รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของการออกแบบผนังของห้องชุดที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ
A Study of the Effect of Wall Design of Condominium Units on Air Conditioning System

นางสาวณัฐฐิญา ชาญสิริโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของการออกแบบผนังของห้องชุดที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ

A Study of the Effect of Wall Design of Condominium Units on Air Conditioning System

นางสาวณัฐฐิญา ชาญสิริโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การศึกษาผลของการออกแบบผนังของห้องชุดที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวณัฐฐิญา ชาญสิริโรจน์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายจุติเวช แก้วอำไพ

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษา ที่กำหนดให้นักศึกษาทำโครงงานร่วมกับสถานประกอบการตลอดระยะเวลาหนึ่งภาคการศึกษา โดยรายงานฉบับนี้นำเสนอการศึกษาผลของการออกแบบผนังของห้องชุดต่อระบบปรับอากาศของห้องชุด และการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ รวมถึงผลต่อค่าใช้จ่ายของระบบไฟฟ้า โดยคำนวณจากภาระการปรับอากาศ เลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ และค่าใช้จ่ายในแต่ละทางเลือกการออกแบบ ในการศึกษานี้ศึกษาทางเลือกในการออกแบบได้ถูกจำแนกออกเป็น 3 ทางเลือกได้แก่ 1. การเพิ่มความหนาของอิฐมวลเบา 2. การใช้กระจกลามิเนตที่คั่นด้วยโพลีไวนิลบิวทิรัล (PVB) แทนการใช้กระจกสีตัดแสง และ 3. การรวมวิธีที่ 1 และ 2 เข้าด้วยกัน โดยผลการศึกษาจะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการลดภาระการปรับอากาศ และสามารถเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศที่คุ้มค่า รวมถึงศึกษาผลกระทบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ : การออกแบบผนัง, ระบบปรับอากาศ, ห้องชุด

Co-operative Title: A Study of the Effect of Wall Design of Condominium Units on Air Conditioning System

Student Intern Name: Miss Natthiya Chansirirot

Faculty: Engineering **Department:** Electrical Engineering

Advisor Name: Asst.Prof.Dr.Warachart Suwan-ngam

Mentor Name: Mr.Jutivesh Kaewumphai

Company: Supalai Public Company Limited

ABSTRACT

The cooperative education report is a part of a cooperative education program that requires students to work on a project for a period of one semester. This report presents the study of the effect of the wall design of the condominium units on air conditioning system. The study is performed by calculating the air conditioning load, selecting the size of the conditions and considering the cost of each design. In this study, three different designs, such as 1. increasing the wall thickness, 2. changing the type of glass and 3. combining the first two designs are considered. The study results are then compared for using as a guideline for reducing the burden of the air conditioner and for selecting the proper size of the air conditioner. Other impacts are also presented in this study.

Keywords: Wall design, Air conditioning system, Condominium unit

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ได้รับการอนุเคราะห์ความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายท่านจึงทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณโดยเฉพาะบริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) ที่ให้โอกาสผู้จัดทำเข้าร่วมทำโครงงานกับทางบริษัท ข้าพเจ้าได้รับความรู้ ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการทำโครงงานสหกิจศึกษาตลอดระยะเวลาในการจัดทำโครงงานจากทางบริษัท

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ที่ให้การปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดทำโครงงานสหกิจ ให้ความช่วยเหลือและความสนับสนุนตลอดการทำโครงงานสหกิจเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณจุติเวช แก้วอำไพ ผู้ช่วยผู้จัดการแผนก ซึ่งเป็นพนักงานที่ปรึกษา รวมถึงพนักงานฝ่ายก่อสร้างอาคารสูง บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) ทุกคน ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความสนับสนุนในการทำโครงงานสหกิจตลอดมา

ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการศึกษา การเงินและกำลังใจ รวมถึงเพื่อนร่วมงานทุกคนและผู้มีเกี่ยวข้องกับโครงงานสหกิจฉบับนี้ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึง ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวณัฐฐิญา ชาญสิริโรจน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2

1.4 วิธีการศึกษา 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) 3

2.1.1 การนำความร้อน (Conduction) 3

2.1.2 การพาความร้อน (Convection) 3

2.1.3 การแผ่รังสี (Radiation) 3

2.2 ภาระการปรับอากาศ (Air conditioning load) 3

2.2.1 ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศผ่านผนังทึบ 4

2.2.1.1 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังของพื้นที่ปรับอากาศ 4

2.2.1.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิของเพดานและพื้น 4

2.2.1.3 ผลกระทบเนื่องจากรังสีจากดวงอาทิตย์ 4

2.2.2 ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยการแผ่รังสีผ่านวัสดุโปร่งแสง 5

2.2.3 ความร้อนจากคนภายในพื้นที่ปรับอากาศ 5

2.2.4 ความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในพื้นที่ปรับอากาศ 7

2.2.5 ความร้อนจากอากาศที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศและการระบายอากาศ 7

2.3 การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (Overall thermal transfer value, OTTV) 8

2.3.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) 8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการระบายอากาศ 9
2.5 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient, SC) 11
2.5.1 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ 11
2.5.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด 11
2.6 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR) 13
2.7 การประเมินผลตอบแทนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ 14
2.7.1 การคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period) 14
2.7.2 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value, NPV) 14
2.7.3 การหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR) 15
บทที่ 3 วิธีการศึกษา 16
3.1 การศึกษาวิธีการคำนวณและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ 16
3.1.1 ข้อมูลสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ 16
3.1.2 ข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่ปรับอากาศและสภาวะออกแบบ 16
3.1.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่างๆ 16
3.1.4 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ 17
3.1.5 ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้า 17
3.2 การทำไฟล์เอ็กซ์เซลเพื่อใช้ในการคำนวณภาระการปรับอากาศ และคำนวณค่าใช้จ่าย 17
3.2.1 การสร้างแผ่นงานวัสดุผนังทึบ 17
3.2.2 การสร้างแผ่นงานวัสดุผนังใส 18
3.2.3 การสร้างแผ่นงานค่าใช้จ่ายเครื่องปรับอากาศ 18
3.2.4 การสร้างแผ่นงานส่วนประกอบผนัง 18
3.2.5 การสร้างแผ่นงานภาระความร้อนที่ผ่านผนัง 19
3.2.6 การสร้างแผ่นงานภาระการปรับอากาศและค่าใช้จ่าย 20
3.3 การบันทึกผลของการเปลี่ยนลักษณะผนังของห้องชุด 27
3.3.1 การเก็บข้อมูลของห้องชุดแต่ละแบบในโครงการ 27
3.3.2 การนำข้อมูลของห้องชุดแต่ละแบบกรอกในแบบคำนวณ 36
3.4 การวิเคราะห์ผล 36
บทที่ 4 ผลการศึกษา 37
4.1 การคำนวณภาระการปรับอากาศของห้องชุด 37

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ....38
4.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายของผนังและระบบปรับอากาศ....39
4.4 ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย....40
4.5 อัตราผลตอบแทนภายใน....41
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ....43
5.1 สรุปผลการศึกษา....43
5.2 ข้อเสนอแนะ....44
เอกสารอ้างอิง....45
ภาคผนวก....47
ภาคผนวก ก ข้อมูลคุณสมบัติกระจก....48
ก.1 ข้อมูลคุณสมบัติกระจก....48
ก.2 กระจกลามิเนต....50
ภาคผนวก ข ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ....51
ข.1 ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในโครงการที่ศึกษา....50
ภาคผนวก ค รูปแบบการติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit, CDU)....54
ค.1 รูปแบบการติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิต....55
ค.1.1 การติดตั้งรูปแบบ A1....55
ค.1.2 การติดตั้งรูปแบบ A2....55
ค.1.3 การติดตั้งรูปแบบ A3....56
ค.1.4 การติดตั้งรูปแบบ B1....56
ค.1.5 การติดตั้งรูปแบบ B2....57
ค.1.6 การติดตั้งรูปแบบ C1....57
ค.1.7 การติดตั้งรูปแบบ C2....58
ค.1.8 การติดตั้งรูปแบบ C3....58

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.2-1 ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กรณีผนังสัมผัสแสงแดดในทิศทางต่าง ๆ 5
2.2-2 ความร้อนจากคนในสภาวะต่าง ๆ 6
2.4-1 อัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับอากาศ..... 10
2.6 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม..... 13
สถานพยาบาล หรืออาคารชุด
3.1-1 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ..... 17
3.3-1 การใช้วัสดุของแต่ละทางเลือกการออกแบบ..... 36
4.1 ผลการคำนวณภาระการปรับอากาศของห้องชุด..... 37
4.2 ผลการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศของห้องชุด..... 38
4.3 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายของผนังและระบบปรับอากาศ..... 39
5.1 สรุปผลการศึกษา..... 43
ก.1 ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุกระจก..... 49

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.5-1 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก..... 11

2.5-2 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่าง ๆ บนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์..... 12

2.5-3 หน้าต่างรายละเอียดของ Shading Coefficient Calculation..... 12

3.2-1 แผ่นงานวัสดุผนังทึบ..... 21

3.2-2 แผ่นงานวัสดุผนังใส..... 22

3.2-3 แผ่นงานค่าใช้จ่ายเครื่องปรับอากาศ..... 23

3.2-4 แผ่นงานส่วนประกอบผนัง..... 24

3.2-5 แผ่นงานภาระความร้อนที่ผ่านผนัง..... 25

3.2-6 แผ่นงานภาระการปรับอากาศและค่าใช้จ่าย..... 26

3.3-1 แบบแปลนชั้นพักอาศัย..... 28

3.3-2 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก 1..... 29

3.3-3 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก 2..... 30

3.3-4 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก 3..... 31

3.3-5 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก 4..... 32

3.3-6 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก 5..... 33

3.3-7 แบบแสดงรายละเอียดประตูและหน้าต่าง 1..... 34

3.3-8 แบบแสดงรายละเอียดประตูและหน้าต่าง 2..... 35

ก.2 กระจกลามิเนต..... 50

ข.1-1 ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ 1..... 52

ข.1-2 ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ 2..... 53

ค.1-1 การติดตั้งรูปแบบ A1..... 55

ค.1-2 การติดตั้งรูปแบบ A2..... 55

ค.1-3 การติดตั้งรูปแบบ A3..... 56

ค.1-4 การติดตั้งรูปแบบ B1..... 56

ค.1-5 การติดตั้งรูปแบบ B2..... 57

ค.1-6 การติดตั้งรูปแบบ C1..... 57

ค.1-7 การติดตั้งรูปแบบ C2..... 58

ค.1-8 การติดตั้งรูปแบบ C3..... 58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ [1]

บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) ประกอบธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ในลักษณะเพื่อเป็นที่อยู่อาศัยและเพื่อการพาณิชย์ พัฒนาที่ดินทุกรูปแบบ ทั้งที่อยู่อาศัยในรูปแบบบ้านจัดสรร อาคารชุดพักอาศัย ตลอดจนอาคารสำนักงาน และศูนย์การค้าครบวงจร ฯลฯ ค้าที่ดินและอสังหาริมทรัพย์ รวมทั้งเช่า หรือให้เช่าอสังหาริมทรัพย์ บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) มีนโยบายเน้นพัฒนาคุณภาพให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในระบบของการวางผัง ออกแบบ ก่อสร้าง ขาย และบริหารชุมชน ให้ตรงตามข้อกำหนดของกฎหมาย มาตรฐานทางวิชาชีพ และข้อตกลงที่เป็นเอกสารกับลูกค้า

จากการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายก่อสร้าง ทางฝ่ายก่อสร้างอาคารสูงพบว่าค่าใช้จ่ายของงานระบบไฟฟ้ามีมูลค่ามากกว่า 50% ของค่าใช้จ่ายงานระบบทั้งหมด เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายของงานระบบไฟฟ้าพบว่ามูลค่าของสายไฟและท่อร้อยสายไฟภายในอาคารเป็น 1 ใน 3 ของมูลค่างานระบบไฟฟ้า จากการเลือกสายไฟฟ้าพบว่าขนาดของสายไฟขึ้นกับภาระทางไฟฟ้า โดยระบบปรับอากาศมีสัดส่วนความต้องการพลังงานไฟฟ้า 20-30% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมภายในห้องชุด หากสามารถลดความต้องการพลังงานของระบบปรับอากาศภายในห้องชุดอาจส่งผลให้ภาระทางไฟฟ้าลดลงและสามารถลดค่าใช้จ่ายของงานระบบไฟฟ้าได้ การลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศต้องลดภาระการปรับอากาศของระบบ ซึ่งภาระการปรับอากาศส่วนใหญ่ของระบบปรับอากาศคือความร้อนที่เข้าสู่อาคาร การป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารเป็นวิธีหนึ่งของการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานซึ่งเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน วิธีการประหยัดพลังงานวิธีหนึ่งคือการกันความร้อนเข้าสู่อาคาร รวมถึงบริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) ซึ่งประกอบธุรกิจพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาการออกแบบอาคาร อีกทั้งทางฝ่ายก่อสร้างอาคารสูงมีความสนใจการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน และมีความสนใจในผลของการออกแบบผนังห้องชุดที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ จึงมอบหมายให้นักศึกษาทำงานสหกิจศึกษานี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาการคำนวณภาระการปรับอากาศและการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการออกแบบผนังของห้องชุดต่อภาระการปรับอากาศ

1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการลดค่าใช้จ่ายของงานระบบปรับอากาศและงานระบบไฟฟ้า

1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการเปลี่ยนแบบผนังของห้องชุด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 การคำนวณภาระการปรับอากาศเป็นการคำนวณสำหรับห้องพักอาศัยภายในอาคารชุด

1.3.2 ราคาวัสดุและต้นทุนที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายเป็นราคาล่าสุดที่บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) ทำการจัดซื้อ

1.3.3 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเครื่องปรับอากาศ TRANE รุ่น PASSIO

1.3.4 ห้องตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นโครงการแห่งหนึ่งของบริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) โดยไม่พิจารณาห้องชุดรูปแบบเพนท์เฮาส์

1.4 วิธีดำเนินงาน

1.4.1 วางแผนการดำเนินงาน

1.4.2 ศึกษาและทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 สร้างแบบคำนวณภาระการปรับอากาศภายในห้องชุดด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

1.4.4 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบคำนวณภาระการปรับอากาศ

1.4.5 บันทึกผลจากการเปลี่ยนการออกแบบผนังของห้องชุดที่ใช้ข้อมูลห้องชุดจากแบบของโครงการหนึ่งของบริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน)

1.4.6 วิเคราะห์และสรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบแนวทางในการลดขนาดเครื่องปรับอากาศโดยเปลี่ยนการออกแบบผนังที่คุ้มค่า

1.5.2 แบบคำนวณภาระการปรับอากาศของระบบปรับอากาศ ซึ่งอำนวยความสะดวกในการประมาณการณ์การเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ และการวิเคราะห์ต้นทุนการใช้วัสดุผนังอื่น ๆ ในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) [2]

การถ่ายเทความร้อน ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทระหว่างสองตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อนมี 3 วิธี ได้แก่ การนำความร้อน, การพาความร้อน และการแผ่รังสี

2.1.1 การนำความร้อน (Conduction)

การถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุลที่ติดข้างเคียงกัน ไม่ว่าโมเลกุลที่อยู่ในสสารเดียวกันหรือระหว่างสสารสองชนิดที่สัมผัสกันโดยตรง เช่น โมเลกุลของอากาศที่สัมผัสกับสสารที่อุ่น การนำความร้อนเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่อุ่นกว่าสั่นสะเทือนถ่ายเทพลังงานไปยังโมเลกุลที่เย็นกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

2.1.2 การพาความร้อน (Convection)

การพาความร้อน เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของของไหล โดยของไหลเมื่อถูกทำให้ร้อน ของไหลที่ถูกบรรจุความร้อนถูกทำให้เคลื่อนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ตัวกลางของไหลเคลื่อนที่เวียนไปเนื่องจากโมเลกุลที่เย็นและหนักกว่าจะตกลงส่วนโมเลกุลที่ร้อนและเบาจะลอยตัวขึ้นก็จะเกิดการไหลเวียนพาความร้อน

2.1.3 การแผ่รังสี (Radiation)

การแผ่รังสี เป็นการเดินทางโดยตรงของพลังงาน โดยไม่มีตัวกลาง พลังงานรังสีเดินทางจากแหล่งที่อุณหภูมิสูงกว่าในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปสู่ตำแหน่งที่อุณหภูมิต่ำกว่าและถูกดูดซับไป

2.2 ภาระการปรับอากาศ (Air conditioning load) [3], [4]

ภาระการปรับอากาศ คือ ปริมาณความร้อนทั้งหมดภายในพื้นที่ปรับอากาศที่เครื่องปรับอากาศจะต้องนำออกไป เพื่อลดและรักษาระดับอุณหภูมิให้ได้ที่ต้องการ ปริมาณความร้อนทั้งหมดดังกล่าวที่ทำให้เกิดภาระการปรับอากาศนั้นเกิดขึ้นได้จากภายในพื้นที่ปรับอากาศและจากภายนอกที่ส่งผ่านหรือถ่ายเทความร้อนเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ

การเปลี่ยนแปลงของพลังงานเคมีหรือพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนภายในพื้นที่ปรับอากาศนั้นถือเป็นความร้อนภายในพื้นที่ปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นหรือภาระการปรับอากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศ แหล่งที่มาของความร้อนภายในส่วนใหญ่ ได้แก่ คน, ไฟแสงสว่าง, เครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์และเครื่องถ่ายเอกสาร

ดังนั้นภาระการปรับอากาศเป็นผลรวมของความร้อนที่มาจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศผ่านผนังทึบ, ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยการแผ่รังสีผ่านวัสดุโปร่งแสง, ความร้อนจากคนภายในพื้นที่ปรับอากาศ, ความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในพื้นที่ปรับอากาศ และความร้อนจากอากาศที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศและการระบายอากาศ

2.2.1 ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศผ่านผนังทึบ [5]

การคำนวณภาระความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศผ่านผนัง ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังของพื้นที่ปรับอากาศ ผลกระทบเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ และสภาวะอากาศรอบพื้นที่ปรับอากาศ

2.2.1.1 ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังของพื้นที่ปรับอากาศ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังของพื้นที่ปรับอากาศเท่ากับ ผลต่างของอุณหภูมิของผนังด้านใน กับอุณหภูมิภายนอกของผนัง โดยอุณหภูมิของผนังด้านใน คือ อุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศหรืออุณหภูมิพื้นที่ปรับอากาศที่ต้องการรักษาระดับไว้ อุณหภูมิภายนอกของผนัง คือ อุณหภูมิออกแบบภายนอกขึ้นอยู่กับตำแหน่งของพื้นที่ปรับอากาศ ถ้าผนังอยู่ภายในอาคาร อุณหภูมิออกแบบภายนอกคืออุณหภูมิภายในอาคาร แต่ถ้าผนังติดกับภายนอก อุณหภูมิออกแบบภายนอกจะใช้อุณหภูมิที่สภาวะบรรยากาศของสถานที่ที่ตั้งพื้นที่ปรับอากาศ สำหรับประเทศไทยใช้อุณหภูมิ 35°C

2.2.1.2 ความแตกต่างของอุณหภูมิของเพดานและพื้น ถ้าพื้นที่ปรับอากาศอยู่ภายในอาคารและมีช่องว่างระหว่างเพดานของพื้นที่ปรับอากาศและเพดานของอาคาร จะคิดเพดานของพื้นที่ปรับอากาศเช่นเดียวกับผนังภายใน ถ้าเพดานของพื้นที่ปรับอากาศติดกับภายนอกจะคิดเพดานพื้นที่ปรับอากาศเสมือนผนังภายนอก เช่นเดียวกับพื้นของพื้นที่ปรับอากาศ ถ้าไม่ติดพื้นดินโดยตรงจะคำนวณเหมือนผนังภายใน แต่ถ้าติดพื้นดินโดยตรง ใช้อุณหภูมิของพื้นดินเป็นเกณฑ์ สำหรับประเทศไทยใช้อุณหภูมิ 45°C

2.2.1.3 ผลกระทบเนื่องจากรังสีจากดวงอาทิตย์ ผนังของพื้นที่ปรับอากาศที่ติดกับภายนอกอาคารนั้นจะได้รับความร้อนบางส่วนจากจากการแผ่รังสี ทั้งโดยดวงอาทิตย์และวัตถุอุณหภูมิสูงอื่นๆ ซึ่งจะมีผลให้อุณหภูมิที่ผิวภายนอกของผนังสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศ ดังนั้นค่าอุณหภูมิแตกต่างจึงต้องมีการปรับค่ามากขึ้นกว่าผลต่างของอุณหภูมิที่หาได้ ตามตารางที่ 2.2-1 ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กรณีผนังสัมผัสแสงแดดในทิศทางต่าง ๆ

ตารางที่ 2.2-1 ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กรณีผนังสัมผัสแสงแดดในทิศทางต่าง ๆ

ชนิดของผิว	ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น				
	ทิศตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	หลังคา
ผิวพื้นสีเข้ม	6	7	5	8	20
ผิวพื้นสีเข้มกลางๆ	5	6	4	7	16
ผิวพื้นสีอ่อน	4	5	3	6	12

(ดัดแปลงจากตารางของ ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1989)

การคำนวณความร้อนที่ผ่านผนังเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ (Q) สามารถหาได้จากสมการที่ 1 ดังนี้

$$Q = U \times A \times \Delta T \qquad (1)$$

เมื่อ U แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หน่วย $W/m^2\,°C$

A แทน พื้นที่ผิวของผนัง หน่วย m^2

ΔT แทน ผลต่างอุณหภูมิระหว่างภายในกับภายนอกของพื้นที่ปรับอากาศ หน่วย °C

2.2.2 ความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศโดยการแผ่รังสีผ่านวัสดุโปร่งแสง

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุโปร่งแสงจะแตกต่างกับผนังทึบ เมื่อรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น (Short wave radiation) ตกกระทบบนผิววัสดุโปร่งแสงอย่างกระจกจะเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว (Long wave radiation) หรืออินฟราเรด (Infrared) รังสีตกกระทบบางส่วนจะถูกดูดซึมไว้ และบางส่วนจะถูกสะท้อนออกไป รังสีที่ทะลุผ่านกระจกเข้าสู่ภายในห้องเมื่อเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาวจะถูกกักเก็บไว้ในพื้นที่ภายในทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น การเคลือบผิวกระจกสะท้อนแสงภายนอกจะทำให้รังสีคลื่นยาวที่ผ่านเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศนั้นลดลง

2.2.3 ความร้อนจากคนภายในพื้นที่ปรับอากาศ [6]

ปริมาณความร้อนโดยเฉลี่ยของคนขึ้นอยู่กับกิจกรรมและสามารถอยู่ในช่วงตั้งแต่ประมาณ 100 วัตต์สำหรับคนที่พักผ่อนจนถึง 500 วัตต์สำหรับคนที่มีความเคลื่อนไหวทางร่างกายมาก อัตราการกระจายความร้อนโดยทั่วไปของคนสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ในการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2-2

ตารางที่ 2.2-2 ความร้อนจากคนในสภาวะต่าง ๆ

ลักษณะกิจกรรม	สถานที่	ความร้อนรวม (W)		Sensible Heat (W)	Latent Heat (W)
		ผู้ใหญ่(ช)	ค่าปรับแต่ง ช/ญ/ด[1]		
การนั่งในโรงภาพยนตร์	โรงภาพยนตร์-รอบเช้าหรือรอบบ่าย	115	95	65	30
การนั่งในโรงภาพยนตร์	โรงภาพยนตร์-รอบค่ำ	115	105	70	35
การนั่ง, การทำงานระดับเบามาก	สำนักงาน, โรงแรม, ห้องชุด	130	115	70	45
การทำงานสำนักงานระดับปานกลาง	สำนักงาน, โรงแรม, ห้องชุด	140	130	75	55
การยืน, การทำงานระดับเบา เช่น การเดิน	ห้างสรรพสินค้าหรือ ร้านค้า	160	130	75	55
การเดิน, การยืน	ร้านยา, ธนาคาร	160	145	75	70
การทำงานที่อยู่กับที่	ร้านอาหาร[2]	145	160	80	80
การทำงานบนโต๊ะระดับเบา	โรงงาน	235	220	80	80
การเต้นระดับปานกลาง	ห้องเต้นรำ	265	250	90	90
การเดิน 4.8 กม./ชม.; การเดินเครื่องจักรอย่างเบา	โรงงาน	295	295	110	110
การโยนโบวลิ่ง[3]	ลานโบว์ลิ่ง	440	425	170	255
การทำงานระดับหนัก	โรงงาน	440	425	170	255
การเดินเครื่องจักรอย่างหนัก; การยกของ	โรงงาน	470	470	185	285
กีฬา	โรงยิม	585	525	210	315

หมายเหตุ ค่าในตารางเป็นค่าที่อุณหภูมิห้อง 24 °C สำหรับที่อุณหภูมิห้อง 27 °C ความร้อนรวมยังคงเท่าเดิมแต่ Sensible Heat ควรลดลงประมาณ 20% และ Latent Heat ควรจะเพิ่มขึ้นตาม ค่าทั้งหมดในตารางถูกปัดเศษให้ใกล้เคียง 5 W ที่สุด Sensible Heat ส่วนหนึ่งแผ่รังสีอยู่ในช่วง 54 - 60% ในอากาศนิ่ง ($V<0.2$ m/s) และ 19-38% ในอากาศเคลื่อนที่ ($0.2<V<4$ m/s)

[1]ค่าปรับแต่งเป็นค่าอิงจากร้อยละของผู้ชาย, ผู้หญิงและเด็กสำหรับการประยุกต์ใช้ที่ระบุไว้ กับสมมติฐานความร้อนจากผู้หญิงเป็น 85% ของผู้ชายและความร้อนจากเด็กเป็น 75% ของผู้ชาย

[2]ค่าความร้อนปรับแต่งรวมถึง 18 W สำหรับอาหารต่อบุคคล

[3]หนึ่งคนเล่นในลานโบว์ลิ่งและคนอื่นๆกำลังนั่ง (117 W) หรือยืนหรือเดินช้าๆ (231 W)

2.2.4 ความร้อนจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในพื้นที่ปรับอากาศ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องระเหย หลอดไฟ เป็นต้น

พลังงานที่ไฟแสงสว่างใช้จะกระจายไปโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสี ส่วนที่กลายเป็นความร้อนจะกลายเป็นภาระการปรับอากาศที่มาจากอุปกรณ์แสงสว่าง ส่วนที่เหลืออยู่ในรูปของรังสีจะถูกดูดซึม และถูกแผ่โดยผนังพื้นเพดานและเฟอร์นิเจอร์ ทำให้ส่งผลกระทบต่อภาระการปรับอากาศด้วยการชะลอเวลาระบายความร้อน อัตราส่วนของกำลังไฟที่ใช้กับกำลังไฟทั้งหมดที่ติดตั้งไว้จะต้องถูกพิจารณาเมื่อพิจารณาความร้อนจากไฟแสงสว่าง

อุปกรณ์และเครื่องใช้ที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้านั้นเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งถูกแปลงจากพลังงานที่สูญเสียของมอเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของมอเตอร์ ความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศโดยเครื่องใช้ไฟฟ้า, แก๊สและไอน้ำ เช่น เตาหุงต้ม, ตู้เย็น, ตู้แช่, ทีวี, เครื่องล้างจาน, เครื่องซักผ้า, เครื่องอบแห้ง, คอมพิวเตอร์, เครื่องพิมพ์และเครื่องถ่ายเอกสารอาจส่งผลกับภาระการปรับอากาศดังนั้นจึงต้องได้รับการพิจารณา ความไม่แน่นอนในการพิจารณาความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นเป็นผลจากความหลากหลายของเครื่องใช้ไฟฟ้าและช่วงเวลาการใช้งานที่แตกต่างกัน

2.2.5 ความร้อนจากอากาศที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศและการระบายอากาศ

ในงานการปรับอากาศ ภาระความร้อนจากอากาศภายนอกอาจถูกเรียกว่า ภาระการระบายอากาศ (Ventilating load) หรือ ภาระจากการรั่วไหล (Infiltration load) คำว่า ภาระการระบายอากาศจะใช้ กรณีอากาศภายนอกเข้ามาเพื่อการหมุนเวียนอากาศ ส่วนภาระจากการรั่วไหลใช้ในกรณีอากาศภายนอกเข้ามาเกิดจากการรั่วไหลโดยธรรมชาติ ผ่านรอยแตกต่าง ๆ รวมถึงอากาศที่เข้าไปแทนที่อากาศภายในพื้นที่ปรับอากาศขณะเปิดประตู จึงต้องนำความร้อนออกจากอากาศอุ่นภายนอกที่เข้ามาเพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในการออกแบบ

การระบายอากาศมีผลต่อความสบายของผู้อาศัยในพื้นที่ ถ้าปริมาณการระบายอากาศสูงจะทำให้คนรู้สึกสบายแต่จะทำให้มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศสูง ดังนั้นอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ การใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งตามการคำนวณภาระการปรับอากาศ เป็นการประมาณการเลือกใช้ตัวแปรต่างๆ การกำหนดเกณฑ์ที่มีส่วนสำคัญต่อภาระการปรับอากาศ เช่น สภาวะที่ใช้ในการออกแบบ อัตราการระบายอากาศ จำนวนคนภายในพื้นที่ปรับอากาศ การใช้อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนในห้องปรับอากาศ รวมถึงการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ดังนั้นผู้ออกแบบระบบปรับอากาศแต่ละคนจึงคำนวณภาระการปรับอากาศได้ผลไม่เท่ากัน

ในการกำหนดขนาดเครื่องปรับอากาศจากการคำนวณภาระการปรับอากาศนั้น โดยทั่วไปจะมีการเผื่อเพิ่มเติม 5-10% ของภาระการปรับอากาศที่คำนวณได้ เป็นค่าความปลอดภัยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือของข้อมูล

2.3 การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังอาคาร (Overall thermal transfer value, OTTV) [7]

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกรอบอาคาร สามารถหาได้จาก อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกรอบอาคารทั้งหมดในหน่วยวัตต์ (W) เทียบกับพื้นที่ผิวของผนังกรอบอาคารทั้งหมดในหน่วยตารางเมตร (m^2) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ 2

$$OTTV_i = (U_w)(1\text{-}WWR)(TD_{eq}) + (U_f)(WWR)(\Delta T) + (WWR)(SHGC)(SC)(ESR) \quad (2)$$

เมื่อ $OTTV_i$ แทน ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกด้านที่พิจารณา มีหน่วย W/m^2

U_w แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ มีหน่วย $W/(m^2 \cdot °C)$

WWR แทน อัตราส่วนพื้นที่ของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} แทน ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent temperature difference) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ มีหน่วย °C

U_f แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot °C)$

ΔT แทน ค่าความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคาร มีหน่วย °C

$SHGC$ แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง

SC แทน สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR แทน ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และผนังทึบ มีหน่วย W/m^2

2.3.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-value) [8]

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) คือส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม สามารถคำนวณจากสมการที่ 3

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

เมื่อ R_T แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) มีหน่วย $(m^2 \cdot °C)/W$ ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุใด ๆ สามารถคำนวณจากสมการที่ 4

$$R = \frac{\Delta x}{k} \quad (4)$$

เมื่อ R แทน ค่าความต้านทานความร้อน มีหน่วย $(m^2 \cdot °C)/W$

Δx แทน ความหนาของวัสดุ มีหน่วย m

k แทน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วย $W/(m \cdot °C)$

กรณีผนังประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน สามารถคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมจากสมการที่ 5

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + ... + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (5)$$

โดยที่ R_T แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร มีหน่วย $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$

R_o แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวมของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร มีหน่วย $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$

R_i แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวมของฟิล์มอากาศภายในอาคาร มีหน่วย $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$

$\Delta x_1, \Delta x_{2,...,} \Delta x_n$ แทน ค่าความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร มีหน่วย m

$k_1, k_2, k_3, ..., k_n$ แทน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด

2.4 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการระบายอากาศ [9]

การระบายอากาศมีผลต่อความสบายของผู้อาศัยในพื้นที่ ถ้าปริมาณการระบายอากาศสูงจะทำให้คนรู้สึกสบายแต่จะทำให้มีการใช้พลังงานในการปรับอากาศสูง ดังนั้นอัตราการระบายอากาศที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับพื้นที่ การใช้งานที่แตกต่างกัน ซึ่งกฎกระทรวง ฉบับที่ 33 และ 39 ที่ออกตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีกำหนดดังนี้

"ข้อ 10 การระบายอากาศในอาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษที่มีการปรับอากาศด้วยระบบปรับอากาศ ต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

1) ต้องมีการนำอากาศภายนอกเข้ามาในพื้นที่ปรับอากาศหรือดูดอากาศจากภายในพื้นที่ปรับอากาศไปไม่น้อยกว่าอัตราตามตารางที่ 2.4-1 อัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับอากาศ"

ตารางที่ 2.4-1 อัตราการระบายอากาศในกรณีที่มีระบบปรับอากาศ

ลำดับ	สถานที่(ประเภทการใช้)	ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง/ตารางเมตร
1	ห้างสรรพสินค้า (ทางเดินชมสินค้า)	2
2	โรงงาน	2
3	สำนักงาน	2
4	สถานอาบ อบ นวด	2
5	สถานที่สำหรับติดต่อธุรกิจในธนาคาร	2
6	ห้องพักในโรงแรมหรืออาคารชุด	2
7	ห้องปฏิบัติการ	2
8	ร้านตัดผม	3
9	สถานกีฬาในร่ม	4
10	โรงมหรสพ (บริเวณที่นั่งสำหรับคนดู)	4
11	ห้องเรียน	4
12	สถานบริหารร่างกาย	5
13	ร้านเสริมสวย	5
14	ห้องประชุม	6
15	ห้องน้ำ	10
16	สถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่ม ห้องรับประทานอาหาร	10
17	ไนท์คลับ บาร์ หรือสถานลีลาศ	10
18	ห้องครัว	30
19	สถานพยาบาล (ห้องคนไข้)	2
20	สถานพยาบาล (ห้องผ่าตัดและห้องคลอด)	8
21	สถานพยาบาล (ห้องฉุกเฉิน)	5
22	สถานพยาบาล ห้อง I.C.U. และห้อง C.C.U	5

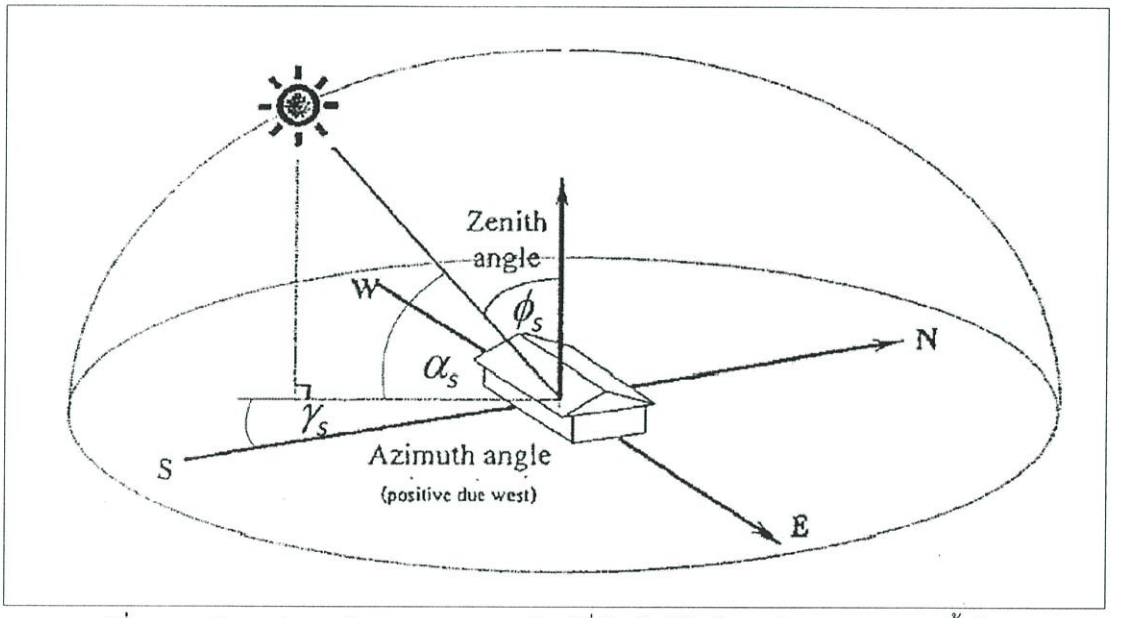
สำหรับห้องครัวของสถานที่จำหน่ายอาหารและเครื่องดื่มจะให้มีอัตราการระบายอากาศน้อยกว่าที่กำหนดได้ แต่ต้องมีการระบายอากาศครอบคลุมแหล่งที่เกิดของกลิ่น ควัน หรือก๊าซที่ต้องการระบาย ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 12 เท่าของปริมาตรของห้องใน 1 ชั่วโมงสถานที่อื่น ๆ ที่มิได้ระบุไว้ในตารางให้ใช้อัตราการระบายอากาศของสถานที่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันตำแหน่งช่องนำอากาศเข้าโดยวิธีกล ต้องห่างจากที่เกิดอากาศเสีย และช่องระบายอากาศทิ้งไม่น้อยกว่า 5.00 เมตร สูงจากพื้นดินไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร การนำอากาศเข้าและการระบายอากาศทิ้งโดยวิธีกล ต้องไม่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนราคาญแก่ประชาชนผู้อยู่อาศัยใกล้เคียง

2.5 สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด (Shading coefficient, SC) [8]

ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดดภายนอกอาคาร คือ อัตราส่วนของรังสีอาทิตย์ที่ลอดผ่านอุปกรณ์บังแดดไปตกกระทบยังส่วนโปร่งแสงหรือกระจกของหน้าต่าง

2.5.1 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์

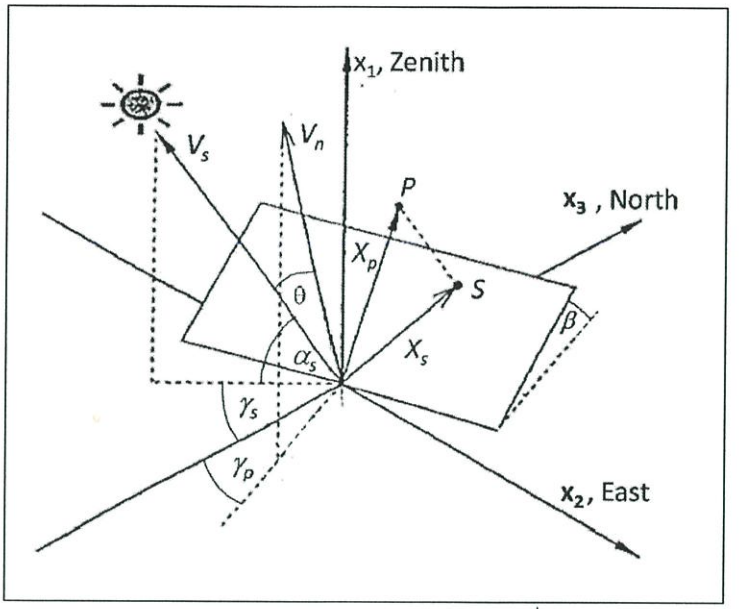
ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อจุดใด ๆ บนพื้นโลก สามารถระบุได้โดยอาศัยมุมเงยหรือมุมยกขึ้นของดวงอาทิตย์ (Altitude, α_s) ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงของดวงอาทิตย์กระทำกับแนวระดับของพื้นโลก และมุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (Azimuth, γ_s) ซึ่งเป็นมุมที่ตำแหน่งดวงอาทิตย์ในแนวระนาบกระทำกับทิศใต้ของโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.5-1



รูปที่ 2.5-1 ตำแหน่งและทิศทางของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของอาคารบนพื้นโลก

2.5.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

พิจารณาพิกัด (x_1, x_2, x_3) ซึ่งถูกกำหนดด้วยเส้นซีนิธ (Zenith) ทิศตะวันออก และทิศเหนือ ดังในรูปที่ 2.5-2



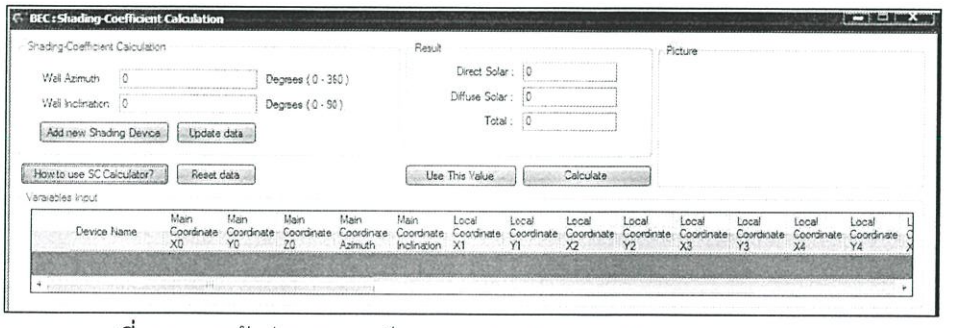
รูปที่ 2.5-2 ตำแหน่งและทิศทางของระนาบและจุดต่าง ๆ บนระนาบที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์

โดย β แทน มุมเอียง (Inclination angle) ของระนาบที่พิจารณา

γ_p แทน มุมอะซิมุทของระนาบที่พิจารณา (Azimuth of surface)

θ แทน มุมระหว่างระนาบที่พิจารณากับทิศทางของดวงอาทิตย์

นำข้อมูลตำแหน่งและทิศทางไปคำนวณโดยใช้เครื่องมือช่วยคำนวณสัมประสิทธิ์การบังแดดในโปรแกรม Building Energy Code ในหน้าต่าง Shading Coefficient Calculation จะมีตารางการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด ดังแสดงในรูปที่ 2.5-3



รูปที่ 2.5-3 หน้าต่างรายละเอียดของ Shading Coefficient Calculation

สามารถทำการคำนวณได้ดังนี้

1. กรอกมุม Wall Azimuth และ Wall Inclination มีหน่วยเป็น องศา
2. กดปุ่ม Add new Shading Device เพื่อทำการเพิ่มส่วนประกอบ การกดปุ่มนี้ครั้งแรกจะเป็นการสร้างหน้าต่างหลักขึ้นมา และครั้งต่อ ๆ ไปจะเป็นการเพิ่มส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ใช้เป็นส่วนกำบังแดด ซึ่งมีข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

Device Name	ระบุชื่อของส่วนประกอบต่าง ๆ
Main Coordination	ระบุจุดเชื่อมต่อหลัก
Main Coordination Azimuth	ระบุจุดเชื่อมต่อหลักมุม Azimuth มีหน่วยเป็น องศา
Main Coordination Inclination	ระบุจุดเชื่อมต่อหลักมุม Inclination มีหน่วยเป็น องศา
Local Coordination	ระบุจุดเชื่อมต่อรองซึ่งมีจำนวนจุด X_1,Y_1 จนถึง X_{16},Y_{16} ซึ่งเลือกกรอกตามจำนวนจุดที่ผู้ใช้ต้องการ

3. กดปุ่ม Update Data เพื่อใช้บันทึกข้อมูล
4. กดปุ่ม Calculate Shading Co-efficient เพื่อทำการคำนวณ ซึ่งผลการคำนวณจะแสดงตรงกรอบ Result ด้านบน ค่าที่จะนำมาใช้กรอกข้อมูลได้คือค่า Total

2.6 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (Effective solar radiation, ESR) [8]

ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผนังที่มีมุมเอียงแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง การวัดค่ามุมเอียงของผนังของอาคาร ให้วัดจากมุมที่ผนังอาคารกระทำกับพื้นผิวโลก (หรือพื้นดิน) โดยผนังในแนวตั้งจะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 90 องศา ขณะที่ผนังในแนวระนาบนอน (หรือหลังคาแบบเรียบ) จะมีค่ามุมเอียงเท่ากับ 0 องศา ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสำหรับมุมเอียงและทิศทางผนังต่าง ๆ ของอาคารประเภทโรงแรม สถานพยาบาล หรืออาคารชุด โดยใช้ค่าที่กำหนดในตารางที่ 2.6 (กรณีที่มุมเอียงและทิศทางไม่ตรงกับค่าในตาราง ให้ใช้วิธีประมาณค่าในช่วง)

ตารางที่ 2.6 ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน (ESR) สำหรับอาคารประเภทโรงแรม สถานพยาบาล หรืออาคารชุด

มุมเอียง (องศา)	ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนตามทิศทางของผนัง (W/m^2)							
	เหนือ	ตะวันออกเฉียงเหนือ	ตะวันออก	ตะวันออกเฉียงใต้	ใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ตะวันตก	ตะวันตกเฉียงเหนือ
0	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44	191.44
15	177.49	185.24	190.45	193.01	193.33	191.76	188.38	183.39
30	157.51	171.54	181.79	186.87	187.63	184.64	178.12	168.59
45	134.67	153.68	167.29	174.48	175.71	171.59	162.54	149.52
60	112.13	133.17	148.76	157.33	158.93	154.12	143.54	128.65
75	93.08	112.74	128.05	136.87	138.66	133.74	123.01	108.45
90	80.68	94.8	106.98	114.57	116.26	111.96	102.86	91.4

2.7 การประเมินผลตอบแทนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์ [10], [11]

วิธีการทางการเงินที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินผลตอบแทนการลงทุน ได้แก่ การคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย, การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ, การหาอัตราผลตอบแทนภายใน

2.7.1 การคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่าย (Simple payback period)

ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย หมายถึง ระยะเวลาที่ต้องใช้ในการที่โครงการจะให้มูลค่าผลตอบแทนคืนมูลค่าของการลงทุนที่ใช้ไป การคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่ายมีหน่วยเป็นจำนวนปี โดยผลตอบแทนที่ได้คือ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$\textit{ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย (ปี)} = \frac{\textit{มูลค่าการลงทุน (บาท)}}{\textit{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (บาท/ปี)}} \tag{6}$$

ข้อเสียของการคำนวณระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายคือ ไม่ได้พิจารณามูลค่าทางการเงินที่เปลี่ยนไปตามระยะเวลา ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราเงินเฟ้อต่าง ๆ ดังนั้นในโครงการที่มีจำนวนเงินลงทุนสูง ๆ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีทางการเงินอื่น ๆ ประกอบด้วย

หากระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 3 ปี โครงการที่พิจารณาเป็นโครงการที่มีผลตอบแทนสูงและจูงใจในการดำเนินการ หากระยะเวลาคืนทุนอยู่ระหว่าง 3 ถึง 7 ปี โครงการที่พิจารณามีผลตอบแทนไม่สูงนัก แต่อยู่ในข่ายในการที่จะพิจารณาลงทุนได้โดยอาจจะต้องคำนึงถึงผลประโยชน์อื่นๆ ร่วมด้วย และหากระยะเวลาคืนทุนมากกว่า 7 ปี เป็นมาตรการที่มีผลตอบแทนต่ำ ซึ่งมักจะไม่ค่อยนำมาพิจารณาในการลงทุนยกเว้นแต่ว่าโครงการนั้นมีความจำเป็นจริง ๆ

2.7.2 การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value, NPV)

เนื่องจากมูลค่าของเงินเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการนำผลของช่วงเวลามาพิจารณา เพื่อประเมินมูลค่าหรือผลตอบแทนของโครงการ วิธีคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ การแปลงมูลค่าเงินลงทุน ค่าใช้จ่ายต่างๆ รวมทั้งผลตอบแทนที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการดำเนินโครงการมาเป็นมูลค่าของเงินในปัจจุบัน เพื่อเปรียบเทียบบนฐานเวลาเดียวกัน การคำนวณจะใช้อัตราลดค่า (Discount rate) เพื่อแปลงมูลค่าทางการเงินที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ มาเป็นมูลค่าในปัจจุบัน ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราลดค่าจะมีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการ และขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาดที่ผู้ลงทุนเผชิญอยู่ สามารถคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิได้จากสมการที่ 7

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \tag{7}$$

โดย n แทน ระยะเวลาของโครงการ (ปี)

ES_t แทน ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี

I_0 แทน เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

i แทน อัตราลดค่า (Discount rate)

2.7.3 การหาอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return, IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน เป็นวิธีการทางการเงินที่อยู่บนพื้นฐานของการคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ การหาอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ ทำได้โดยการหาอัตราลดค่าที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของมาตรการที่มีค่าเท่ากับศูนย์ การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนภายในจะต้องกำหนดระยะเวลาของมาตรการ ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดตามอายุการใช้งานของระบบหรืออุปกรณ์ที่ติดตั้ง อัตราผลตอบแทนภายในจะคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$0 = \sum_{t=1}^{n} \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} - I_0 \qquad (8)$$

โดย n แทน ระยะเวลาของโครงการ (ปี)

ES_t แทน ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี

I_0 แทน เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment)

ถ้าค่าอัตราผลตอบแทนภายในมากกว่า หรือเท่ากับค่าอัตราลดค่าที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจ ก็ถือได้ว่าโครงการดังกล่าวเป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยทั่วไปแล้วทั้งวิธีในการประเมินโครงการจากค่าอัตราผลตอบแทนภายในและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะให้ผลการตัดสินใจรับโครงการ หรือปฏิเสธโครงการ เป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ในบางกรณีที่ใช้ข้อสมมติ เช่น การนำเงินที่ได้ในแต่ละปีไปลงทุนใหม่ (Reinvestment) หรือการใช้วิธีหักค่าเสื่อมราคา แบบ Double-declining Balance Method แทนแบบ Straight Line Method ก็อาจทำให้คำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีขัดแย้งกันได้ ดังนั้นการพิจารณาประเมินโครงการลงทุนจากทั้ง 2 วิธีจึงต้องคำนึงถึงข้อสมมติที่ใช้ในการคำนวณด้วยเช่นกัน

บทที่ 3

วิธีการศึกษา

3.1 การศึกษาวิธีการคำนวณและรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

ในการศึกษาวิธีการคำนวณจำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลหลายชนิด ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการสรุปไว้เป็น 5 กลุ่มดังนี้

3.1.1 ข้อมูลสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการคำนวณ

1.) สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของวัสดุต่างๆที่นำมาทำผนัง, เพดานและหลังคา

2.) ค่าความหนาแน่น (ρ) ของวัสดุต่างๆที่นำมาทำผนัง, เพดานและหลังคา

3.) ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (C_p) ของวัสดุต่างๆที่นำมาทำผนัง, เพดานและหลังคา

4.) ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของฟิล์มอากาศและช่องอากาศที่กรณีต่างๆ

5.) ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (Visible transmittance) ของวัสดุกระจก

6.) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) ของวัสดุกระจก

7.) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของกระจกจากผู้ผลิตกระจก

8.) ค่าสัมประสิทธิ์ของอุปกรณ์บังแดด (SC)

3.1.2 ข้อมูลรายละเอียดของพื้นที่ปรับอากาศและสภาวะออกแบบ

1.) อุณหภูมิออกแบบภายนอกและภายในพื้นที่ปรับอากาศ

2.) ความยาว ความกว้าง และความสูงของพื้นที่ปรับอากาศ

3.) จำนวนคนภายในพื้นที่ปรับอากาศ

4.) จำนวนและลักษณะของดวงไฟแสงสว่างภายในพื้นที่ปรับอากาศ

5.) ลักษณะผนังของพื้นที่ปรับอากาศ ได้แก่ ชนิดวัสดุ ขนาด ความหนา สี

3.1.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายต่างๆ

1.) ราคาวัสดุและค่าแรงของวัสดุผนัง

2.) ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าติดตั้ง

3.) ราคาที่แขวนและขาตั้งเครื่องปรับอากาศ

4.) ราคาสายไฟฟ้าจากจุดเชื่อมต่อไปยังตู้คอนซูเมอร์ยูนิตของห้อง

5.) ราคาท่อน้ำยาเครื่องปรับอากาศ สายไฟ ฉนวนหุ้มท่อและท่อน้ำทิ้ง (ส่วนเกินจาก 4 ม.)

3.1.4 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ

ข้อมูลภาระการปรับอากาศสูงสุดที่รับได้ของเครื่องปรับอากาศที่เลือกใช้ ดังแสดงในตารางที่ 3.1-1

ตารางที่ 3.1-1 ข้อมูลเครื่องปรับอากาศ

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ภาระการปรับอากาศสูงสุดที่รับได้
9,000 BTU	9,200 BTU/hr
12,000 BTU	12,700 BTU/hr
15,000 BTU	15,200 BTU/hr
18,000 BTU	18,000 BTU/hr
24,000 BTU	25,300 BTU/hr

3.1.5 ข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้า

3.2 การทำไฟล์เอ็กซ์เซลเพื่อใช้ในการคำนวณภาระการปรับอากาศ และคำนวณค่าใช้จ่าย

ผู้จัดทำได้ทำแบบคำนวณภาระการปรับอากาศ และคำนวณค่าใช้จ่าย โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กซ์เซล ซึ่งได้แบ่งส่วนได้ 6 แผ่นงานดังนี้

3.2.1 การสร้างแผ่นงานวัสดุผนังทึบ

การสร้างแผ่นงานวัสดุผนังทึบ เพื่อเป็นฐานข้อมูลของวัสดุที่ใช้ทำผนังทึบ รวมถึงเพดานและหลังคา ประกอบด้วยชนิดวัสดุ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (k) ค่าความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (C_p) ความต้านทานความร้อนรวม (R) ของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศ โดยนำข้อมูลมากจากประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 และนำข้อมูลราคาวัสดุจากราคาที่ทางบริษัทเคยใช้และราคาในตลาดทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 3.2-1

3.2.2 การสร้างแผ่นงานวัสดุผนังใส

การสร้างแผ่นงานวัสดุผนังใส เพื่อเป็นฐานข้อมูลของวัสดุที่ใช้ทำผนังใส โดยนำข้อมูลคุณสมบัติของกระจกจากผู้ผลิตกระจก ได้แก่ ชนิดกระจก ค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น (τ_V) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของกระจก รวมถึงราคาของกระจก ซึ่งใช้ราคาที่เสนอของบริษัท ดังแสดงในรูปที่ 3.2-2

3.2.3 การสร้างแผ่นงานค่าใช้จ่ายเครื่องปรับอากาศ

การสร้างแผ่นงานค่าใช้จ่ายเครื่องปรับอากาศ เพื่อเป็นฐานข้อมูลค่าใช้จ่ายของเครื่องปรับอากาศ ได้แก่ ราคาเครื่องปรับอากาศแต่ละขนาด ราคาสายไฟฟ้าและค่าติดตั้งสายไฟฟ้าจากจุดเชื่อมต่อไปยังตู้คอนซูเมอร์ยูนิตของห้อง และค่าติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิตตามลักษณะการติดตั้ง ดังรูปที่ 3.2-3

3.2.4 การสร้างแผ่นงานส่วนประกอบผนัง

การสร้างแผ่นงานส่วนประกอบผนัง เพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_W) ของผนังแต่ละแบบ โดยทำช่องสำหรับกรอกข้อมูลโครงสร้างวัสดุผนังและความหนาของวัสดุแต่ละชั้น แล้วทำช่องแสดงค่าจากการคำนวณได้แก่ ค่าความต้านทานความร้อน (R) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมดังแสดงในรูปที่ 3.2-4

โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจากส่วนกลับของค่าความต้านทานความร้อนรวม สามารถคำนวณจากสมการที่ 9

$$U_w = \frac{1}{R_T} \tag{9}$$

เมื่อ R_T แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวม (Total thermal resistance) มีหน่วย $(m^2 \cdot °C)/W$ ค่าความต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุใด ๆ สามารถคำนวณจากสมการที่ 4

$$R = \frac{\Delta x}{k} \tag{10}$$

เมื่อ R แทน ค่าความต้านทานความร้อน มีหน่วย $(m^2 \cdot °C)/W$

Δx แทน ความหนาของวัสดุ มีหน่วย m

k แทน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วย $W/(m \cdot °C)$

กรณีผนังประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน สามารถคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวมจากสมการที่ 11

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + ... + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \quad (11)$$

โดยที่ R_T แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวมของผนังอาคาร มีหน่วย $(m^2 \cdot °C)/W$

R_o แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวมของฟิล์มอากาศภายนอกอาคาร มีหน่วย $(m^2 \cdot °C)/W$

R_i แทน ค่าความต้านทานความร้อนรวมของฟิล์มอากาศภายในอาคาร มีหน่วย $(m^2 \cdot °C)/W$

$\Delta x_1, \Delta x_{2,...,} \Delta x_n$ แทน ค่าความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังอาคาร มีหน่วย m

$k_1, k_2, ..., k_n$ แทน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด

3.2.5 การสร้างแผ่นงานภาระความร้อนที่ผ่านผนัง

การสร้างแผ่นงานภาระความร้อนที่ผ่านผนัง เพื่อคำนวณภาระการปรับอากาศที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศผ่านผนังของห้องชุด โดยทำช่องสำหรับกรอกชนิดวัสดุผนังแต่ละทิศทางผนังของห้องชุด ความกว้างของผนัง ความยาวของผนัง ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดสำหรับผนังใส และทำช่องแสดงค่าจากการคำนวณได้แก่ พื้นที่ของผนังแต่ละส่วน ค่าภาระความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศในหน่วยวัตต์และบีทียูต่อชั่วโมง รวมถึงค่าวัสดุและค่าแรงของผนังแต่ละส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3.2-5

การคำนวณความร้อนที่ผ่านผนังทึบเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ (Q) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 12

$$Q = U_w \times A \times \Delta T \quad (12)$$

เมื่อ U_w แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หน่วย $W/m^2 °C$

A แทน พื้นที่ผิวของผนัง หน่วย m^2

ΔT แทน ผลต่างอุณหภูมิระหว่างภายในกับภายนอกของพื้นที่ปรับอากาศ หน่วย °C

การคำนวณความร้อนที่ผ่านผนังโปร่งแสงเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศ (Q) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13

$$Q = (U_W \times A \times \Delta T) + (A \times SHGC \times SC \times ESR) \quad (13)$$

เมื่อ U_W แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หน่วย $W/m^2 \cdot °C$

A แทน พื้นที่ผิวของผนัง หน่วย m^2

ΔT แทน ผลต่างอุณหภูมิระหว่างภายในกับภายนอกของพื้นที่ปรับอากาศ หน่วย °C

$SHGC$ แทน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ที่ส่งผ่านผนังโปร่งแสง

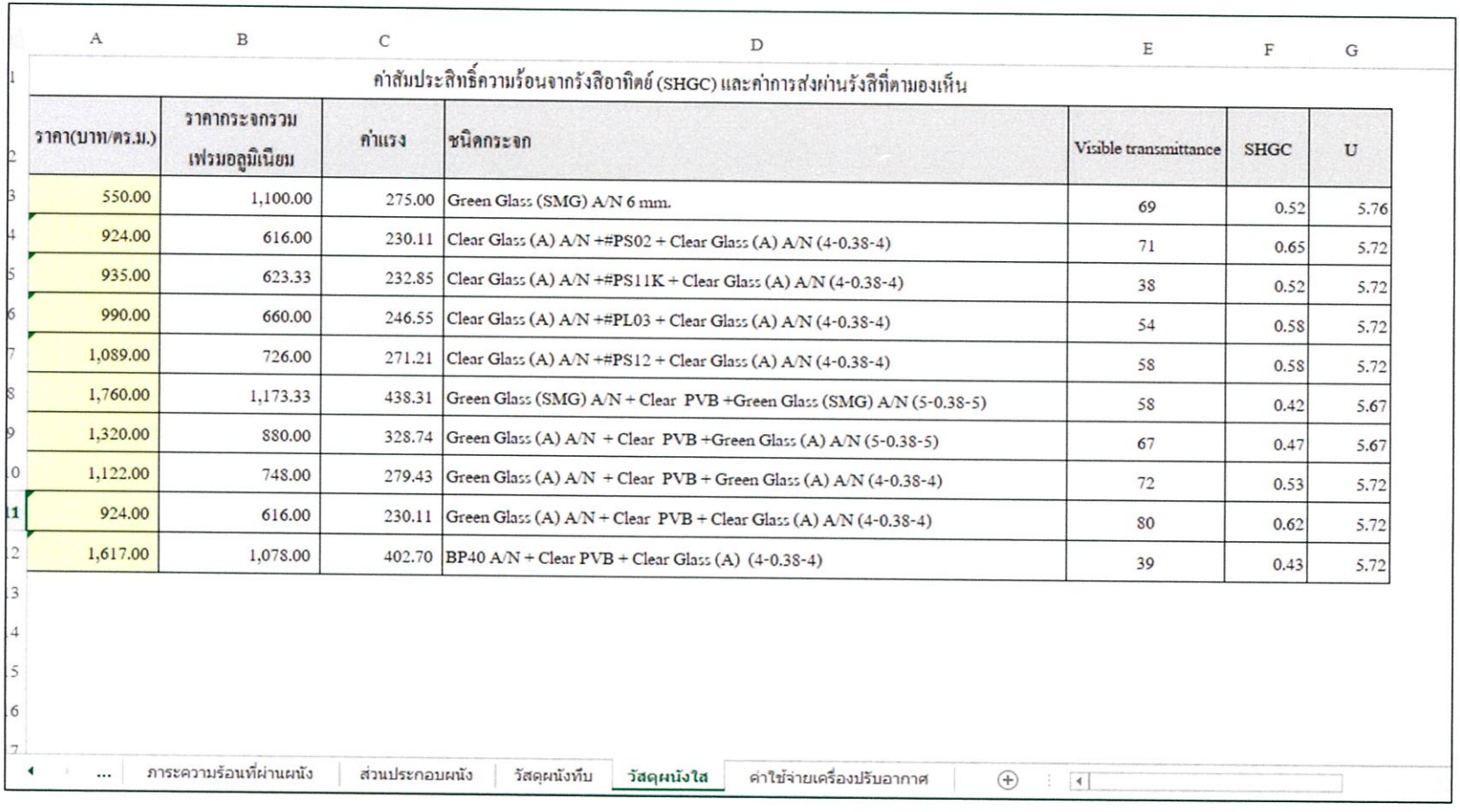
SC แทน สัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด

ESR แทน ค่ารังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง และผนังทึบ มีหน่วย W/m^2

3.2.6 การสร้างแผ่นงานภาระการปรับอากาศและค่าใช้จ่าย

การสร้างแผ่นงานภาระการปรับอากาศและค่าใช้จ่าย เพื่อคำนวณภาระการปรับอากาศรวม นำไปใช้เลือกเครื่องปรับอากาศและคำนวณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น โดยแบ่งหัวข้อเป็นภาระความร้อนจากภายนอก, ภาระความร้อนจากภายใน, ภาระความร้อนอื่นๆ, ภาระความร้อนรวม, Safety Factor, ผลรวมของภาระความร้อนรวมกับ Safety Factor, เครื่องปรับอากาศ, อุปกรณ์ และค่าวัสดุผนัง โดยเตรียมช่องสำหรับกรอกข้อมูลได้แก่ อุณหภูมิภายนอก, อุณหภูมิภายใน, ขนาดห้องชุด, อัตราการระบายอากาศ, จำนวนคนในห้อง, ปริมาณการใช้พลังงานของไฟแสงสว่างและจำนวนดวงไฟแสงสว่าง, ภาระความร้อนอื่นๆ, ค่า Safety Factor, ลักษณะการติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิต, ความยาวส่วนเกิน 4 เมตรของท่อน้ำยาเครื่องปรับอากาศ สายไฟฟ้า ฉนวนหุ้มท่อ และท่อน้ำทิ้ง และความยาวสายไฟฟ้าจากจุดเชื่อมต่อไปยังตู้คอนซูเมอร์ยูนิตของห้องชุด และทำช่องแสดงค่าภาระการปรับอากาศของแต่ละส่วน, ขนาดเครื่องปรับอากาศที่เลือก, ราคาเครื่องปรับอากาศ, ราคาติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิต, ราคาสายไฟฟ้า, ราคาวัสดุผนังรวม และค่าใช้จ่ายรวม ดังแสดงในรูปที่ 3.2-6

รูปที่ 3.2-1 แผ่นงานวัสดุผนังทึบ



ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (SHGC) และค่าการส่งผ่านรังสีที่ตามองเห็น

ราคา(บาท/ตร.ม.)	ราคากระจกรวมเฟรมอลูมิเนียม	ค่าแรง	ชนิดกระจก	Visible transmittance	SHGC	U
550.00	1,100.00	275.00	Green Glass (SMG) A/N 6 mm.	69	0.52	5.76
924.00	616.00	230.11	Clear Glass (A) A/N +#PS02 + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	71	0.65	5.72
935.00	623.33	232.85	Clear Glass (A) A/N +#PS11K + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	38	0.52	5.72
990.00	660.00	246.55	Clear Glass (A) A/N +#PL03 + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	54	0.58	5.72
1,089.00	726.00	271.21	Clear Glass (A) A/N +#PS12 + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	58	0.58	5.72
1,760.00	1,173.33	438.31	Green Glass (SMG) A/N + Clear PVB +Green Glass (SMG) A/N (5-0.38-5)	58	0.42	5.67
1,320.00	880.00	328.74	Green Glass (A) A/N + Clear PVB +Green Glass (A) A/N (5-0.38-5)	67	0.47	5.67
1,122.00	748.00	279.43	Green Glass (A) A/N + Clear PVB + Green Glass (A) A/N (4-0.38-4)	72	0.53	5.72
924.00	616.00	230.11	Green Glass (A) A/N + Clear PVB + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	80	0.62	5.72
1,617.00	1,078.00	402.70	BP40 A/N + Clear PVB + Clear Glass (A) (4-0.38-4)	39	0.43	5.72

... | ภาระความร้อนที่ผ่านผนัง | ส่วนประกอบผนัง | วัสดุผนังทึบ | วัสดุผนังใส | ค่าใช้จ่ายเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 3.2-2 แผ่นงานวัสดุผนังใส

ขนาดเครื่องปรับอากาศ BTU	ราคา(บาท)	ขนาดสายไฟ (sq.mm.)	ราคาสายไฟ(บาท)	ค่าแรงสายไฟ(บาท)
9000	7,000.00	2.5	9	4
12000	9,800.00	2.5	9	4
15000	11,760.00	2.5	9	4
18000	14,700.00	2.5	9	4
24000	22,540.00	4	14	6

ลักษณะการติดตั้ง CDU	ราคา(บาท)
A1	650
A2	1300
A3	1700
B1	650
B2	1300
C1	450
C2	900
C3	1300

รูปที่ 3.2-3 แผ่นงานค่าใช้จ่ายเครื่องปรับอากาศ

รูปที่ 3.2-4 แผ่นงานส่วนประกอบผนัง

ลำดับที่	วัสดุ			SC	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	Load (W)	Load (BTU/hr)	ค่าวัสดุ (บาท)	ค่าแรง (บาท)
	ชนิดผนัง	ลักษณะผนัง	ชนิดวัสดุ								
1	Case 1						0	-	-	-	-
1.1	ทึบเหนือ						0	-	-	-	-
1.1.1							0			-	-
1.1.2							0			-	-
1.1.3							0			-	-
1.1.4							0			-	-
1.1.5							0			-	-
1.2	ทึบตะวันออก						0	0.00	0.00	-	-
1.2.1							0			-	-
1.2.2							0			-	-
1.2.3							0			-	-
1.2.4							0			-	-
1.2.5							0			-	-
1.3	ทึบตะวันตก						0	0.00	0.00	-	-
1.4	ทึบใต้						0	0.00	0.00	-	-
1.5	เพดานและหลังคา						0			0.00	0.00
							0			0.00	0.00
2	Case 2										

ช่องสีเหลืองสำหรับกรอกข้อมูล
ช่องสีฟ้าสำหรับเลือกข้อมูลจากDrop down List

ภาระความร้อนที่ผ่านผนัง | สรุปประกอบผนัง | วัสดุผนังทึบ | วัสดุผนังใส | ค่าใช้จ่ายเครื่องปรับอากาศ

READY

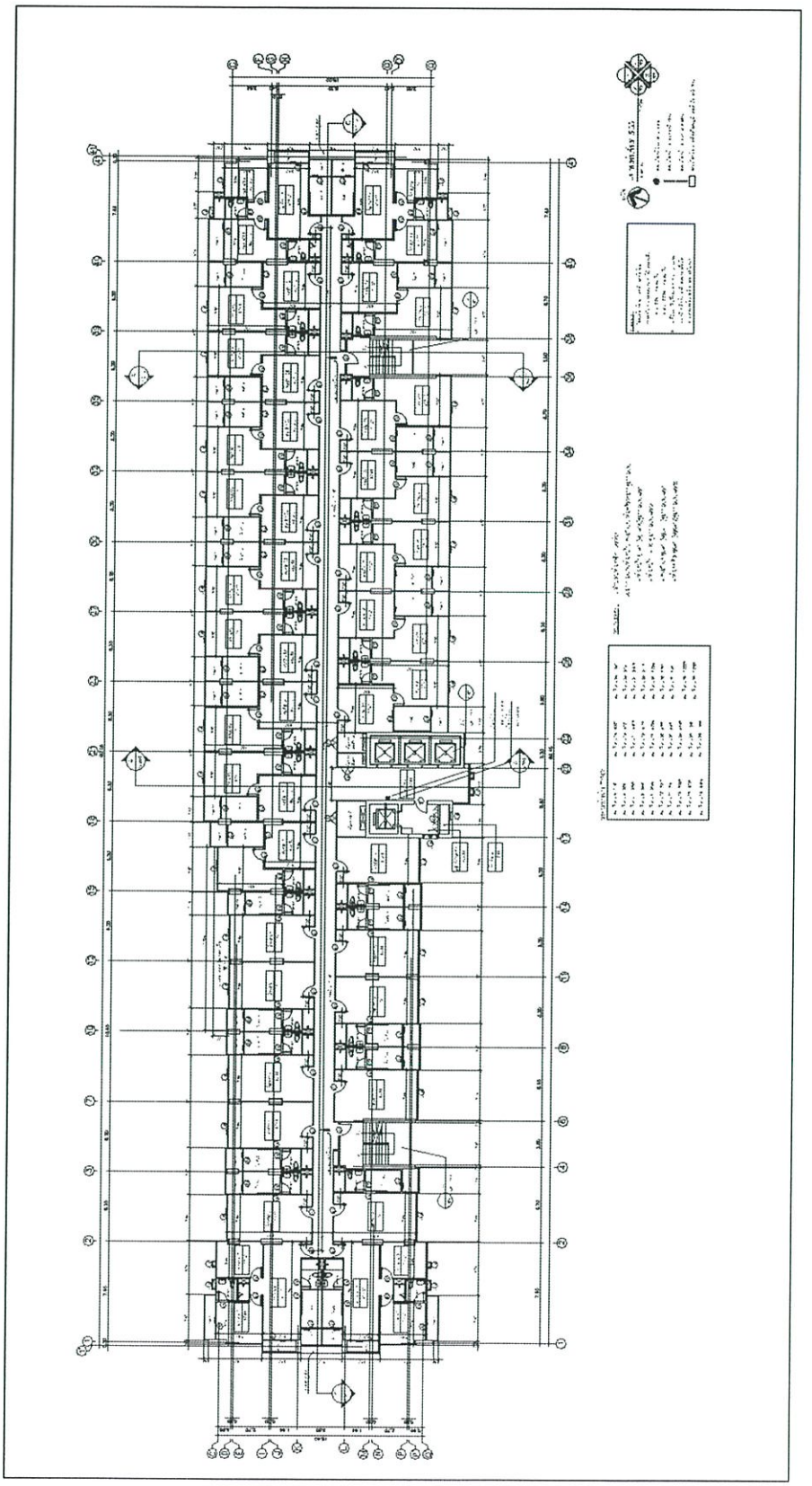
รูปที่ 3.2-5 แผ่นงานภาระความร้อนที่ผ่านผนัง

รูปที่ 3.2-6 แผ่นงานภาระการปรับอากาศและค่าใช้จ่าย

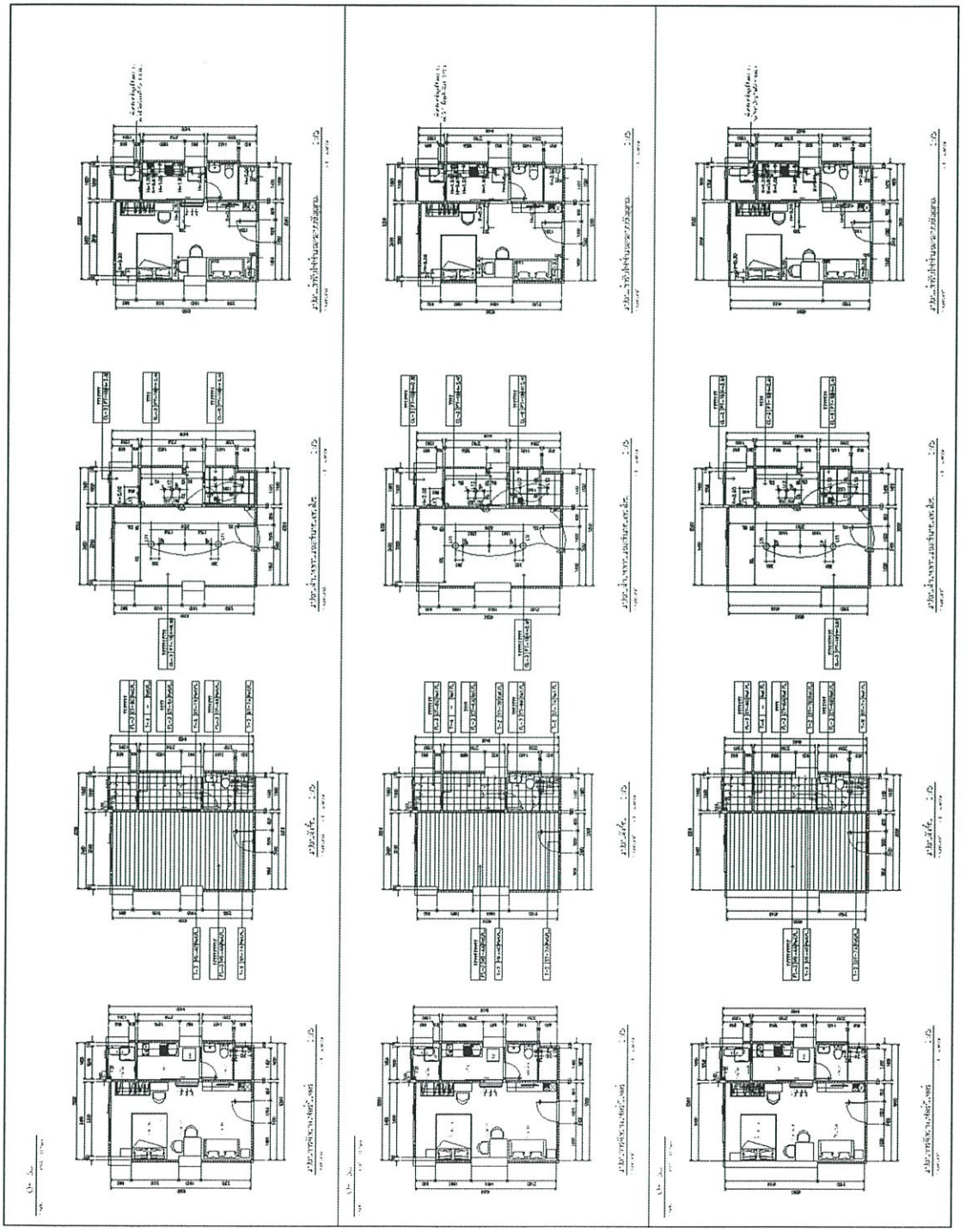
3.3 การบันทึกผลของการเปลี่ยนลักษณะผนังของห้องชุด

3.3.1 การเก็บข้อมูลของห้องชุดแต่ละแบบในโครงการ

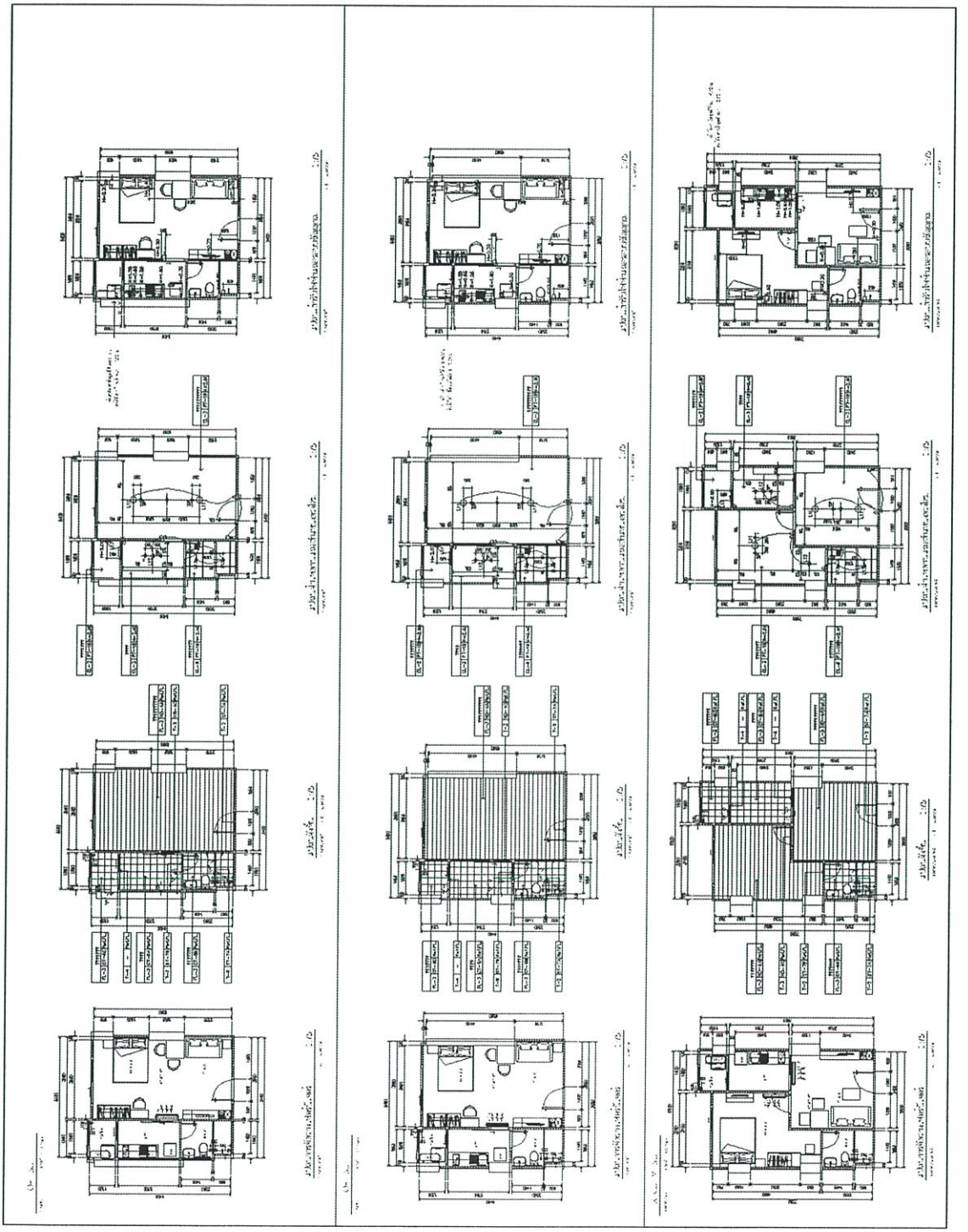
ผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูลของห้องชุดแต่ละแบบในโครงการ โดยนำมากจากแบบแปลนชั้นพักอาศัย เพื่อทราบถึงตำแหน่งและทิศทางของห้อง แบบตกแต่งภายในของห้องพักอาศัย เพื่อทราบถึงลักษณะห้อง, ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ, ลักษณะประตูและหน้าต่างในห้อง และลักษณะไฟแสงสว่าง เอกสารสรุปรายการงานเครื่องปรับอากาศ เพื่อทราบลักษณะติดตั้งของคอนเดนซิ่งยูนิต แบบขยายและรายการประกอบแบบประตูและหน้าต่าง เพื่อทราบลักษณะ ขนาดของประตูและหน้าต่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3-1 - 3.3-8



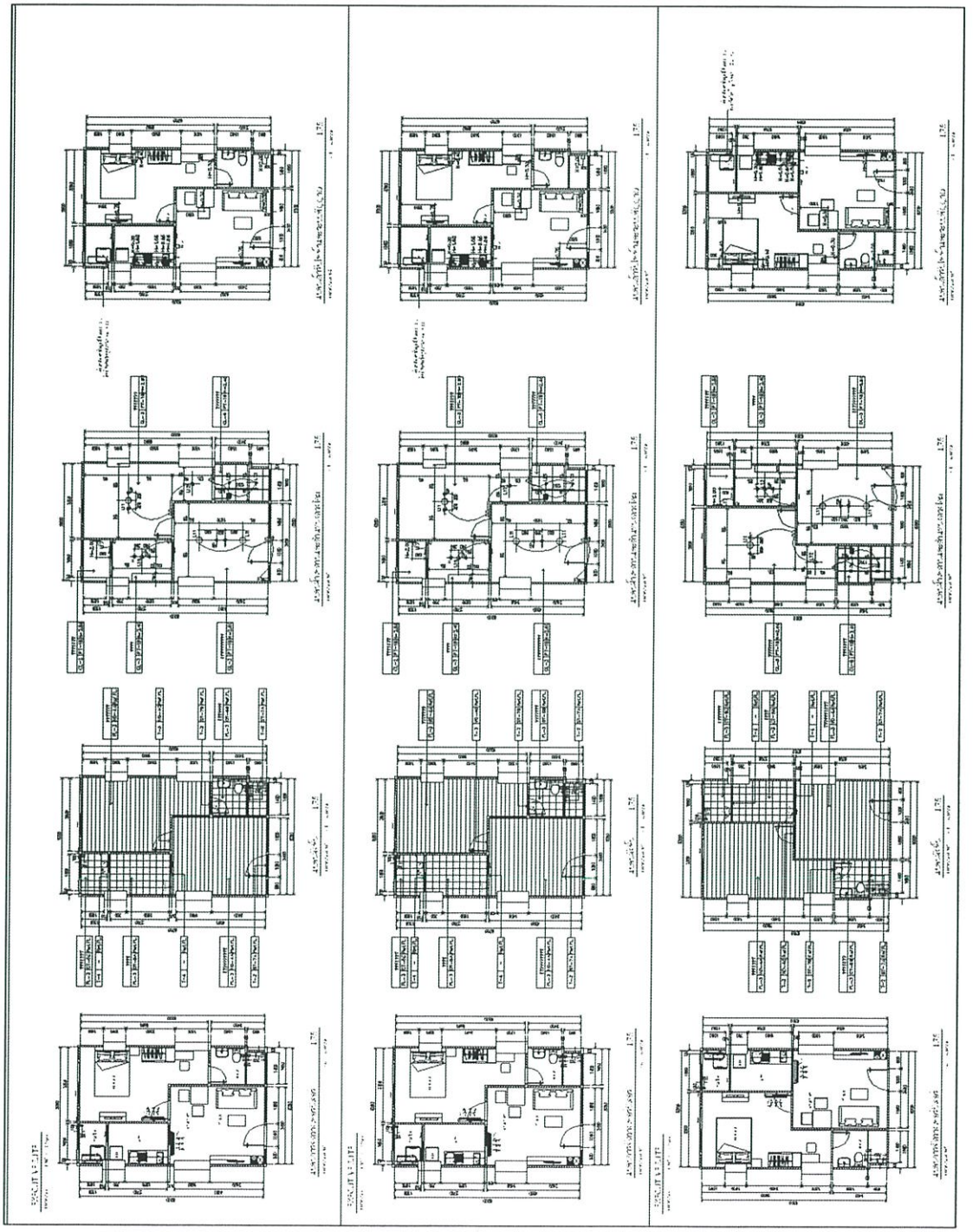
รูปที่ 3.3-1 แบบแปลนชั้นพักอาศัย



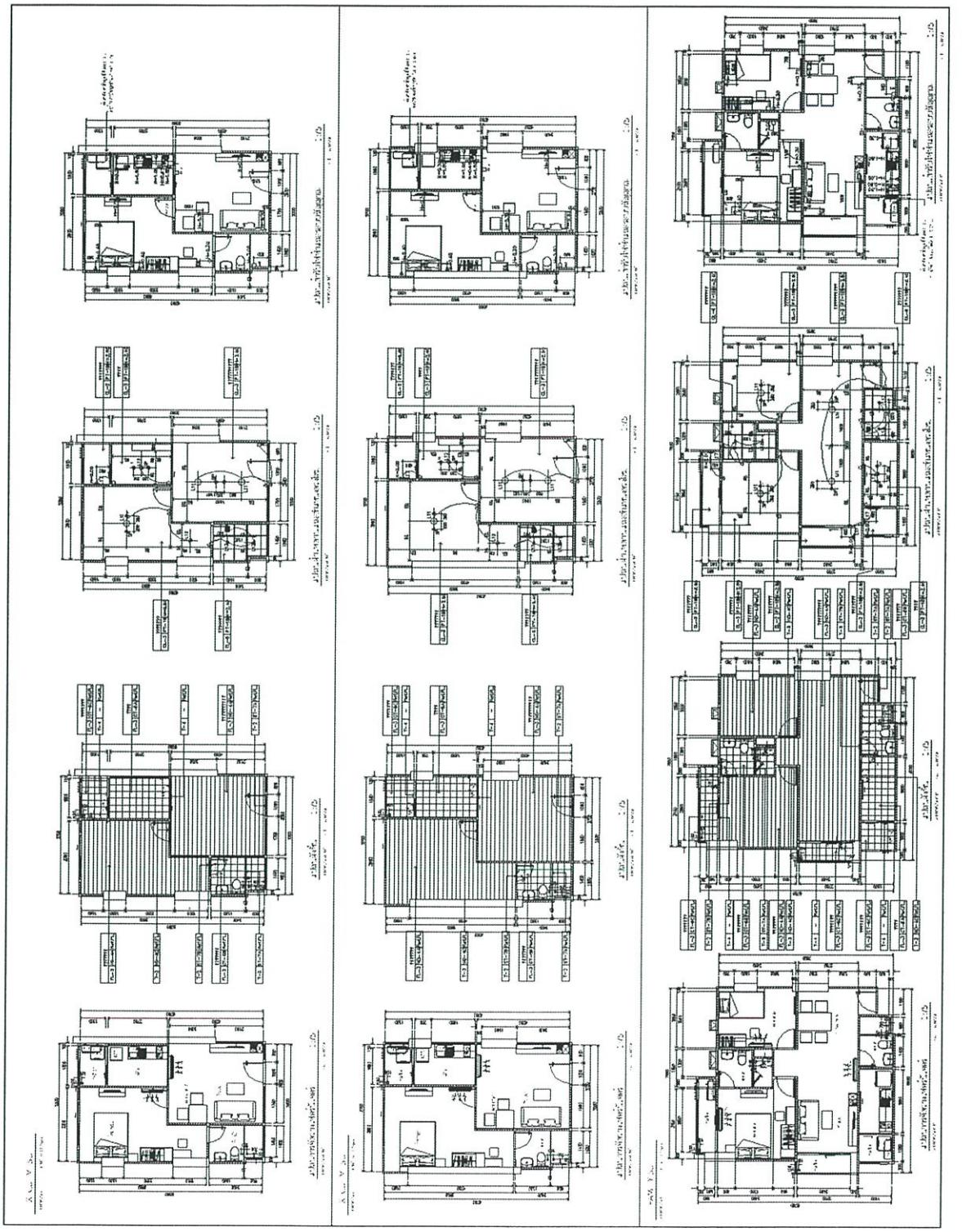
รูปที่ 3.3-2 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก 1



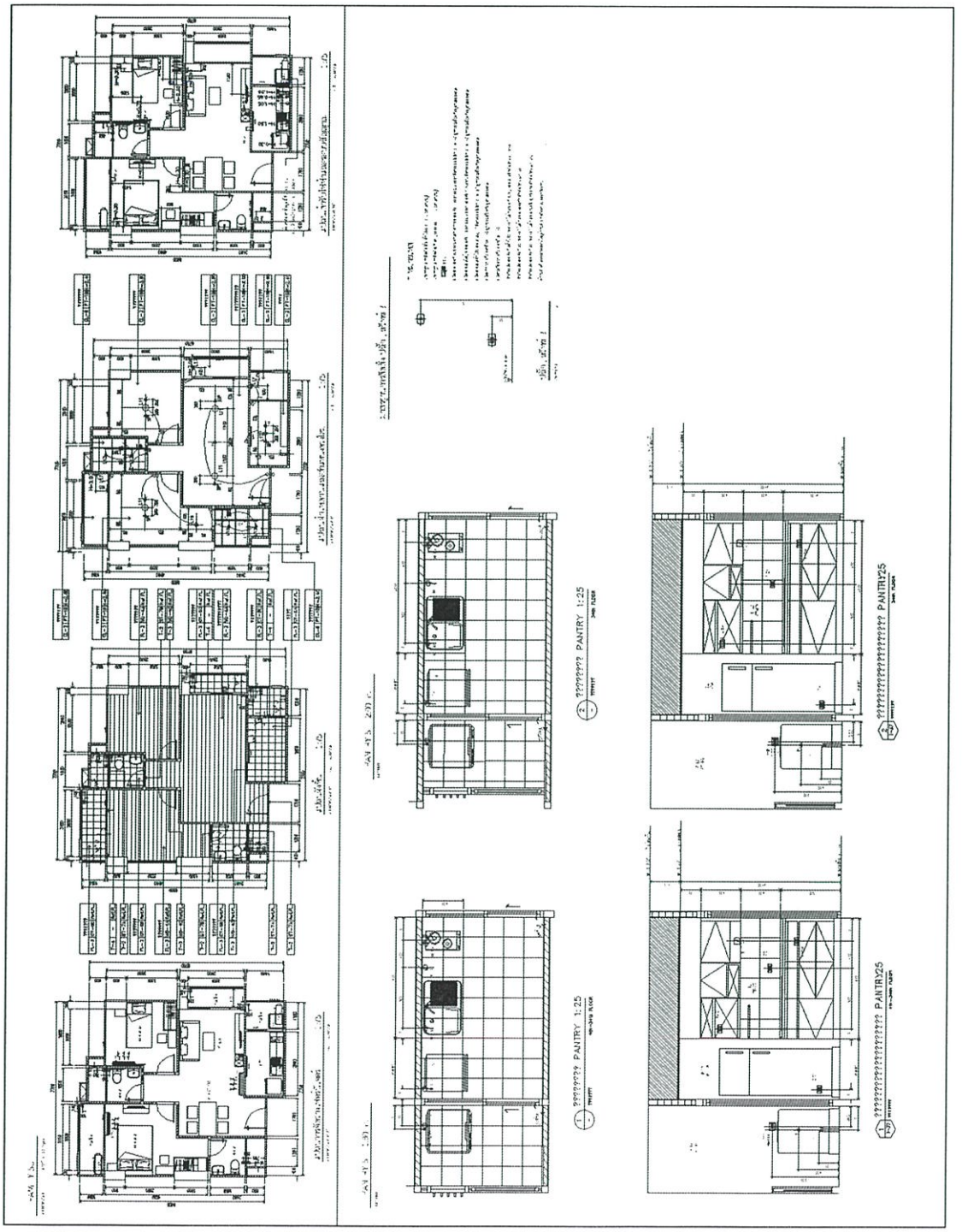
รูปที่ 3.3-3 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก



รูปที่ 3.3-4 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก

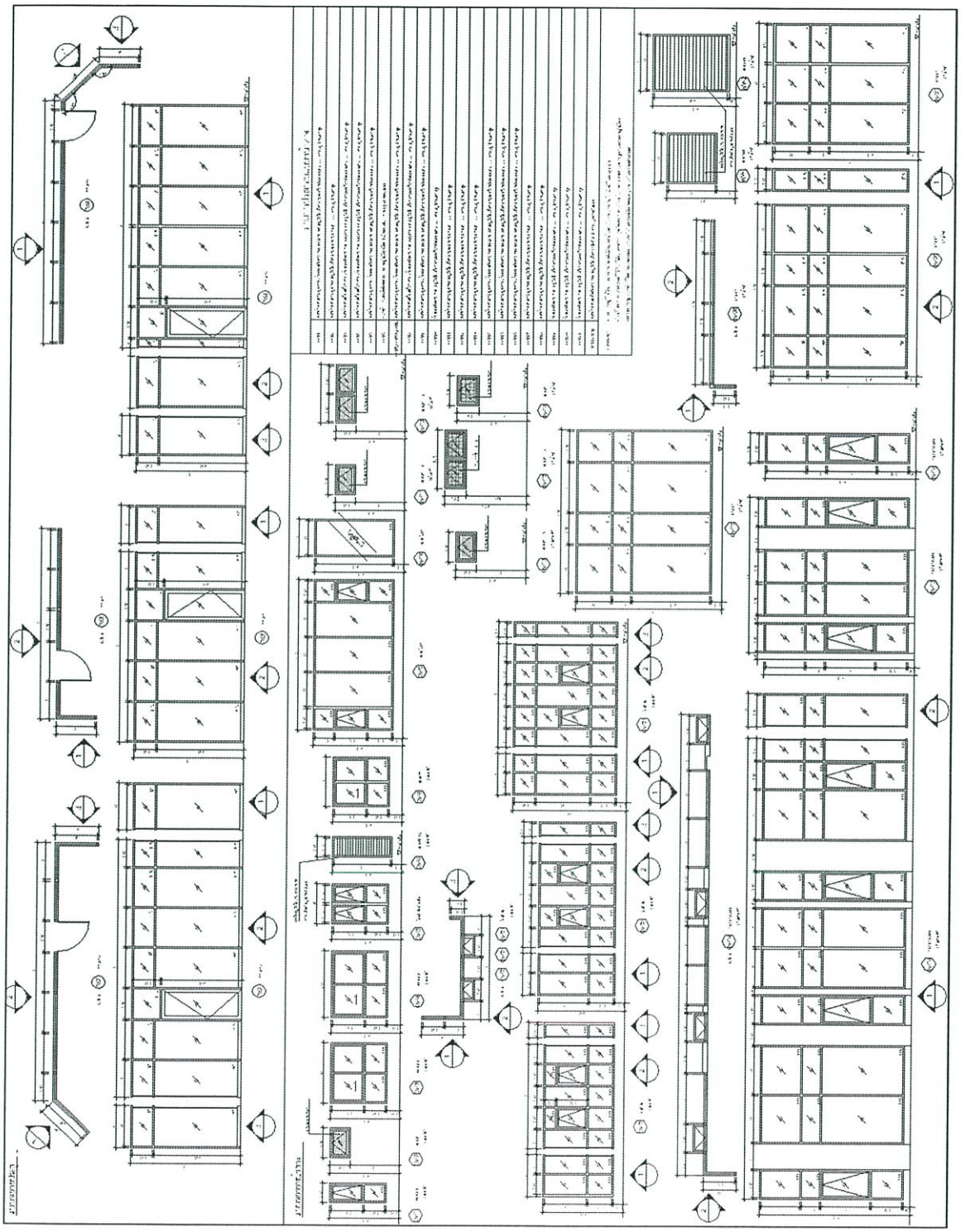


รูปที่ 3.3-5 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก



รูปที่ 3.3-6 แบบแสดงรายละเอียดห้องพัก

รูปที่ 3.3-7 แบบแสดงรายละเอียดประตูและหน้าต่าง 1



รูปที่ 3.3-8 แบบแสดงรายละเอียดประตูและหน้าต่าง 2

3.3.2 นำข้อมูลของห้องชุดแต่ละแบบกรอกในแบบคำนวณ

นำข้อมูลของห้องชุดแต่ละแบบกรอกในแบบคำนวณภาระการปรับอากาศ และค่าใช้จ่าย แล้วนำผลไปบันทึก โดยจำแนกทางเลือกการออกแบบที่ใช้พิจารณา 3 แบบ ดังตารางที่ 3.3.2

ตารางที่ 3.3-1 การใช้วัสดุของแต่ละทางเลือกการออกแบบ

การออกแบบ	วัสดุผนังทึบ	วัสดุผนังโปร่งใส
ตามแบบเดิม	อิฐมวลเบา ความหนา 7.5 เซนติเมตร	กระจกสีตัดแสง
ทางเลือกที่ 1	อิฐมวลเบา ความหนา 10 เซนติเมตร	กระจกสีตัดแสง
ทางเลือกที่ 2	อิฐมวลเบา ความหนา 7.5 เซนติเมตร	กระจกลามิเนต
ทางเลือกที่ 3	อิฐมวลเบา ความหนา 10 เซนติเมตร	กระจกลามิเนต

3.4 การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลกระทำโดยนำผลของแต่ละทางเลือกมาเปรียบเทียบกัน และเปรียบเทียบกับตามแบบเดิม โดยพิจารณาปริมาณภาระปรับอากาศที่ลดลง ขนาดเครื่องปรับอากาศของแต่ละทางเลือก และค่าใช้จ่ายของแต่ละทางเลือก กรณีที่ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจะพิจารณาว่าเป็นค่าใช้จ่ายของผู้ซื้อห้องชุด และวิเคราะห์ทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีการหาระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายและการหาอัตราผลตอบแทนภายใน

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การคำนวณภาระปรับอากาศของห้องชุด

จากผลการคำนวณภาระปรับอากาศของห้องชุดแต่ละทางเลือก พบว่าทางเลือกการออกแบบทั้ง 3 สามารถลดภาระการปรับอากาศได้ โดยสามารถลดภาระการปรับอากาศได้สูงสุด 823.56 บีทียูต่อชั่วโมงซึ่งเป็นของห้องนั่งเล่น Family Suite และลดได้ต่ำสุด 555.16 บีทียูต่อชั่วโมงซึ่งเป็นของห้อง Loft Suite (A), (B) และ (C) ซึ่งผลการคำนวณได้ถูกนำเสนอในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณภาระปรับอากาศของห้องชุด

รูปแบบห้อง		ภาระการปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง)				ภาระการปรับอากาศที่ลดได้สูงสุด (บีทียู/ชั่วโมง)
		ตามแบบเดิม	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	
LS (A)	ห้องนั่งเล่น	15,689.33	15,134.17	15,490.13	15,364.07	**555.16**
LS (B)	ห้องนั่งเล่น	15,689.33	15,134.17	15,490.13	15,364.07	**555.16**
LS (C)	ห้องนั่งเล่น	15,689.33	15,134.17	15,490.13	15,364.07	**555.16**
LS (D)	ห้องนั่งเล่น	16,207.88	15,636.58	16,008.68	15,407.98	**799.90**
LS (E)	ห้องนั่งเล่น	16,726.44	16,139.00	16,527.24	15,909.44	**817.00**
EX (A)	ห้องนั่งเล่น	10,938.19	10,565.01	10,756.92	10,363.96	**574.23**
EX (A)	ห้องนอน 1	11,778.98	11,348.34	11,583.24	11,127.91	**651.07**
EX (B)	ห้องนั่งเล่น	11,696.10	11,316.00	11,495.91	11,094.64	**601.46**
EX (B)	ห้องนอน 1	12,693.69	12,199.07	12,518.71	11,977.02	**716.67**
EX (C)	ห้องนั่งเล่น	11,696.10	11,316.00	11,495.91	11,094.64	**601.46**
EX (C)	ห้องนอน 1	12,693.69	12,199.07	12,518.71	11,977.02	**716.67**
EX (D)	ห้องนั่งเล่น	11,696.10	11,316.00	11,495.91	11,094.64	**601.46**
EX (D)	ห้องนอน 1	12,693.69	12,199.07	12,518.71	11,977.02	**716.67**
EX (E)	ห้องนั่งเล่น	11,810.19	11,427.40	11,610.00	11,205.82	**604.36**
EX (E)	ห้องนอน 1	12,693.69	12,199.07	12,518.71	11,977.02	**716.67**
EX (F)	ห้องนั่งเล่น	12,218.05	11,821.81	12,017.86	11,599.49	**618.56**
EX (F)	ห้องนอน 1	13,964.40	13,466.83	13,682.80	13,242.36	**722.04**
FS	ห้องนั่งเล่น	17,960.36	17,426.54	17,703.33	17,136.80	**823.56**

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณภาระปรับอากาศของห้องชุด (ต่อ)

รูปแบบห้อง		ภาระการปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง)				ภาระการปรับอากาศที่ลดได้สูงสุด (บีทียู/ชั่วโมง)
		ตามแบบเดิม	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3	
FS	ห้องนอน 1	11,076.90	10,735.04	10,905.75	10,522.68	**554.22**
FS	ห้องนอน 2	8,901.70	8,538.78	8,623.86	8,228.25	**673.45**
FS (s)	ห้องนั่งเล่น	16,880.01	16,418.82	16,622.98	16,131.01	**749.00**
FS (s)	ห้องนอน 1	11,799.12	11,399.46	11,629.36	11,185.85	**613.27**
FS (s)	ห้องนอน 2	9,042.83	8,677.49	8,765.26	8,366.70	**676.13**

4.2 การเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ

ผลการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศของห้องชุด พบว่าไม่สามารถลดขนาดของเครื่องปรับอากาศได้ทั้งหมด โดยกรณีที่ตามแบบเดิมใช้ขนาดเครื่องปรับอากาศ 9,000 บีทียูนั้นไม่สามารถลดได้เนื่องจากเป็นขนาดที่เล็กที่สุดแล้ว กรณีที่ลดขนาดเครื่องปรับอากาศได้นั้นสามารถลดขนาดได้ 1 ขนาด ซึ่งลดจาก 18,000 บีทียูเป็น 15,000 บีทียู โดยเป็นของห้องรูปแบบ Loft Suite (A), (B) และ (C) ที่ใช้ทางเลือกการออกแบบที่ 1 และ 3 ซึ่งผลการเลือกได้ถูกนำเสนอในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศของห้องชุด

รูปแบบห้อง		ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (บีทียู)			
		ตามแบบเดิม	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
LS (A)	ห้องนั่งเล่น	18,000	**15,000**	18,000	**15,000**
LS (B)	ห้องนั่งเล่น	18,000	**15,000**	18,000	**15,000**
LS (C)	ห้องนั่งเล่น	18,000	**15,000**	18,000	**15,000**
LS (D)	ห้องนั่งเล่น	18,000	18,000	18,000	18,000
LS (E)	ห้องนั่งเล่น	18,000	18,000	18,000	18,000
EX (A)	ห้องนั่งเล่น	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (A)	ห้องนอน 1	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (B)	ห้องนั่งเล่น	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (B)	ห้องนอน 1	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (C)	ห้องนั่งเล่น	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (C)	ห้องนอน 1	12,000	12,000	12,000	12,000

ตารางที่ 4.2 ผลการเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศของห้องชุด (ต่อ)

รูปแบบห้อง		ขนาดของเครื่องปรับอากาศ (บีทียู)			
		ตามแบบเดิม	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
EX (D)	ห้องนั่งเล่น	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (D)	ห้องนอน 1	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (E)	ห้องนั่งเล่น	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (E)	ห้องนอน 1	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (F)	ห้องนั่งเล่น	12,000	12,000	12,000	12,000
EX (F)	ห้องนอน 1	15,000	15,000	15,000	15,000
FS	ห้องนั่งเล่น	18,000	18,000	18,000	18,000
FS	ห้องนอน 1	12,000	12,000	12,000	12,000
FS	ห้องนอน 2	9,000	9,000	9,000	9,000
FS (s)	ห้องนั่งเล่น	18,000	18,000	18,000	18,000
FS (s)	ห้องนอน 1	12,000	12,000	12,000	12,000
FS (s)	ห้องนอน 2	9,000	9,000	9,000	9,000

4.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายของผนังและระบบปรับอากาศ

จากตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายของผนังและระบบปรับอากาศ ซึ่งคำนวณจากผลรวมของค่าใช้จ่ายของระบบปรับอากาศและค่าใช้จ่ายของผนัง พบว่าค่าใช้จ่ายสูงขึ้นจากการออกแบบเดิม 6%, 10% และ 16% สำหรับทางเลือกที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายของผนังและระบบปรับอากาศ

รูปแบบห้อง		ค่าใช้จ่าย (บาท/ห้อง)			
		ตามแบบเดิม	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
LS (A)	ห้องนั่งเล่น	88,004	93,638	95,268	95,990
LS (B)	ห้องนั่งเล่น	88,004	93,638	95,268	95,990
LS (C)	ห้องนั่งเล่น	88,004	93,638	95,268	95,990
LS (D)	ห้องนั่งเล่น	89,698	95,455	96,962	102,719
LS (E)	ห้องนั่งเล่น	91,391	97,272	98,655	104,536
EX (A)	ห้องนั่งเล่น	65,374	69,646	72,333	76,606
EX (A)	ห้องนอน 1	66,434	70,729	73,698	77,993

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายของผนังและระบบปรับอากาศ (ต่อ)

รูปแบบห้อง		ค่าใช้จ่าย (บาท/ห้อง)			
		ตามแบบเดิม	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
EX (B)	ห้องนั่งเล่น	67,230	71,582	74,916	79,268
EX (B)	ห้องนอน 1	78,349	83,614	85,613	90,878
EX (C)	ห้องนั่งเล่น	67,230	71,582	74,916	79,268
EX (C)	ห้องนอน 1	78,349	83,614	85,613	90,878
EX (D)	ห้องนั่งเล่น	67,230	71,582	74,916	79,268
EX (D)	ห้องนอน 1	78,349	83,614	85,613	90,878
EX (E)	ห้องนั่งเล่น	67,559	71,941	75,245	79,627
EX (E)	ห้องนอน 1	77,952	83,217	85,216	90,481
EX (F)	ห้องนั่งเล่น	69,487	74,023	77,173	81,709
EX (F)	ห้องนอน 1	78,472	83,521	84,604	90,785
FS	ห้องนั่งเล่น	90,492	96,212	99,865	105,585
FS	ห้องนอน 1	61,055	64,680	70,428	74,053
FS	ห้องนอน 2	51,948	55,593	54,338	57,983
FS (s)	ห้องนั่งเล่น	80,474	85,301	89,848	94,674
FS (s)	ห้องนอน 1	68,364	72,667	76,737	82,040
FS (s)	ห้องนอน 2	51,743	55,357	54,133	57,747

4.4 ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่าย

พิจารณาระยะเวลาคืนทุนจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง เมื่อลดขนาดของเครื่องปรับอากาศได้ คำนวณหาระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ 14

$$\textit{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\textit{ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น}}{\textit{ค่าพลังงานที่ประหยัดได้}} \qquad (14)$$

โดยพิจารณาที่ค่าพลังงานไฟฟ้า 4 บาทต่อหน่วย และระยะเวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน และค่าภาระทางไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 12,000 BTU เท่ากับ 1,500 VA จะได้ว่า

เครื่องปรับอากาศ 18,000 BTU มีภาระทางไฟฟ้าเท่ากับ 2,250 VA
มีค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 18 kWh ต่อวัน

		คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า	72	บาทต่อวัน
เครื่องปรับอากาศ	15,000 BTU	มีภาระทางไฟฟ้าเท่ากับ	1,875	VA
		มีค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ	15	kWh ต่อวัน
		คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า	60	บาทต่อวัน

ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 72 – 60 = 12 บาทต่อวัน

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน สำหรับทางเลือกการออกแบบที่ 1 = 470 วัน

= 1.2 ปี

และ ระยะเวลาคืนทุน สำหรับทางเลือกการออกแบบที่ 3 = 666 วัน

= 1.8 ปี

4.5 อัตราผลตอบแทนภายใน

พิจารณาผลประหยัดพลังงานที่ค่าพลังงานไฟฟ้า 4 บาทต่อหน่วย ระยะเวลาใช้งานเครื่องปรับอากาศ 8 ชั่วโมงต่อวัน ค่าภาระทางไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 12,000 BTU เท่ากับ 1,500 VA และพิจารณาระยะเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่ 10 ปี จะได้ว่า

เครื่องปรับอากาศ	18,000 BTU	มีภาระทางไฟฟ้าเท่ากับ	2,250	VA
		มีค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ	18	kWhต่อวัน
		คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า	72	บาทต่อวัน
		หรือ 72 × 365 วัน =	26,280	บาทต่อปี
เครื่องปรับอากาศ	15,000 BTU	มีภาระทางไฟฟ้าเท่ากับ	1,875	VA
		มีค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ	15	kWh ต่อวัน
		คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า	60	บาทต่อวัน
		หรือ 60 × 365 วัน =	21,900	บาทต่อปี

ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 26,280 – 21,900 = 4,380 บาทต่อปี

เงินลงทุนเริ่มต้นสำหรับการออกแบบตามแบบเดิม = 88,004 บาท

เงินลงทุนเริ่มต้นสำหรับทางเลือกการออกแบบที่ 1 = 93,638 บาท

เงินลงที่เพิ่มขึ้น 93,638 - 88,004 = 5,634 บาท

เงินลงทุนเริ่มต้นสำหรับทางเลือกการออกแบบที่ 3 = 95,990 บาท

เงินลงที่เพิ่มขึ้น 95,990 - 88,004 = 7,986 บาท

พิจารณาระยะเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศที่ 10 ปี

จะได้อัตราผลตอบแทนภายในของทางเลือกการออกแบบที่ 1 = 78%

และอัตราผลตอบแทนภายในของทางเลือกการออกแบบที่ 3 = 55%

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การออกแบบด้วยทางเลือกทั้ง 3 สามารถทำให้ภาระการปรับอากาศของห้องชุดลดลงได้ทั้งหมด แต่สามารถทำให้ขนาดเครื่องปรับอากาศลดลงได้เพียงบางรูปแบบห้องดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการศึกษา

หัวข้อ	ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
ลดภาระการปรับอากาศ	ได้	ได้	ได้
ลดขนาดเครื่องปรับอากาศ	ได้บางส่วน	ไม่ได้	ได้บางส่วน
ระยะเวลาคืนทุน	1.2 ปี	-	1.8 ปี
ค่าใช้จ่ายสูง	เพิ่มขึ้นน้อยที่สุด	เพิ่มขึ้นปานกลาง	เพิ่มขึ้นมากที่สุด

จากตารางที่ 5.1 พบว่าการออกแบบทางเลือกที่ 1 และทางเลือกที่ 2 สามารถลดขนาดเครื่องปรับอากาศของรูปแบบห้อง Loft Suite (A), (B) และ (C) ได้เล็กลง 1 ขนาด ซึ่งทั้ง 3 รูปแบบห้องมีจำนวนห้องรวมกันประมาณ 20% ของจำนวนห้องทั้งหมดในโครงการ เมื่อพิจารณาภาระการปรับอากาศของกรณีที่สามารถลดขนาดของเครื่องปรับอากาศได้ พบว่าภาระการปรับอากาศของตามแบบเดิมนั้นสูงกว่าขนาดภาระการปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศที่เล็กกว่า 1 ขนาดเพียงเล็กน้อย พอที่จะสามารถลดขนาดเครื่องปรับอากาศโดยภาระการปรับอากาศลดลงในช่วง 555 – 823 บีทียูต่อชั่วโมง เนื่องจากผลการศึกษาที่เมื่อลดขนาดเครื่องปรับอากาศเล็กลงได้ 1 ขนาดนั้นไม่ส่งผลให้ขนาดสายไฟละท่อร้อยสายไฟเปลี่ยนแปลง ทำให้ต้นทุนของระบบไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง

สำหรับผู้พักอาศัยนั้นจะได้ผลประโยชน์จากการใช้ทางเลือกการออกแบบในการศึกษานี้จากค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง เนื่องจากภาระการปรับอากาศจากภายนอกจะเข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศได้น้อยลง และอากาศเย็นภายในพื้นที่ปรับอากาศจะถูกกักเก็บในพื้นที่ปรับอากาศได้นานขึ้น และสำหรับผู้พักอาศัยห้องที่สามารถลดขนาดเครื่องปรับอากาศได้นั้นจะมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 1.2 – 1.8 ปี ดังแสดงตารางที่ 5.1

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายของแต่ละทางเลือกการออกแบบทุกรูปแบบห้องพบว่ามีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นทั้ง 3 ทางเลือกโดยเรียงจากน้อยไปมาก คือ ทางเลือกที่ 1, ทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่ 3 ตามลำดับ ดังแสดงตารางที่ 5.1 ทางเลือกที่ 1 การใช้อิฐมวลเบาหนา 10 เซนติเมตรแทน 7.5 เซนติเมตร จึงเป็นทางเลือกการออกแบบที่คุ้มค่าที่สุดใน 3 ทางเลือกที่ทำการศึกษา เนื่องจากสามารถลดเครื่องปรับอากาศได้บางส่วน และมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

การคำนวณภาระการปรับอากาศในการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลวัสดุบางชนิดจากประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 ซึ่งอาจไม่ตรงกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างจริง หากทราบวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจริง ควรใช้ข้อมูลคุณสมบัติจากผู้ผลิตวัสดุนั้น เพื่อให้การประมาณภาระการปรับอากาศใกล้เคียงความจริงมากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] *เกี่ยวกับเรา Supalai.* (พ.ศ. 2560). เรียกใช้เมื่อ ธันวาคม พ.ศ. 2560 จาก Supalai: http://www.supalai.com/th/AboutUs

[2] *หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน.* (ม.ป.พ.). เรียกใช้เมื่อ ธันวาคม พ.ศ. 2560 จาก สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/file_handbook.html

[3] Ass.Prof.Dr.Tul Manewattana. (พ.ศ. 2559). *การคำนวณภาระในการทำความเย็น.* เรียกใช้เมื่อ กันยายน พ.ศ. 2560 จาก TMW-CL1 (AI Edition): http://www.tmn.co.th

[4] สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย(AIT). (กรกฎาคม พ.ศ. 2547). *โครงการปรับปรุงข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารควบคุม "รายงานฉบับสุดท้าย".* เรียกใช้เมื่อ ตุลาคม พ.ศ. 2560 จาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: http://www.dede.go.th/download/EnergyConservationINBuilding/EFDG.pdf

[5] ผศ.น.อ.ดร.ตระการ. (ม.ป.ป.). *การทำความเย็น Refrigeration.* ม.ป.พ.

[6] Yungus A. Cengel and Afshin Jahanshahi Ghajar. (พ.ศ. 2553). *Heat And Mass Transfer: Fundamentals And Applications.* ม.ป.พ.: McGraw-Hill Education.

[7] Faculty of Architecture The University of Hong Kong. (ม.ป.ป.). *Calculation and Application of Overall Thermal Transfer Value (OTTV) and Uvalue.* เรียกใช้เมื่อ กันยายน พ.ศ. 2560 จาก https://www.scribd.com: https://www.scribd.com/document/318928273/SCI06-Calculation-and-Application-of-Overall-Thermal-Transfer-Value-OTTV-and-Uvalue-Teaching-Notes

[8] *ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. ๒๕๕๒.* (พ.ศ. 2552). เรียกใช้เมื่อ กันยายน พ.ศ. 2560 จาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=234

[9] คณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกล. (ม.ป.ป.). *ร่างมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ.* เรียกใช้เมื่อ กันยายน พ.ศ. 2560 จาก โรงพยาบาลตากฟ้า: http://www.tfh.go.th/tfh/wp-content/uploads/2017/06/ร่างมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ_2.pdf

[10] *หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ค่าผลตอบแทนทางการเงินและทางเศรษฐศาสตร์*. (พ.ศ. 2550). เรียกใช้เมื่อ ธันวาคม พ.ศ. 2560 จาก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.): http://www2.dede.go.th/webpage/frame.htm

[11] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (พ.ศ. 2555). บทที่ 4 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงาน. ใน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, *คู่มือการอนุรักษ์พลังงานจากกรณีตัวอย่างที่ประสบผลสำเร็จ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักร และอุปกรณ์* (หน้า 4-37 – 4-40)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณสมบัติกระจก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลคุณสมบัติกระจก

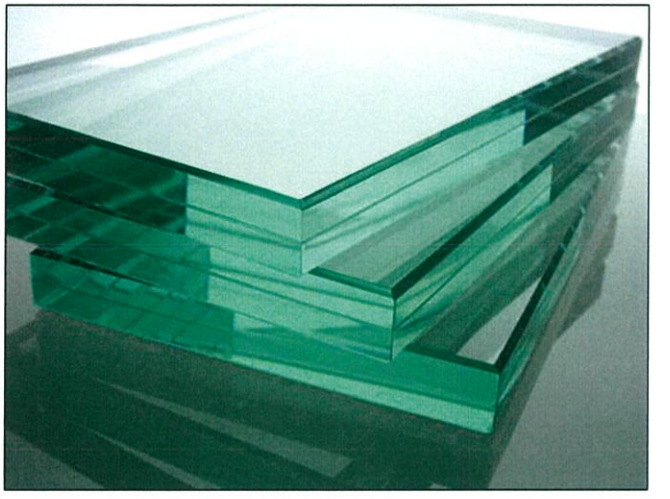
ก.1 ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุกระจก

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุกระจก

ชนิดกระจก	Visible Light			Solar Energy				U-value		Shading Coeff.	RHG		SHGC	LSG
	Trans.	Reflectance		Trans.	Reflectance		Abs.	Summer (W/m2.K)	Summer (BTU/ft2.℉)		(W/m2.K)	(BTU/ft2.℉)		
		(out)	(in)		(out)	(in)								
Clear Glass (A) A/N 6 mm.	88	9	9	77	10	10	13	5.76	1.01	0.92	625	198	0.80	1.11
Green Glass (SMG) A/N 6 mm.	69	7	7	37	5	5	58	5.76	1.01	0.59	417	132	0.52	1.35
Green Glass (G) A/N 6 mm.	76	7	8	45	5	6	50	5.76	1.01	0.66	461	146	0.57	1.33
Blue Glass (PMC-A) A/N 6 mm.	54	6	6	46	5	6	48	5.76	1.01	0.68	473	150	0.59	0.92
Clear Glass (A) A/N +#PS02 + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	71	10	10	57	10	10	33	5.72	1.01	0.75	517	164	0.65	1.08
Clear Glass (A) A/N +#PS11K + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	38	10	10	38	10	9	52	5.72	1.01	0.60	423	134	0.52	0.72
Clear Glass (A) A/N +#PL03 + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	54	10	9	47	9	9	44	5.72	1.01	0.67	467	148	0.58	0.92
Clear Glass (A) A/N +#PS12 + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	58	10	10	47	11	11	42	5.72	1.01	0.67	467	148	0.58	1.00
Clear Glass (A) A/N + Clear PVB + Clear Glass (A) A/N (6-0.76-6)	85	10	11	61	12	12	27	5.63	0.99	0.78	535	170	0.68	1.26
Clear Glass (A) A/N + Air/Space + Clear Glass (A) A/N (6-6-6)	79	17	17	17	61	17	22	3.26	0.57	0.80	529	168	0.69	1.13
Blue Glass (PMC-A) A/N + Clear PVB + Clear Glass (A) A/N (6-0.76-6)	52	6	12	37	6	13	57	5.63	0.99	0.59	416	132	0.52	1.02
Blue Glass (PMC-A) A/N + Air/Space + Clear Glass (A) A/N (6-6-6)	47	9	14	14	38	8	48	3.26	0.57	0.55	372	118	0.48	0.99
Green Glass (SMG) A/N + Clear PVB +Green Glass (SMG) A/N (5-0.38-5)	58	8	8	24	6	6	69	5.67	1.00	0.47	340	108	0.42	1.43
Green Glass (A) A/N + Clear PVB +Green Glass (A) A/N (5-0.38-5)	67	9	9	30	7	6	63	5.67	1.00	0.54	384	122	0.47	1.42
Green Glass (A) A/N + Clear PVB + Green Glass (A) A/N (4-0.38-4)	72	9	9	39	7	7	54	5.72	1.01	0.61	429	136	0.53	1.35
Green Glass (A) A/N + Clear PVB + Clear Glass (A) A/N (4-0.38-4)	80	8	10	51	7	10	43	5.72	1.01	0.71	492	156	0.62	1.29
Green Glass (G) A/N + Clear PVB + Clear Glass (A) A/N (6-0.76-6)	74	8	11	37	6	13	57	5.63	0.99	0.60	422	134	0.52	1.41
Green Glass (G) A/N + Air/Space + Clear Glass (A) A/N (6-6-6)	68	13	15	14	37	8	49	3.26	0.57	0.55	372	118	0.48	1.42
Blue A/N + Clear PVB + Clear Glass (A) (4-0.38-4)	59	11	10	27	12	10	61	5.72	1.01	0.49	353	112	0.43	0.91

ก.2 กระจกลามิเนต

กระจกลามิเนต (Laminated Glass) หรือ กระจกนิรภัยหลายชั้น เป็นกระจกรูปแบบหนึ่งที่เกิดขึ้นจากการนำกระจกตั้งแต่ 2 แผ่นขึ้นไปมาประกบกันโดยมีแผ่นฟิล์มนิรภัย PVB (Poly vinyl butyral) ขั้นอยู่ระหว่างกลางเพื่อยึดกระจกไว้ให้มีความแข็งแรงทนทานมากยิ่งขึ้นและตอบสนองการใช้งานในด้านความปลอดภัยที่สูง โดยทั่วไปถ้าเป็นกระจกเทมเปอร์ธรรมดา เมื่อเกิดการแตกขึ้นก็จะเป็นลักษณะเหมือนเมล็ดข้าวโพด แต่สำหรับกระจกลามิเนตนั้นจะแตกต่างออกไป หากเกิดการแตกขึ้นก็จะยังคงรูปเป็นแผ่นดังเดิม แผ่นฟิล์มที่ติดไว้จะเป็นตัวยึดเกาะทำให้เศษกระจกไม่หลุดร่วงลงมาทำให้เกิดอันตราย ดังแสดงในรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 กระจกลามิเนต

กระจกที่จะนำมาสรรสร้างเป็นกระจกลามิเนตนั้นสามารถใช้ได้หลายแบบ ทั้งกระจกเทมเปอร์ กระจกโฟลตใส กระจกสะท้อนแสง และความหนาก็สามารถเลือกได้ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน

คุณสมบัติเฉพาะของกระจกลามิเนต ได้แก่

1. หากเกิดการแตกเศษกระจกจะไม่ร่วงหล่น เศษกระจกยังคงยึดติดกันอยู่ด้วยฟิล์มที่ยึดอยู่ระหว่างแผ่นกระจก เหมือนใยแมงมุม จึงช่วยลดเรื่องความอันตรายเมื่อเวลากระจกแตก
2. ไม่ว่าจะมีวัตถุใดมากระทบก็จะไม่สามารถทะลุผ่านไปได้เพราะมีแผ่นฟิล์มรองรับไว้อีกชั้น จึงช่วยในเรื่องการป้องกันการโจรกรรม การทุบกระจกได้เป็นอย่างดี
3. เก็บเสียงได้ดีกว่ากระจกธรรมดาทั่วไป
4. มีอายุการใช้งานยาวนาน ไม่ลอกร่อน
5. ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้มากกว่า 99%
6. สามารถสร้างสีสันหรือรูปแบบตามที่ต้องการได้หลากหลาย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ

ภาคผนวก ข

ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ

ข.1 ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในโครงการที่ศึกษา

รูปที่ ก.2-1 ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ 1

Product Specifications

Model	Indoor Unit		MCWE09GB5	MCWE12GB5	MCWE15GB5	MCWE18GB5	MCWE24GB5
	Outdoor Unit		TTKE09GB5	TTKE12GB5	TTKE15GB5	TTKE18GB5	TTKE24GB5
Electrical Data	Power Supply	V/Ph/Hz	220-240/1/50	220-240/1/50	220-240/1/50	220-240/1/50	220-240/1/50
Performance Data	Capacity	Btu/h	9,400	12,700	15,200	18,300	25,300
	Airflow	cfm	300	400	500	600	800
	SEER EGAT#5 Y2017		13.00	12.88	12.85	12.85	12.90
	Room Size	sq.m.	9-12	13-18	19-23	24-28	29-35
Indoor Unit							
Fan Motor	RLA	A	0.20	0.24	0.32	0.32	0.32
Cross Flow Fan	Quantity		1	1	1	1	1
Control Type	Wireless Remote Control	Standard	•	•	•	•	•
Features	Activated Carbon Filter	Standard	•	•	•	•	•
	Auto Restart	Standard	•	•	•	•	•
	3-minute Timer Delay	Standard	•	•	•	•	•
	Fan Speed		3 + Auto	3 + Auto	3 + Auto	3 + Auto	3 + Auto
	Temperature Setting	°C	16-30	16-30	16-30	16-30	16-30
	Turbo Mode		•	•	•	•	•
	Blow Function		•	•	•	•	•
	I Feel Function		•	•	•	•	•
Dimensions	H x W x D	mm	275x790x200	289x845x209	300x970x224	300x970x224	325x1,078x246
Weight	Uncrated (Net)	kg	9	10	14	14	17
Outdoor Unit							
Compressor	Type		Rotary	Rotary	Rotary	Rotary	Rotary
	RLA	A	2.9	3.9	5.3	6.1	8.0
Fan Motor	RLA	A	0.33	0.33	0.48	0.48	0.48
Propeller Fan	Quantity		1	1	1	1	1
Dimensions	H x W x D	mm	540x776x257	540x848x257	596x900x303	596x900x303	646x904x334
Weight	Uncrated (Net)	kg	26	30	42	42	50
Piping Connection Type			Shut-off Valve Flare Connection				
Connection Pipe Size	Liquid	in	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4
	Suction	in	3/8	1/2	1/2	1/2	5/8
Refrigerant			R-32				
TIS 2134-2553 Mark							

หมายเหตุ: 1. สภาวะการทดสอบภายใต้มาตรฐาน (ARI) ที่อุณหภูมิ 80° F DB/67° F WB (Indoor) และ 95° F DB (Outdoor)
2. Dimension และ Outdoor Unit ที่รวมในการกำหนด Specification ความสูงของเครื่องรวมถึงขาตั้งเครื่องและส่วนที่ยื่นออกมาด้วย
3. ได้รับการรับรองฉลากประหยัดไฟฟ้าตามมาตรฐานเลขที่ 2134-2553 ของ สนพ.
4. ทุกรุ่นสามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดได้ 24 ชม. (Programmable Timer), มีโหมดการทำงานแบบลมเย็น (Dry Mode), โหมดการทำงานแบบลมธรรมชาติ (Sleep Mode) และโหมดการทำงานแบบส่ายลมอัตโนมัติ (Auto Sweep)
5. ขนาดห้อง (Room Size) เป็นการกำหนดจากเงื่อนไขการทดสอบ และเป็นการกำหนดสำหรับการใช้งานเครื่องปรับอากาศในห้องทั่วไป เช่น ห้องนอน
6. รายละเอียดผลิตภัณฑ์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

ขนาดรวมถึงขาตั้ง
มีให้เลือกขนาด
9,400 - 25,300 Btu/h

Quiet Function

Full BTU/H

I Feel Function

Certified Energy Saving EGAT No.5

Blow Function

Catechin with Activated Carbon Filter

TRANE

12 Compressor Warranty | 2 Parts Warranty

Ingersoll Rand (NYSE:IR) advances the quality of life by creating comfortable, sustainable and efficient environments. Our people and our family of brands—including Club Car®, Ingersoll Rand®, Thermo King® and Trane®—work together to enhance the quality and comfort of air in homes and buildings, transport and protect food and perishables, and increase industrial productivity and efficiency. We are a $12 billion global business committed to a world of sustainable progress and enduring results. For more information, visit www.tranethailand.com

เทรน (ประเทศไทย)
เลขที่ 1126/2 ชั้น 30-31 อาคารวานิช 2 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงมักกะสัน เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
0-2761-1111

© 2017 Trane All rights reserved

MS-SLE032-TH June 15, 2017

Ingersoll Rand

รูปที่ ก.2-2 ข้อมูลคุณสมบัติของเครื่องปรับอากาศ 2

ภาคผนวก ค

รูปแบบการติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit, CDU)

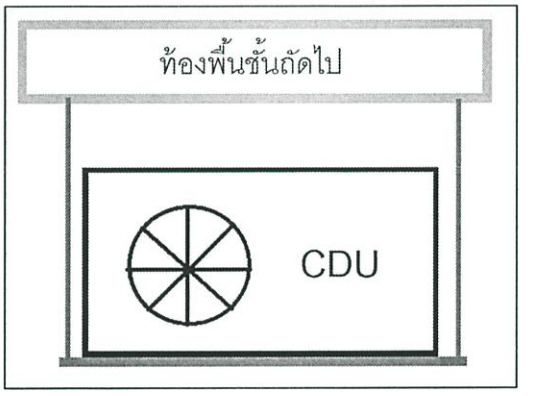
ภาคผนวก ค

รูปแบบการติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit, CDU)

ค.1 รูปแบบการติดตั้งคอนเดนซิ่งยูนิต

ค.1.1 การติดตั้งรูปแบบ A1

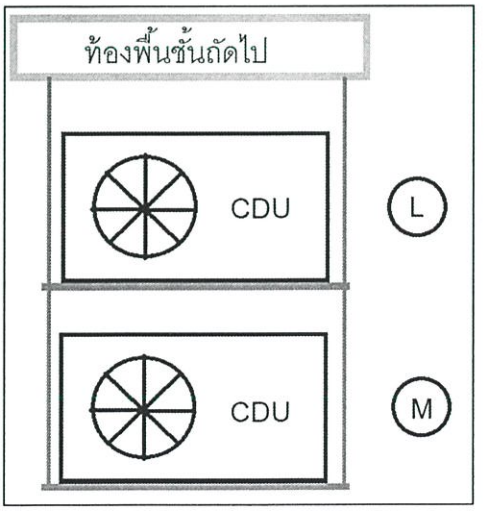
การใช้ที่แขวนกับท้องพื้นสำหรับคอนเดนซิ่งยูนิต 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ค.1-1



รูปที่ ค.1-1 การติดตั้งรูปแบบ A1

ค.1.2 การติดตั้งรูปแบบ A2

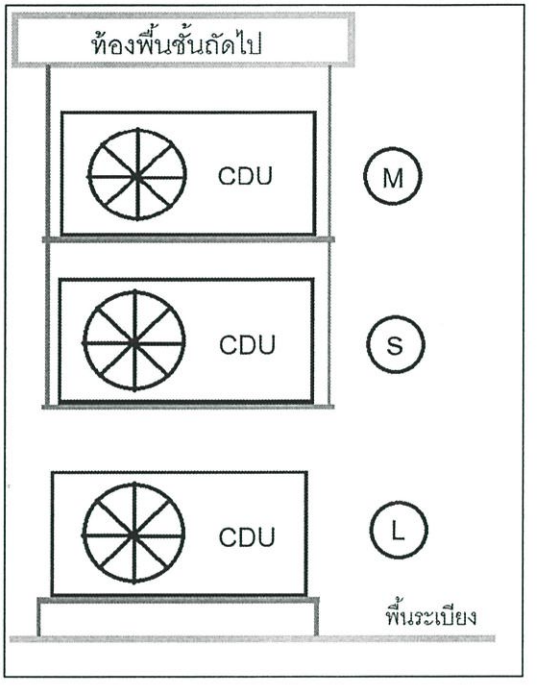
การใช้ที่แขวนกับท้องพื้นสำหรับคอนเดนซิ่งยูนิต 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ค.1-2



รูปที่ ค.1-2 การติดตั้งรูปแบบ A2

ค.1.3 การติดตั้งรูปแบบ A3

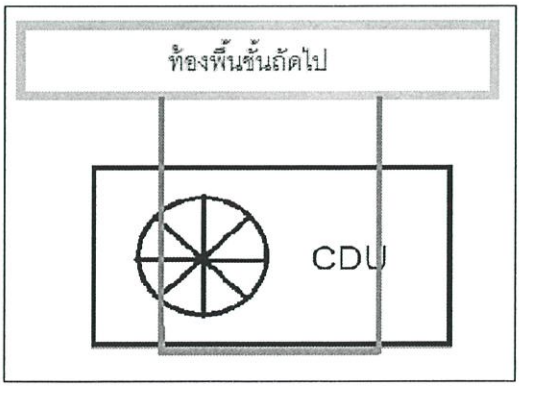
การใช้ที่แขวนกับท้องพื้นสำหรับคอนเดนซิ่งยูนิต 2 ชุด และขาเหล็ก ความสูง 20 ซม. สำหรับวาง CDU กับพื้น 1 ชุดดังแสดงในรูปที่ ค.1-3



รูปที่ ค.1-3 การติดตั้งรูปแบบ A3

ค.1.4 การติดตั้งรูปแบบ B1

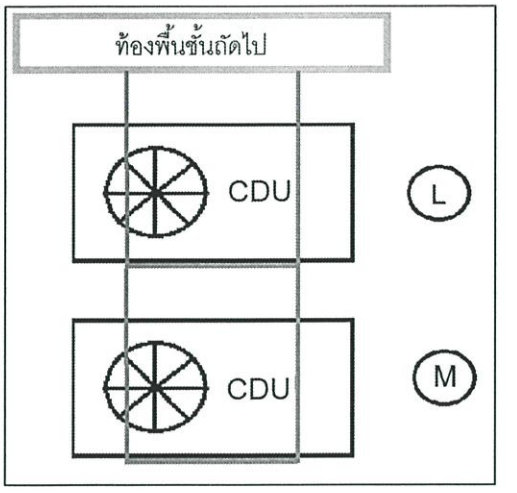
การใช้ที่แขวนกับท้องพื้นสำหรับคอนเดนซิ่งยูนิต 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ค.1-4



รูปที่ ค.1-4 การติดตั้งรูปแบบ B1

ค.1.5 การติดตั้งรูปแบบ B2

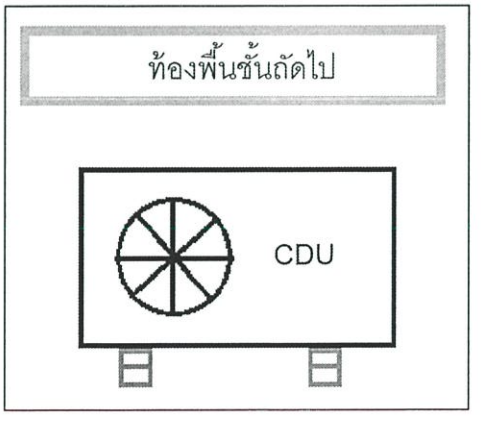
การใช้ที่แขวนกับท้องพื้นสำหรับคอนเดนซิ่งยูนิต 2 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ค.1-5



รูปที่ ค.1-5 การติดตั้งรูปแบบ B2

ค.1.6 การติดตั้งรูปแบบ C1

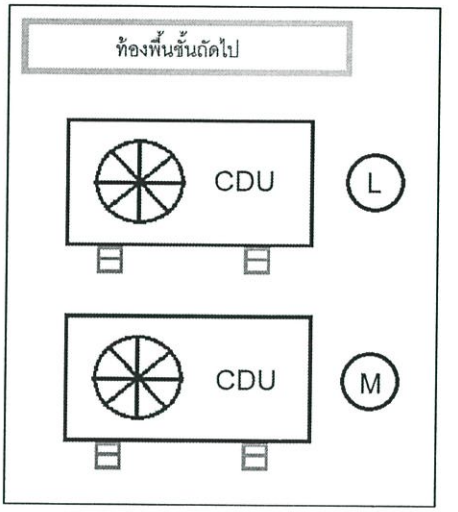
การใช้ขายึดติดกับผนัง เพื่อวางคอนเดนซิ่งยูนิต 1 ชุด ใช้กรณีที่ผนังเป็นคอนกรีตหรือเสาโครงสร้างเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ ค.1-6



รูปที่ ค.1-6 การติดตั้งรูปแบบ C1

ค.1.7 การติดตั้งรูปแบบ C2

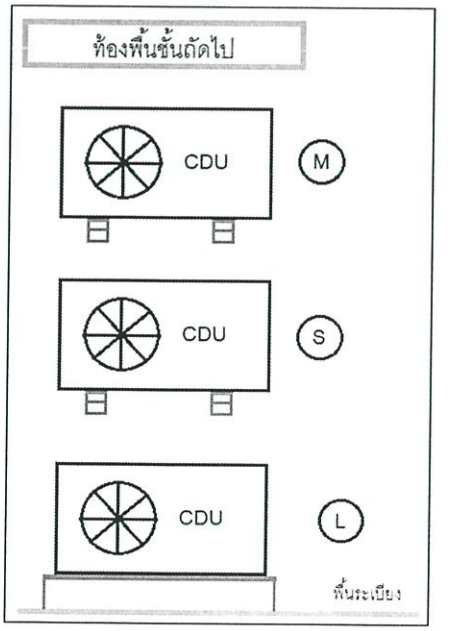
การใช้ขายึดติดกับผนัง เพื่อวางคอนเดนซิ่งยูนิต 2 ชุด ใช้กรณีที่ผนังเป็นคอนกรีตหรือเสาโครงสร้างเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ ค.1-7



รูปที่ ค.1-7 การติดตั้งรูปแบบ C2

ค.1.8 การติดตั้งรูปแบบ C3

การใช้ขายึดติดกับผนัง เพื่อวางคอนเดนซิ่งยูนิต 2 ชุด ใช้กรณีที่ผนังเป็นคอนกรีตหรือเสาโครงสร้างเท่านั้น และขาเหล็ก ความสูง 20 ซม. สำหรับวาง CDU กับพื้น 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ ค.1-8



รูปที่ ค.1-8 การติดตั้งรูปแบบ C3

ข้อกำหนดเรื่องตำแหน่งของคอนเดนซิ่งยูนิต

1. กรณีมีคอนเดนซิ่งยูนิตอยู่ที่พื้น กำหนดให้คอนเดนซิ่งยูนิตตัวที่วางพื้นเป็นตัวที่มีขนาดใหญ่ที่สุด
2. กรณีคอนเดนซิ่งยูนิต แขวน 2 ชุด กำหนดให้คอนเดนซิ่งยูนิตตัวที่ BTU มากที่สุดอยู่ด้านบน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล : นางสาวณัฐฐิญา ชาญสิริโรจน์

วัน เดือน ปีเกิด : 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2539

ภูมิลำเนา : 261 ถนนกาญจนวนิช ตำบลหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

อีเมลล์ : 57010418@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา : ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

โรงเรียนมอ.วิทยานุสรณ์ จังหวัดสงขลา

: ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนมอ.วิทยานุสรณ์ จังหวัดสงขลา

: ระดับปริญญาตรี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติการทำงาน : 1 มิถุนายน – 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

นักศึกษาฝึกงาน ฝ่ายวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิศวกรรม สายการผลิตสุรา

บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน)

: 7 สิงหาคม – 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560

นักศึกษาสหกิจศึกษา ฝ่ายก่อสร้างอาคารสูง สำนักงานใหญ่

บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน)