนาดใหญ่เนื่องจากผนังไม่ติดกันด้านบนฝ้าเพดาน บางห้องมีลักษณะเปิดถึงกันได้ ซึ่งไม่มีผนังกั้นเพดานระหว่างห้อง ดังนั้นลมกลับจะดูดอากาศที่มีฝุ่นผงกลับเข้าไปในแฟนคอล์ยโดยตรง

เก็บข้อมูล เพื่อนำมาวิเคราะห์ผล

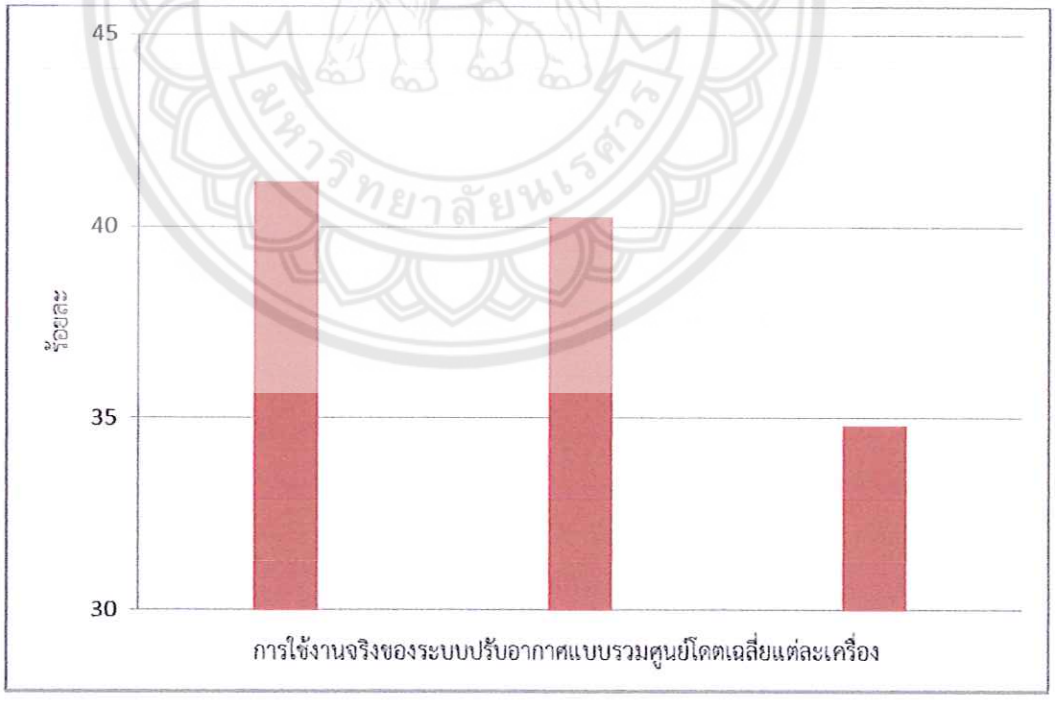
ในการเก็บข้อมูลเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 11 เมษายน 2557 – 17 ธันวาคม 2557 โดยข้อมูลที่เก็บจะเป็นข้อมูลทางด้าน ไฟฟ้า กำลังไฟ อุณหภูมิ ความดัน ของชิลเลอร์และปั๊มน้ำ ทำการเก็บข้อมูลวันละ 3 ครั้งในอาคารเรียน IE, CE, EE ที่เวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. ทั้งหมด 3 ฤดูกาลได้แก่ ฤดูร้อน ฤดูฝน ฤดูหนาว และนำค่าแต่ละช่วงเวลามาเฉลี่ยกันเพื่อวิเคราะห์หาค่าภาระการทำความร้อน ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องชิลเลอร์ และค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องชิลเลอร์ใช้ ซึ่งจะแสดงไว้ในตารางที่ 3

จากข้อมูลจะเห็นว่าทั้ง 3 ฤดูเครื่องชิลเลอร์จะทำงานไม่เต็มที่โดยจะทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ 30 - 40 เปอร์เซ็นและจากการสำรวจอาคารที่เครื่องชิลเลอร์แต่ละอาคารทำงานเพียง 2 เครื่องจากทั้งหมด 4 เครื่องจะได้ว่าแต่ละอาคารชิลเลอร์ทำงานเฉลี่ยอยู่ที่ตัวละ 20 - 30 ตันความเย็น ในขณะที่ความเย็นรวมของเครื่องในแต่ละอาคารอยู่ที่ 280 ตันความเย็นทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากห้องภายในอาคารอาคารมีการใช้งานที่ไม่พร้อมกันและมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนในบางห้องเพิ่มเข้าไป

ดังนั้นการที่จะหาประสิทธิภาพของเครื่องชิลเลอร์เดิมเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะใช้ค่า EER จากค่า IPLV(INTEGRATED PART LOAD VALUE) เพราะแต่ละห้องมีการใช้งานที่ไม่พร้อมกันทำให้เครื่องชิลเลอร์ต้องปรับขนาดการทำความเย็นตามภาระการทำความเย็นรวมของอาคารแต่ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสามารถใช้ค่า EER หาประสิทธิภาพได้เลยเพราะว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนจะทำงานเต็มกำลังในแต่ละครั้งที่มีการใช้งานการใช้งาน

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของเครื่องชิลเลอร์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์

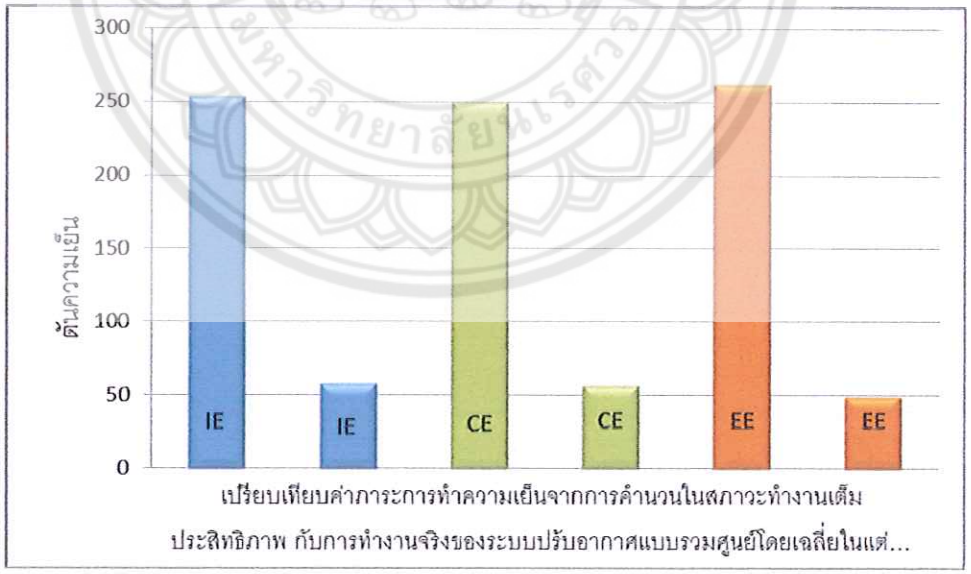
เครื่องที่ทำงาน	IE		CE		EE	
	1	3	1	3	1	3
Power (kW)	32.57	43.17	37.09	34.19	32.02	29.68
Flow rate (gpm)	169.97	182.79	164.84	170.48	162.28	162.28
Q (Btu/hr)	274,917.39	416,281.67	338,936.61	337,383.69	309,682.14	275,080.67
Q (ton-R)	22.91	34.69	28.24	28.12	25.81	22.92
COP	2.48	2.82	2.72	2.85	2.83	2.77
EER	8.33	9.47	9.63	9.76	9.86	9.73
kW/Ton	1.42	1.24	1.31	1.22	1.24	1.29



รูปที่ 1 การใช้งานจริงของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยเฉลี่ยแต่ละเครื่อง

การหาค่าภาระการทำความเย็น

การหาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ ทั้ง 3 อาคารโดยจากการสำรวจอาคาร ทำให้ทราบว่าระบบปรับอากาศเดิมมีการติดตั้งแฟนคอยต์ยูนิตภายในของแต่ละห้องไว้แล้วห้องละกี่ตัวทำให้หาภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศเดิมแต่ละห้องได้และประมาณได้ว่าการติดตั้งแฟนคอยต์ยูนิต น่าจะมีลักษณะการติดคล้ายกันทั้ง 3 อาคารโดยน่าจะใช้พื้นที่ห้องเป็นเกณฑ์ในการติดตั้ง และได้ทำการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นเพิ่มเติมอีกโดยจะใช้วิธีการหาทั้งหมด 3 วิธีได้แก่วิธีการหาแบบ CLTD การหาแบบตารางเมตร และการหาแบบภาระทำความเย็นแบบตารางคู่มือวิศวกรหลักการคำนวณจะอยู่ในบทที่ 2 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อความแม่นยำจากผลการคำนวณที่ได้มาพบว่าในแต่ละอาคารมีการออกแบบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ให้มีการทำงาน 100% แต่มีการใช้งานจริงเพียง 20% เท่านั้น และพบว่าแต่ละอาคารออกแบบให้มีความต้องการค่าภาระการทำความเย็นทั้งหมดประมาณ 250 ตันความเย็น แต่มีการใช้งานจริงเพียงอาคารละประมาณ 50 ตันความเย็นในแต่ละวันแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณในสภาวะทำงานเต็มประสิทธิภาพกับการทำงานจริงของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยเฉลี่ยในแต่ละอาคาร

การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์

ในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ขั้นตอนแรกคือการสำรวจขนาดพื้นที่ห้องและคำนวณภาระทำความเย็น โดยใช้วิธีการคำนวณ 3 วิธี ได้แก่ 1.ภาระทำความเย็นแบบ CLTD 2.ภาระทำความเย็นแบบตารางเมตร 3.ภาระทำความเย็นแบบตารางคู่มือวิศวกร ดังแสดงในหัวข้อที่ 4.3 หลังจากนั้นนำค่าภาระทำความเย็นที่คำนวณได้จาก 3 วิธี หาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาใช้ในการเลือกขนาด BTU/hr และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อติดตั้ง ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยได้แบ่งขนาด BTU/hr ออกเป็น 3 ขนาด คือ 9,000-20,000 BTU/hr 20,000-30,000 BTU/h และ 30,000-40,000 BTU/hr ซึ่งได้จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อติดตั้งจากการออกแบบจากการออกแบบพบว่าเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 30,000-40,000BTU/hr มีการติดตั้งเยอะที่สุด แสดงตามตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ได้ออกแบบไว้ของอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์

อาคาร	ขนาด BTU/hr	จำนวนเครื่องปรับอากาศ(ตัว)
วิศวกรรมไฟฟ้า	9,000-20,000	35
	20,000-30,000	19
	30,000-40,000	109
วิศวกรรมอุตสาหการ	9,000-20,000	34
	20,000-30,000	20
	30,000-40,000	73
วิศวกรรมโยธา	9,000-20,000	34
	20,000-30,000	20
	30,000-40,000	74

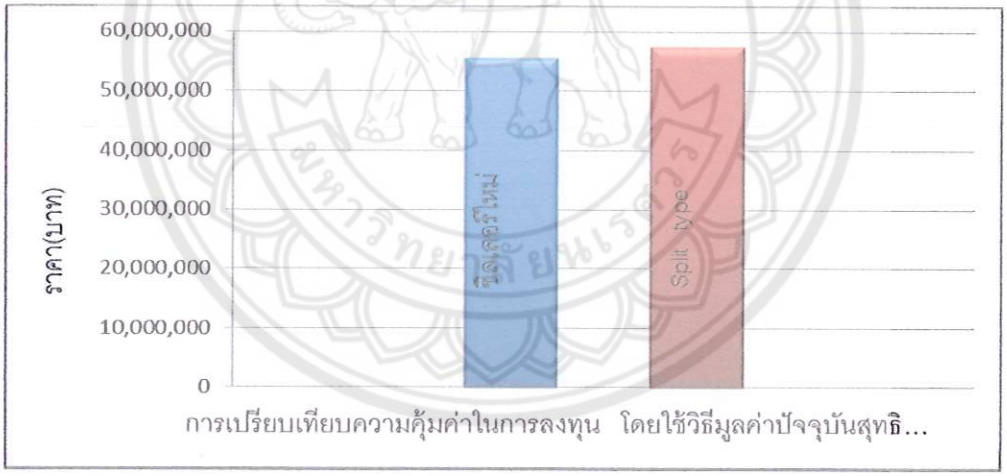
การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบรวมศูนย์

การพิจารณาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อที่จะมาแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีการพิจารณาเพิ่มมาเป็น 2 กรณีคือการใช้เครื่องชิลเลอร์เดิม และการเปลี่ยนเครื่องชิลเลอร์ใหม่ ปกติแล้วราคาลงทุนในการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีค่าติดตั้งสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมากแต่ชิ้นส่วนเดิมบางส่วนของเครื่องชิลเลอร์และ AHU ยังสามารถใช้แทนกันได้การประมาณราคาของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จึงประมาณราคาในการซ่อมบำรุงเท่านั้น ส่วนการประมาณราคาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจะใช้จำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ติดตั้งทั้ง 3 อาคารมาประมาณราคาและจากการสำรวจอาคารภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์พบว่าอาคารแต่เดิมไม่มีการเดินสายไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงมาเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจริงจะต้องคิดค่าราคาในการเดินระบบไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ โดยการเลือกเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมาติดตั้งจะใช้การคำนวณค่าภาระการทำความเย็นของแต่ละอาคารเพื่อเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งจำนวนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

การเปรียบเทียบการประมาณราคาและการใช้พลังงานทั้งหมดของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เดิมและระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ใหม่จะแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 จากตารางพบว่าการคำนวณการประเมินระยะเวลาที่จะคืนทุนสำหรับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีระยะเวลาคืนทุนที่ 20 ปีซึ่งถือว่าเท่ากับอายุการใช้งานของเครื่องชิลเลอร์ ซึ่งเมื่อเข้าสู่ปีที่ 15 อาจจะต้องมีค่าซ่อมบำรุงเพิ่มเข้ามาด้วยเหมือนกับเครื่องชิลเลอร์เก่าในปัจจุบันที่มีอายุการใช้งานเหลืออีก 4-5 ปีซึ่งหลังจากระยะเวลาดังกล่าวเครื่องชิลเลอร์อาจเสียหายจนซ่อมไม่ได้อาจต้องมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนซึ่งก็ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเข้ามาอีก สำหรับกรณีของการเปลี่ยนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต้องใช้เวลาประมาณ 12 ปีถึงจะคุ้มทุนซึ่งพบว่าเวลาจะใกล้เคียงกับอายุของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพอดี สำหรับการเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนการเปลี่ยนนำเอาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมาแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยใช้ระยะเวลาของอายุเครื่องที่ 20 ปีเช่นเดียวกับเครื่องชิลเลอร์พบว่าทั้งการนำระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมาเปลี่ยนและเครื่องชิลเลอร์ใหม่มีค่า NPV ไม่แตกต่างกันมาก ที่ราคาประมาณ 55 - 57 ล้านบาทแสดงในรูปที่ 3

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และปริมาณการใช้พลังงาน

	ซิลเลอร์เก่า	ซิลเลอร์ใหม่	split type
การใช้พลังงานไฟฟ้า	412,083.80	250,113.60	340,761.60
ค่าไฟฟ้ารายปี (บาท)	1,545,314	937,926	1,277,856
ค่าซ่อมแซมรายปี	840,000.00	-	-
ค่าบำรุงรักษารายปี	854,400.00	854,400.00	418,000.00
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	3,239,714.23	1,792,326.00	1,695,856.00
ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้	-	1,447,388.23	1,543,858.23
Initial cost	-	28,800,000	18,642,925
ระยะเวลาคืนทุน	-	19.9	12.1
NPV	-	-55,465,285	-57,452,872



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ด้วยการใช้ระยะเวลาของอายุเครื่อง 20 ปี

สรุปผลการทดลอง

กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศ แบบรวมศูนย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรโดยดำเนินการศึกษา การสำรวจอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์ เก็บข้อมูลของชิลเลอร์และปั๊มน้ำ มาวิเคราะห์ผล หาค่าภาระการทำความเย็นออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการดำเนินงานในส่วนแรกพบว่า

การสำรวจอาคารโดยทำการออกสำรวจ 3 อาคารได้แก่ อาคารเรียนวิศวกรรมอุตสาหการอาคารเรียนวิศวกรรมโยธา และอาคารเรียนวิศวกรรมไฟฟ้า โดยจากสำรวจพบว่าอาคารวิศวกรรมศาสตร์ผนังกว่า 60% ของอาคารเป็นกระจก ภายในอาคารมีการแบ่งพื้นที่ใช้ออกเป็นห้อง ซึ่งห้องส่วนใหญ่มีการปรับอากาศ อาคารวิศวกรรมศาสตร์ใช้ระบบปรับอากาศเป็นแบบน้ำทั้งหมด เครื่องปรับอากาศเป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 70 ตันความเย็นมีการทำงานแบบสลับกันทำงาน และมีเครื่องสูบน้ำขนาด 7.5 กิโลวัตต์ พบว่าบางห้องได้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเข้ามา

เก็บข้อมูลของเครื่องชิลเลอร์และปั๊มน้ำโดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 3 ฤดูกาลจากการเก็บข้อมูลพบว่าแต่ละอาคารมีชิลเลอร์ทั้งหมด 4 เครื่องแต่ละเครื่องมีขนาด 70 ตันความเย็นทำงานอาคารละ 2 เครื่องโดยแบ่งเป็นฝั่งละเครื่อง ตามการใช้งานพบว่าเครื่องชิลเลอร์ทำงานโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีอยู่ที่เครื่องละ 20 – 30 ตันความเย็นคิดเป็น 40% ของการทำงานจริงจาก 100% ในขณะที่ความเย็นรวมของเครื่องอยู่ที่ 280 ตันความเย็น

หาค่าภาระการทำความเย็นของอาคารเรียนคณะวิศวกรรมศาสตร์โดยหาทั้งหมด 3 วิธี จากผลการคำนวณพบว่า แต่ละอาคารมีการออกแบบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ให้มีการทำงาน 100% แต่มีการใช้งานจริงเพียง 20% เท่านั้น และพบว่าแต่ละอาคารออกแบบให้มีความต้องการค่าภาระการทำความเย็นทั้งหมดประมาณ 250 ตันความเย็น แต่มีการใช้งานจริงเพียงอาคารละประมาณ 50 ตันความเย็น

การออกแบบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนของอาคารเรียนในคณะวิศวกรรมศาสตร์จะเลือกขนาดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ได้สำรวจราคามาแล้วนำมาเลือกขนาดจาก CLTD ที่คำนวณมาได้ก่อนหน้านี้โดยได้แบ่งขนาดออกเป็น 3 ขนาด คือ 9,000 - 20,000 BTU/hr 20,000 - 30,000 BTU/hr และ 30,000 - 40,000 BTU/hr ซึ่งได้จำนวน เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพื่อติดตั้งจากการออกแบบ อาคารวิศวกรรมไฟฟ้าได้ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนตามที่ออกแบบทั้งหมด 163 ตัว อาคารวิศวกรรมโยธา 128 ตัว อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ 127 ตัวจากการออกแบบพบว่าต้องมีค่าในการเดินระบบสายเพิ่มขึ้นอีกหากจะติดตั้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบความคุ้มค่าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ปกติแล้วราคาลงทุนในการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีค่าติดตั้งสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมากแต่ชิ้นส่วนเดิมบางส่วนของเครื่องชิลเลอร์และ AHU ยังสามารถใช้แทนกันได้ ส่วนการประมาณราคาระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบว่าอาคารแต่เดิมไม่มีการเดินสายไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงมาเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนจริงจะต้องคิดค่าราคาในการเดินระบบไฟฟ้าขึ้นมาใหม่ การคำนวณการประเมินระยะเวลาที่จะคืนทุนด้วยวิธี NPV สำหรับระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีระยะเวลาคืนทุนที่ 20 ปี สำหรับกรณีของการเปลี่ยนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนต้องใช้เวลาประมาณ 12 ปีโดยค่า NPV ของทั้งสองระบบไม่แตกต่างกันมาก ที่ราคาประมาณ 55 - 57 ล้านบาท

ภาคผนวก ช

โปสเตอร์

กรณีศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศ แบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Case Study Sprit type System Related Central Systemin Engineering Department at Naresuan University

นายจักรกริช แย้มกลีบ 54360568 นายวิสุทธิ์ รงค์ทอง 54360810 นายนิภัทร์ เพชระบูรณิน 54363286

ดร. นินนาท ราชประดิษฐ์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)

คณะวิศวะกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 6500

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคารวิศวกรรมอุตสาหการ (IE) อาคารวิศวกรรมโยธา (CE) และ อาคารวิศวกรรมไฟฟ้า (EE)โดยได้ทำการศึกษาระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ซึ่งเป็นระบบเดิมเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน การศึกษาในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การลงมือทำจริงในการออกสำรวจพื้นที่ การเก็บข้อมูลของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ทั้ง 3 ฤดู ตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ คำนวณหาภาระการทำความเย็น สำรวจราคา ประมาณการใช้พลังงานและสำรวจปัญหาระบบปรับอากาศภายในอาคาร พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์เดิมมีการใช้งานโดยเฉลี่ยเพียง 20% ของขีดความสามารถของระบบ และถ้าเปรียบเทียบราคาในการลงทุนโดยดิสแบบ NPV ระบบแบบรวมศูนย์และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่าใกล้เคียงกันที่ 57 ล้านบาท

ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากระบบปรับอากาศเดิมของคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ใช้เป็นระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีการทำงานที่เกินความต้องการของภาระโหลดจริงและระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีอายุการใช้งานมานานทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปีที่สูง โครงงานนี้จึงเห็นความสำคัญในส่วนนี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ในการเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมในการติดตั้งใหม่ในอนาคตระหว่างระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์กับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้ความรู้ในวิชาวิศวกรรมการปรับอากาศและการระบายอากาศที่ได้เรียนรู้มาปฏิบัติจริงในการทำโครงงาน

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาการใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแทนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรโดยเป็นการปฏิบัติจริงในการทำงาน

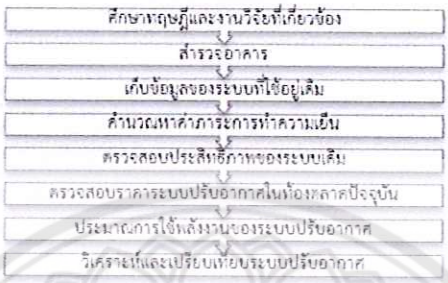
หฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการทำงานของระบบปรับอากาศคือการปรับสภาวะอากาศให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการ โดยทำให้เกิดความรู้สึกสบายล่อผู้อยู่อาศัยตามสถานที่ต่างๆ ระบบปรับอากาศแต่ละประเภทจะแลกต่างกันตามลักษณะการออกแบบการติดตั้งและใช้งานซึ่งจะต้องใช้เครื่องทำความเย็นที่ทำงานโดยอาศัยหลักการของวัฏจักรทำความเย็น

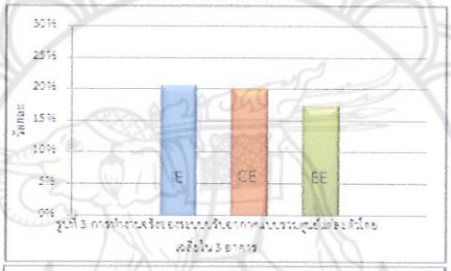
อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Ratio, EER)

สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP

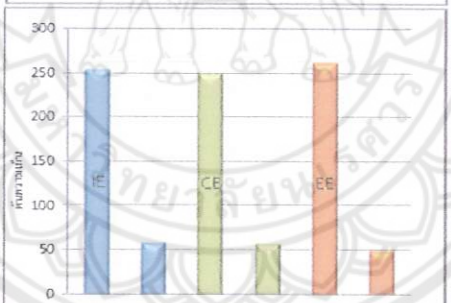
วิธีการดำเนินโครงงาน



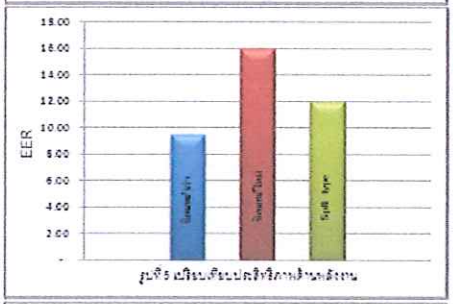
ผลการวิเคราะห์



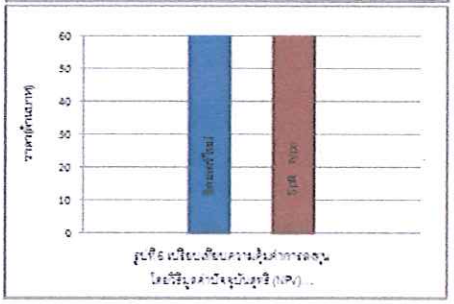
รูปที่ 3 การทำงานเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และปัจจุบันเดิมใน 3 อาคาร



รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นจากการคำนวณโดยการทำงานเต็มประสิทธิภาพกับการทำงานจริงของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ปัจจุบันเดิม

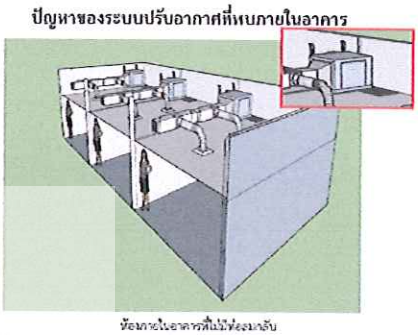


รูปที่ 5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านพลังงาน

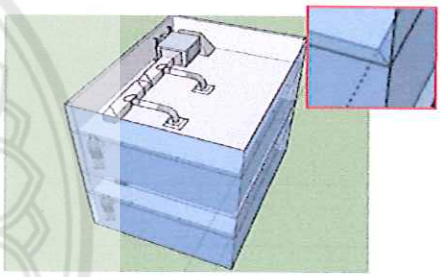


รูปที่ 6 เปรียบเทียบความคุ้มค่าการลงทุนโดยวิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

ปัญหาของระบบปรับอากาศที่พบภายในอาคาร



ห้องภายในอาคารที่ไม่ได้ต่อระบบปรับ



อากาศร้อนด้านบน

สรุปผล

ลักษณะการใช้งานของอาคารแบ่งพื้นที่การใช้งานเป็นห้องแยกออกจากกันและการใช้งานของอาคารภายใน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มีการใช้งานไม่เต็มพื้นที่ของอาคารดังนั้นการลงทุนโดยติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จึงสูงกว่าความจำเป็น

หลังจากการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นพบว่าในแต่ละอาคารมีการออกแบบระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ให้มีการทำงาน 100% แต่มีการใช้งานจริงเพียง 20% เท่านั้น

เมื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการลงทุนแล้วระบบเครื่องปรับอากาศเป็นแบบแยกส่วน มีค่า NPV อยู่ที่ -57,452,872 ล้านบาทใช้ระยะเวลา คืนทุน 12 ปี ถ้าติดตั้งระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ใหม่ค่า NPV อยู่ที่ -55,465,285 ล้านบาทใช้ระยะเวลาคืนทุน 20ปี

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ-นามสกุล นายจักรกริช แย้มกลีบ

วันเดือนปีเกิด วันศุกร์ ที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2535

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 154/9 หมู่ 1 ต.บึงพระ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ.2553 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนผดุงราษฎร์ จังหวัดพิษณุโลก
- ปัจจุบันนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ-นามสกุล นาย วิสุทธิ์ รงค์ทอง

วันเดือนปีเกิด วัน เสาร์ ที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2536

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 10/6 หมู่ 6 ต.ทุ่งโพ อ.กนองฉาง จ.อุทัยธานี 61110

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ.2553 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนหนองฉางวิทยา จังหวัดอุทัยธานี
- ปัจจุบันนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชื่อ-นามสกุล นาย นิภัทร์ เพชระบูรณิน

วันเดือนปีเกิด วัน พุธ ที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2535

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 78 ม.6 ต.ชนแดน อ.ชนแดน จ.เพชรบูรณ์ 67150

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ.2553 จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนชนแดนวิทยาคม
- ปัจจุบันนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร