สำนักหอสมุด

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

Life Cycle Cost and Decide to Design of Start up and Innovation Building Envelope, Naresuan University.

นายนัฐวัฒน์ พิมพ์สารี รหัส 56362102
นายศิริพงษ์ ชัยอาจ รหัส 56362263
นางสาวไพลิน เถาวัลย์ดี รหัส 56362140

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 23 พ.ย. 2560
เลขทะเบียน 1720346
เลขเรียกหนังสือ
ปร.
ฆ392 ก
2559

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน	: ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร Life Cycle Cost and Decide to Design of Start up and Innovation Building Envelope, Naresuan University.		
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายนัฐวัฒน์	พิมพ์สารี	รหัส 56362102
	นายศิริพงษ์	ชัยอาจ	รหัส 56362263
	นางสาวไพลิน	เถาวัลย์ดี	รหัส 56362140
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2559		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงาน

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร)

.....กรรมการ
(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

หัวข้อโครงงาน	: ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร		
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายนัฐวัฒน์	พิมพ์สารี	รหัส 56362102
	นายศิริพงษ์	ชัยอาจ	รหัส 56362263
	นางสาวไพลิน	เถาวัลย์ดี	รหัส 56362140
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2559		

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบวัสดุกรอบอาคาร Start up and Innovation คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ให้มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานตลอด 15 ปี ต่ำที่สุด อาคารนี้ประกอบไปด้วย อาคาร Creative Space และอาคาร Co-Working Space มีพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR) เท่ากับ 0.61 และ 0.29 ตามลำดับ พื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนัง (RWR) เท่ากับ 0.55 และ 0.66 ตามลำดับ ขนาดเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนคำนวณได้จากค่าความร้อนสูงสุดของกรอบอาคารที่แตกต่างกันทั้ง 78 แบบ ด้วยวิธี CLTD (Cooling Load Temperate Difference)

เมื่อกรอบอาคารมีการถ่ายเทความร้อนต่ำลง (มีค่าความเป็นฉนวนสูงขึ้น) ราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างก็จะเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันราคาค่าเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งรวมถึงค่าพลังงานไฟฟ้าจะต่ำลง ผลการศึกษาพบว่ากรอบอาคารแบบ ผนังก่ออิฐมวลเบาบุฉนวน 4 นิ้ว หลังคาเมทัลชีทบุฉนวน 6 นิ้ว และกระจกฉนวน 2 ชั้น มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด คือ 4,859,732 บาท โดยแบ่งเป็น ราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง 1,054,394 บาท ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง 710,923 บาท ค่าพลังงานไฟฟ้า 3,094,415 บาท ตามลำดับ

คำสำคัญ: *กรอบอาคาร, ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน*

Project Title : Life Cycle Cost and Decide to Design of Start up and Innovation Building Envelope, Naresuan University.
Name : Mr. Nattawat Pimsaree
Mr. Siripong Chaiaj
Miss Pailin Thaowandee
Project Advisor : Assistant Professor Sitphan Kanla
Academic Year : 2016

Abstract

This project was aimed to study and design the envelope of Start up and Innovation (Faculty of Engineering Naresuan University) for the lowest life cycle cost in 15 years. This building include Creative space and Co-working space there has the window to wall ratio (WWR) in air conditioned areas are 0.61 and 0.29 respectively the roof areas to wall ratio are 0.55 and 0.66 respectively. Cooling capacity of split type air conditioner find out from 78 type building envelope difference with CLTD (Cooling Load Temperature Difference) method.

Whenever building envelope had lower thermal transfer value (higher insulation value), building envelope cost is increase however air conditioner cost and energy cost are decrease. The result of study find out that building envelope aerate concrete block with 4" fiber glass insulation, roof metal sheet with 6" fiber glass insulation and double insulated glass will has the lowest life cycle cost be 4,859,732 Baht which was scoped in 3 main type of building envelope and labor cost is 1,054,394 Baht, air conditioner and installation cost is 710,923 Baht, energy cost is 3,094,415 Baht respectively.

Keywords: Building envelope, Life cycle cost, Split type air conditioner

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้สามารถทำงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ผศ. ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่กรุณาให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินโครงงาน ตลอดจนติดตามประเมินผลการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร และ ดร. ภาณุ พุทธวงศ์ ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ต่างๆ เพื่อให้โครงงานนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงาน

ขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจจนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงงานนี้ แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายนัฐวัฒน์ พิมพ์สารี
นายศิริพงษ์ ชัยอาจ
นางสาวไพลิน เถาวัลย์ดี

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงาน ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
Abstract ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญภาพ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญตาราง (ต่อ) ..... ฌ
สารบัญกราฟ ..... ญ
บทที่ 1 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 8
1.5 แผนการดำเนินงาน 8
1.6 รายละเอียดงบประมาณที่ใช้ 8
บทที่ 2 9
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) 10
2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling Load) 13
2.4 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม 16
บทที่ 3 19
3.1 โครงการ Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร 19
3.2 การสร้างแบบจำลองของกรอบอาคาร 23
3.3 การออกแบบภาระการทำความเย็นสำหรับเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ 23
3.4 การคำนวณราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง 24
3.5 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน 25
3.6 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 25
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ของเครื่องปรับอากาศ 26
ตลอดอายุการใช้งาน 26
บทที่ 4 27
4.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง 27
4.2 ภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak Cooling Load) 33
4.3 ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้ง 39
4.4 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน 45
4.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร 51
บทที่ 5 57
5.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง 57
5.2 ภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak Cooling Load) 57
5.3 ภาระการทำความเย็นและราคาพร้อมติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 57
5.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี 58
5.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร 58
5.6 สรุปผลการศึกษาวัสดุกรออาคาร 58
5.7 ข้อเสนอแนะ 61
เอกสารอ้างอิง 62
ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก 64
ภาคผนวก ข 68
ภาคผนวก ค 79
ภาคผนวก ง 82
ภาคผนวก จ 85
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 90

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดฝังฝ้า (Cassette Type)..... 7
รูปที่ 1.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแขวน (Ceiling Type)..... 7
รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุ..... 11
รูปที่ 2.2 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน..... 12
รูปที่ 2.3 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากันทุกปีในรูปของ Uniform Series..... 16
รูปที่ 2.4 แสดงค่าพลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเพราะคุณภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงเท่ากันทุกปีของ Gradient Present Worth..... 17
รูปที่ 3.1 ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร..... 20
รูปที่ 3.2 อาคาร Startup and innovation ในมุมมองสามมิติต่างๆ..... 20
รูปที่ 3.3 แปลนอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร..... 21
รูปที่ 3.4 พื้นที่ปรับอากาศและกรอบอาคารที่ใช้ในการพิจารณาค่าวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง..... 22
รูปที่ 3.5 แผนภาพวิธีการดำเนินงานการศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน..... 26
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ Cassette Type ของอาคาร Creative Space..... 37
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ Cassette Type ของอาคาร Working Space..... 38
รูปที่ 5.1 สรุปผลการศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร..... 60
รูปที่ จ.1 รูปด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (ด้านหน้าอาคาร)..... 86
รูปที่ จ.2 รูปด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (ด้านหลังอาคาร)..... 86
รูปที่ จ.3 รูปด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้..... 87
รูปที่ จ.4 รูปด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ..... 88
รูปที่ จ.5 รูปตัด 1-1 ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้..... 89
รูปที่ จ.6 รูปตัด 2-2 ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ..... 89

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา 3
ตารางที่ 1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมอญ 4
ตารางที่ 1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 5
ตารางที่ 1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง 5
ตารางที่ 1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา 6
ตารางที่ 1.6 แสดงแผนการดำเนินงาน 8
ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุก่อสร้างกรอบอาคาร 65
ตารางที่ ก.2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร 65
ตารางที่ ก.3 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคา 66
ตารางที่ ก.4 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร 66
ตารางที่ ก.5 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง 66
ตารางที่ ก.6 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร 67
ตารางที่ ข.1 จำนวนผู้ใช้บริการและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในแต่ละห้อง 70
ตารางที่ ข.2 สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC) 71
ตารางที่ ข.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar heat gain factor; SHGF) (Btu/hr-ft2) 71
ตารางที่ ข.4 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces, (Btu/hr) 72
ตารางที่ ข.5 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group A wall 73
ตารางที่ ข.6 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group D wall 74
ตารางที่ ข.7 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group E wall 75
ตารางที่ ข.8 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group G wall 76
ตารางที่ ข.9 Cooling Load Temperate Difference (CLTD) (ของผนังโปร่งแสง) 77
ตารางที่ ข.10 ตัวประกอบภาระการทำความเย็น (Cooling load factor; CLF) (ของผนังทึบและหลังคา) 78

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค.1 ราคาและค่าแรงของวัสดุก่อสร้างกรอบอาคาร 80
ตารางที่ ค.2 พื้นที่ใช้สอยและพื้นที่กรอบอาคารภายนอกที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 81
ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (SEER) เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ชนิด Variable speed/Inverter เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเบอร์ พ.ศ. 2558 83
ตารางที่ ง.2 อัตราค่าไฟฟ้าประจำปี พ.ศ. 2558 83
ตารางที่ ง.3 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดี (MRR) ของธนาคารพาณิชย์ที่จดทะเบียนในประเทศ ประจำวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 84

สารบัญกราฟ

หน้า

กราฟที่ 1.1 ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งต่อขนาดการทำความเย็น..... 7
กราฟที่ 3.1 ราคาวัสดุและค่าแรง (บาท/m^2) ของวัสดุกรอบอาคาร..... 24
กราฟที่ 4.1 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา..... 27
กราฟที่ 4.2 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมอญ 28
กราฟที่ 4.3 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 29
กราฟที่ 4.4 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของทุกกลุ่มผนัง..... 31
กราฟที่ 4.5 แสดงภาระการทำความเย็นตลอด 24 ชั่วโมงของห้อง Co-Working Space..... 35
กราฟที่ 4.6 แสดงภาระการทำความเย็นตลอด 24 ชั่วโมงของห้อง Creative Space 36
กราฟที่ 4.7 แสดงภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา 39
กราฟที่ 4.8 แสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมอญ 40
กราฟที่ 4.9 แสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 41
กราฟที่ 4.10 แสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งทุกกลุ่มผนัง 43
กราฟที่ 4.11 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังอิฐมวลเบา..... 45
กราฟที่ 4.12 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังอิฐมอญ..... 46
กราฟที่ 4.13 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 47
กราฟที่ 4.14 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ของทุกกลุ่มผนัง..... 49
กราฟที่ 4.15 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา..... 51
กราฟที่ 4.16 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมอญ 52
กราฟที่ 4.17 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 53
กราฟที่ 4.18 แสดงค่าใช้จ่ายตลอกอายุการใช้งานของอาคารทุกกลุ่มผนัง 55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในการพัฒนาประเทศไปสู่เป้าหมาย Thailand 4.0 ตามแนวทางแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปีที่รัฐบาลได้วางไว้ด้วยการสร้างความเข้มแข็งจากภายใน ควบคู่ไปกับการเชื่อมโยงกับประชาคมโลกนั้น หนึ่งในเป้าหมายหลักที่สำคัญ คือการสร้างความมั่งคั่งทางเศรษฐกิจ เป็น "ระบบเศรษฐกิจที่เน้นการสร้างมูลค่า" ที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม เทคโนโลยีและความคิดสร้างสรรค์ เนื่องจากในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนล่างที่เน้นด้านอุตสาหกรรมเกษตร มีทั้งอุตสาหกรรมที่ต้องการการพัฒนาด้านเทคโนโลยีเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ และกลุ่ม Startup ที่มีแนวความคิดในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ที่มีความสร้างสรรค์และมีศักยภาพในการพัฒนาต่อยอดไปสู่เชิงพาณิชย์ และทางรัฐบาลเองก็ให้ความสำคัญในการผลักดันให้เกิดความร่วมมือระหว่างภาคอุตสาหกรรมและมหาวิทยาลัย ดังนั้นเพื่อให้ตอบโจทย์การพัฒนาประเทศในทิศทางนี้และตอบสนองต่อนโยบายของทางรัฐบาล ทางคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรซึ่งเป็นมหาวิทยาลัยวิจัยที่มีความพร้อมแห่งเดียวในกลุ่มจังหวัดมีความพร้อมในด้านบุคลากรทางวิศวกรรมศาสตร์ทุกสาขาจึงมีแนวความคิดในการพัฒนาพื้นที่ในลักษณะ Co-working Space ที่มีเครื่องมือพื้นฐานต่าง ๆ ที่สามารถรองรับกิจกรรมการระดมความคิด หรือการทำงานร่วมกันระหว่างนักวิจัยในมหาวิทยาลัยและภาคอุตสาหกรรมทั้งที่เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมท่องถิ่นและกลุ่ม startup ทั้งนี้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยี นวัตกรรมหรือต้นแบบสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ที่มีความสร้างสรรค์ร่วมกันและนำไปสู่กระบวนการผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้พัฒนาแบบก่อสร้างอาคาร ประกอบด้วย วิศวกร สถาปนิก บุคลากรด้านต่างๆ ศิษย์เก่าและศิษย์ปัจจุบัน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นที่ปรึกษา ได้ระดมความคิดเพื่อพัฒนาต้นแบบอาคาร Startup and Innovation โดยรวมเทคโนโลยีอาคารที่คำนึงถึงอรรถประโยชน์นอกเหนือจากพื้นที่ Co-working Space แล้วยังคำนึงถึง การอนุรักษ์พลังงาน พลังงานทางเลือก ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างเหมาะสมคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ โดยบุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ประกอบด้วยอาคาร 2 หลังเชื่อมต่อกัน ได้แก่ (1) อาคารสำหรับการสร้างสรรค์ความคิด (Creative Space) และ (2) อาคารสำหรับทำงานร่วมกัน (Working Space)

ในส่วนของวิศวกรรมเครื่องกลมีหน้าที่ดูแลรับผิดชอบในเรื่องของระบบปรับอากาศและการเลือกวัสดุในการก่อสร้างกรอบอาคาร ดังนั้นกลุ่มผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุกรอบอาคารพิจารณาเฉพาะในส่วนของกรอบอาคารภายนอกที่พื้นที่ภายในมีการปรับอากาศ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร เพื่อออกแบบกรอบอาคารที่เหมาะสมที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดของอาคาร Startup and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุกรอบอาคารที่มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในส่วนของกรอบอาคารและระบบปรับอากาศมีค่าต่ำที่สุด สำหรับอาคาร Startup and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุกรอบอาคารหลายๆประเภทสำหรับอาคาร Startup and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยศึกษาผนังทึบแสง 3 กลุ่มได้แก่ 1) กลุ่มผนังอิฐมวลเบา กลุ่มผนังอิฐมอญ และกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ศึกษาผนังโปร่งแสง 2 ชนิดได้แก่ กระจกใสชั้นเดียว และกระจกฉนวน 2 ชั้น และศึกษาหลังคา 3 ชนิดได้แก่ หลังเมทัลชีท หลังคาเมทัลชีทบุฉนวน 2 นิ้ว และ 6 นิ้ว ดังแสดงในตารางที่ 1.1 - 1.6

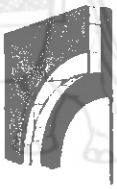
1.3.2 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานพิจารณาเฉพาะ ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกรอบอาคารภายนอกที่มีผลต่อระบบปรับปรับอากาศ ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง และมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี

1.3.3 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงานของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2558 ข้อมูล ณ วันที่ 28 มกราคม พ.ศ.2560 พิจารณารายละเอียดได้จากภาคผนวก ค

1.3.4 คำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak cooling load) ของทุกเดือน ตลอด 24 ชั่วโมงโดยวิธีการคำนวณแบบ Cooling Load Temperature Difference (CLTD) / Cooling Load Factor (CLF) ตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมการทำความร้อน การทำความเย็น และระบบปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. :ASHRAE)

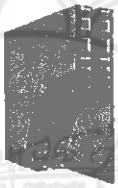
1.3.5 อาคารติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) เฉพาะชนิดฝังฝ้า (Cassette Type) และชนิดแขวน (Ceiling Type) แสดงดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 ตามลำดับ ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในติดตั้งเลือกโดยวิธีการ Linear Regression อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์สำนักมาตรฐานงบประมาณ พ.ศ. 2559 ทำการศึกษาข้อมูล ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2560 ดังแสดงในกราฟที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา

ลำดับ	ชนิด	Group	สัญลักษณ์	ภาพ	ลักษณะการติดตั้ง	ความหนา (m)	U (W/m^2-K)
1	ผนังอิฐมวลเบา	E	WC10		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ปูนฉาบ	0.015 0.075 0.015	1.558
2	ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น	D	WC20		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ช่องว่างอากาศ อิฐมวลเบา ปูนฉาบ	0.015 0.075 0.050 0.075 0.015	0.826
3	ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใย แก้ว 2 นิ้ว	D	WC12		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ฉนวนใยแก้ว 2" ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.050 0.050 0.012	0.508
4	ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใย แก้ว 4 นิ้ว	D	WC14		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ฉนวนใยแก้ว 4" ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.075 0.100 0.012	0.304
5	ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใย แก้ว 6 นิ้ว	D	WC16		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ฉนวนใยแก้ว 6" ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.075 0.150 0.012	0.217

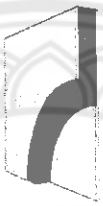
หมายเหตุ สัญลักษณ์เช่น WC16; WC = ผนังก่ออิฐมวลเบา (Concrete), 1 = ผนัง 1 ชั้น และ 6 = ฉนวนหนา 6 นิ้ว

ตารางที่ 1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมอญ

ลำดับ	ชนิด	Group	สัญลักษณ์	ภาพ	ลักษณะการติดตั้ง	ความหนา (m)	U (W/m^2-K)
1	ผนังอิฐมอญ	E	WB10		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ปูนฉาบ	0.015 0.065 0.015	2.915
2	ผนังอิฐมอญ 2 ชั้น	D	WB20		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ช่องว่างอากาศ อิฐมอญครึ่งแผ่น ปูนฉาบ	0.015 0.065 0.050 0.065 0.015	1.580
3	ผนังอิฐมอญ บุฉนวนใย แก้ว 2 นิ้ว	D	WC12		ปูนฉาบ อิฐมอญ ฉนวนใยแก้ว 2" ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.065 0.050 0.012	0.595
4	ผนังอิฐมอญ บุฉนวนใย แก้ว 4 นิ้ว	D	WB14		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ฉนวนใยแก้ว 4" ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.065 0.100 0.012	0.334
5	ผนังอิฐมอญ บุฉนวนใย แก้ว 6 นิ้ว	D	WB16		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ฉนวนใยแก้ว 6" ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.065 0.150 0.012	0.232

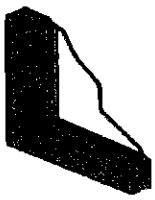
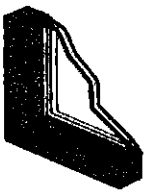
หมายเหตุ สัญลักษณ์เช่น WB20; WB = ผนังก่ออิฐมอญ (Brick), 2 = ผนัง 2 ชั้น และ 0 = ไม่บุฉนวน

ตารางที่ 1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด

ลำดับ	ชนิด	Group	สัญลักษณ์	ภาพ	ลักษณะการติดตั้ง	ความหนา (m)	U (W/m^2-K)
1	ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด	D	WF20		ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ช่องว่างอากาศ 4" ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด	0.012 0.100 0.012	1.273
2	ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	G	WF24		ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ฉนวนใยแก้ว 4" ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด	0.012 0.100 0.012	0.307
3	ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	G	WF26		ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ฉนวนใยแก้ว 6" ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด	0.012 0.150 0.012	0.219

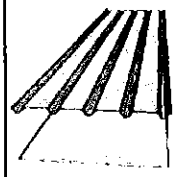
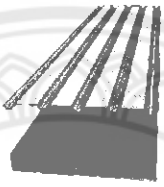
หมายเหตุ สัญลักษณ์เช่น WF26; WF = ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด (Fiber Cement Board), 2 = ผนัง 2 ชั้น และ 6 = ฉนวนหนา 6 นิ้ว

ตารางที่ 1.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง

ลำดับ	ชนิด	สัญลักษณ์	ภาพ	ความหนา (m)	SC	U (W/m^2-k)
1	กระจกใส	SG		0.006	0.39	5.874
2	กระจกฉนวน 2 ชั้น	IG		0.018	0.22	3.738

หมายเหตุ สัญลักษณ์ SG = Single Glass และ IG = กระจกฉนวน 2 ชั้น

ตารางที่ 1.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา

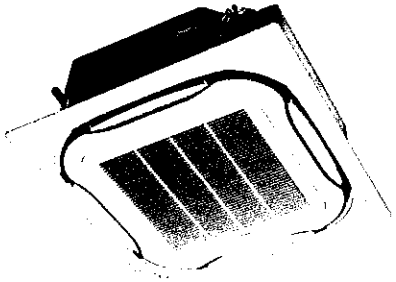
ลำดับ	ชื่อ	สัญลักษณ์	ภาพ	ลักษณะการติดตั้ง	ความหนา (m)	U (W/m^2-K)
1	หลังคาเมทัลชีท	R0		เมทัลชีท ช่องว่างอากาศ ยิปซั่มบอร์ด	0.001 0.300 0.009	2.364
2	หลังคาเมทัลชีท บุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	R4		เมทัลชีท ช่องว่างอากาศ ฉนวนใยแก้ว 4" ยิปซั่มบอร์ด	0.001 0.300 0.100 0.009	0.327
3	หลังคาเมทัลชีท บุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	R6		เมทัลชีท ช่องว่างอากาศ ฉนวนใยแก้ว 6" ยิปซั่มบอร์ด	0.001 0.300 0.150 0.009	0.229

หมายเหตุ สัญลักษณ์เช่น R4; R = Roof, 4 = ฉนวนหนา 4 นิ้ว

ตัวอย่างและการอธิบายสัญลักษณ์กรอบอาคารเมื่อนำสัญลักษณ์ผนังทึบแสง ผนังโปร่งแสง และหลังคามารวมกัน เช่น

WB20R4SG หมายถึง กรอบอาคารเป็นอิฐมอญ (WB) ครึ่งแผ่น 2 ชั้น (2) ไม่บุฉนวนใยแก้ว (0) หลังคาบุฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว (R4) และใช้กระจกใสชั้นเดียว (SG)

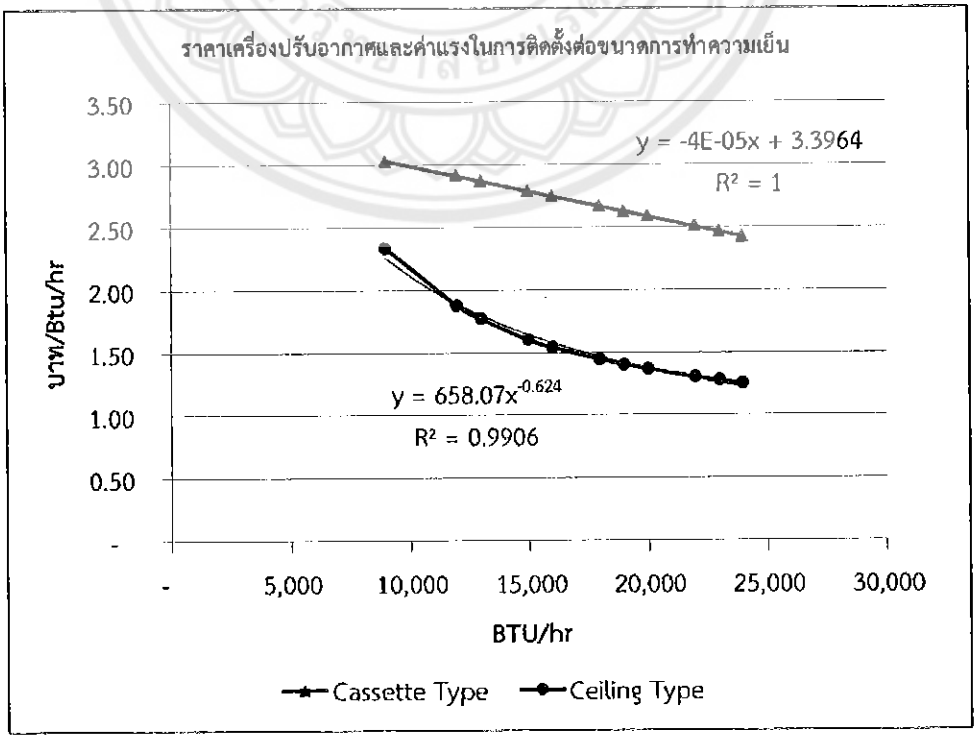
WF24R0IG หมายถึง กรอบอาคารเป็นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด (WF) 2 ชั้น (2) บุฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว หลังคาไม่บุฉนวนใยแก้ว (R0) และใช้กระจกฉนวน 2 ชั้น (IG)



รูปที่ 1.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดฝังฝ้า (Cassette Type)
ที่มา; http://sofrat-climatisation.e-monsite.com/medias/images/fcqhg.jpg

รูปที่ 1.2 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแขวน (Ceiling Type)
ที่มา; ttps://www.airconditioningworld.co.uk/global/media/products/large/1466077476-7939.jpg

กราฟที่ 1.1 ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งต่อขนาดการทำความเย็น



1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงผลกระทบของวัสดุกรอบอาคารประเภทต่างๆที่มีผลต่อราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน

1.4.2 ได้กรอบอาคารที่เหมาะสมที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของกรอบอาคารและระบบปรับอากาศที่ต่ำที่สุด สำหรับอาคาร Startup and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหรือปรับปรุงอาคารให้กับสถาปนิก วิศวกร หรือประชาชนทั่วไป ในการตัดสินใจเลือกวัสดุกรอบอาคารเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศได้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.6 แสดงแผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2559				2560				
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
2. ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุกรอบอาคารและสร้างแบบจำลอง									
3. ประมวลผลด้วยโปรแกรม Energy Plus และคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์									
4. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณ									
5. สรุปผลและจัดทำรายงาน									

1.6 รายละเอียดงบประมาณที่ใช้

1.6.1	ค่าจัดทำรูปเล่ม	2,000	บาท
1.6.2	ค่ากระดาษ	1,000	บาท
	รวมทั้งสิ้น	3,000	บาท

บทที่ 2

หลักการทฤษฎี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุริยา ขุนพิลึก ณัฐพล รุ่นประแสง และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ [1] ได้ศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังและหลังคาอาคาร โดยศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุผนังทึบ ผนังโปร่งแสง อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง หลังคา ฉนวนกันความร้อนและฝ้าเพดานด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) v.1.0.6 ผลจากการศึกษาแบบจำลองพบว่า ผนังคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังต่ำกว่าอิฐมอญและคอนกรีตบล็อกในทุกกลุ่มอาคาร ผนังโปร่งแสงที่ใช้กระจกฉนวนหรือกระจกสะท้อนแสงซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากรังสีอาทิตย์ส่งผ่านกระจก (SHGC) ระหว่าง 0.15 – 0.19 จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านผนังต่ำที่สุด ซึ่งทำให้สามารถออกแบบอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังได้มากกว่าร้อยละ 30 ส่วนหลังคาอาคารเมทัลชีท กระเบื้องซีแพคโมเนีย และกระเบื้องใยหิน ที่ใช้วัสดุป้องกันความร้อนใต้หลังคาเหมือนกันจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาอาคารใกล้เคียงกัน โดยหลังคาอาคารที่ติดตั้งแผ่นฝ้ายิปซั่มบอร์ดชนิดธรรมดา เว้นช่องว่างอากาศและติดตั้งฉนวนใยแก้วใต้หลังคาอาคาร สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านหลังคาได้ดีที่สุด

ยุทธนา ทองท้วม และ รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ [2] ได้ศึกษาอิทธิพลของวัสดุเปลือกอาคารและสัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศต่อการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัย โดยศึกษาการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยที่มีการก่อสร้างจริงจำนวน 21 หลัง ซึ่งส่วนมากก่อสร้างโดยใช้วัสดุพื้นฐานทั่วไปคือผนังอิฐมอญฉาบปูน 2 ด้าน หนา 10 cm หลังคามุงกระเบื้องติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และฝ้ายิปซั่มบอร์ดความหนา 9 mm ใต้หลังคา กระจกประตูหนาต่างใช้กระจกใสธรรมดาหนา 5 mm มีพื้นที่ใช้สอยเฉลี่ย 300 m^2 มีสัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศเฉลี่ยร้อยละ 30 - 40 มาทำการปรับเปลี่ยนวัสดุกรอบอาคารใหม่คือผนังผนังก่อคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวฉาบปูน 2 ด้าน ติดตั้งฉนวนใยแก้วความหนา 3-6 นิ้ว ช่องว่างอากาศ และฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มบอร์ดความหนา 9 mm จากการศึกษาพบว่าโครงการสามารถปรับลดการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัยภายในโครงการได้ทั้ง 21แบบบ้าน ส่วนการปรับลดได้มากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการลงทุนและรูปแบบของบ้าน ซึ่งมีความแตกต่างกันออกไป

มัลลิกา ปู่เพ็ชร์ และ เจนจิรา ขุนทอง [3] ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษาอาคารสถานศึกษาอาคารสถาปัตยกรรมพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง(WWR)ในโซนปรับอากาศเท่ากับ 0.256 กระจกเป็นกระจกสีชา ผนังทึบคืออิฐมอญฉาบปูน และหลังคามุงด้วยกระ

เบื้อคอนกรีตบุฉนวนใยแก้ว ทำการจำลองเปลี่ยนกรอบอาคารผนังด้วยโปรแกรม Building Energy Code (BEC) V.1.0.5 โดยเปลี่ยนผนังทึบจากผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นเป็นผนังอิฐมวลเบาเฉพาะบริเวณปรับอากาศ ผลจากการศึกษาพบว่าจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นประมาณ 721,106บาท คิดเป็น 2.02% สามารถประหยัดพลังงานได้ 37,116.35 kWh/year คิดเป็น 6.32% ของการใช้พลังงานก่อนปรับปรุง ประหยัดค่าไฟได้ประมาณ 148,465 บาทต่อปี ระยะเวลาคืนทุน 4.86ปี

เนื่องจากการสร้างอาคารที่สามารถประหยัดพลังงานด้วยวัสดุที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนเพื่อให้กรอบอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมที่ต่ำ จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างอาคารสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวัสดุกรอบอาคารที่มีอิทธิต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร ด้วยการคำนวณแบบ CLTD (Cooling Load Temperate Difference) เพื่อออกแบบกรอบอาคารที่เหมาะสม ที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด อาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (W/m^2-K) คือค่าความร้อนที่สามารถทำให้ผนังหรือหลังคาพื้นที่ 1 m^2 มีผลต่างอุณหภูมิระหว่างพื้นที่ผิวทั้ง 2 ด้านเป็น 1 K ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 2.1

$$U = \frac{1}{R_T} \tag{2.1}$$

เมื่อ R_T คือ ค่าความต้านทานความร้อนรวม (total thermal resistance) (m^2-K/W)

2.2.2 ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (R)

ค่าความต้านทานความร้อน (m^2-K/W) คือพื้นที่ผนังหรือหลังคาที่มีผลต่างอุณหภูมิระหว่างพื้นที่ผิวทั้ง 2 ด้านเป็น 1 เควิน เมื่อมีความร้อนถ่ายเทผ่าน 1 วัตต์ ค่าความต้านทานความร้อน ของวัสดุใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$R = \frac{\Delta x}{k} \tag{2.2}$$

เมื่อ

Δx คือ ค่าความหนาของวัสดุ (m)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (W/m-K)

2.2.3 ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T)

การคำนวณค่าความต้านทานความร้อนรวม (m^2-K/W) คือผลรวมค่าความต้านทานความร้อนของผนังหรือหลังคากับค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ ซึ่งชนิดของค่าความต้านทานความร้อนรวมแบ่งเป็น 3 กรณีดังนี้

1) กรณีผนังและหลังคาอาคารประกอบด้วยวัสดุชนิดเดียว

$$R_T = R_o + \frac{\Delta x}{k} + R_i \qquad (2.3)$$

เมื่อ

R_o และ R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอกและด้านในอาคาร (m^2-K/W) ตามลำดับ มีรายละเอียดใน ภาคผนวก ก

2) กรณีผนังและหลังคาอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

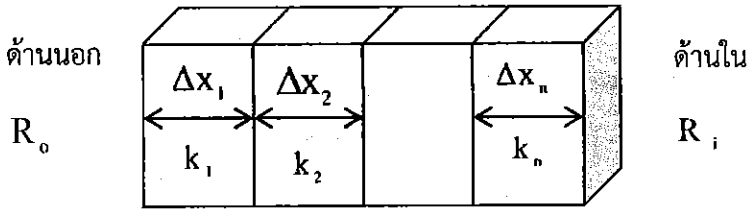
ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T) ของส่วนใดๆ ของผนังและหลังคาอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน ให้คำนวณจากสมการดังนี้

$$R_T = R_O + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + ... + \frac{\Delta x_n}{k_n} + R_i \qquad (2.4)$$

เมื่อ

$\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3, ..., \Delta x_n$ คือ ค่าความหนาของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังและหลังคาอาคาร (m)

$k_1, k_2, k_3, ..., k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังและหลังคาอาคาร (W/m^2-K)



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

3) กรณีผนังและหลังคาอาคารมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T) ของส่วนใดๆ ของผนังและหลังคาอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน และมีช่องว่างอากาศภายใน คำนวณจากสมการดังนี้

$$R_T = R_o + \frac{\Delta X_1}{k_1} + \frac{\Delta X_2}{k_2} + ... + R_a + ... + \frac{\Delta X_n}{k_n} + R_i \qquad (2.5)$$

เมื่อ R_a คือ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังและหลังคาอาคาร (m^2-K/W) มีรายละเอียดแสดงใน ภาคผนวก ก

รูปที่ 2.2 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศของพื้นผิวของผนังและหลังคาอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งส่วนใหญ่ผนังและหลังคาอาคารทั่วไปถือว่าเป็นพื้นผิวที่มีค่าการสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ยกเว้นกรณีที่ผนังและหลังคาอาคารถูกเคลือบผิว ถือว่าเป็นพื้นผิวที่มีค่าการสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ แสดงในตาราง ภาคผนวก ก

2.2.4 สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC)

คือ ค่าแสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ที่สามารถผ่านกระจกเข้ามาในตัวอาคารโดยจะเทียบกับกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร โดยมีค่าระหว่า 0 -1 ค่านี้ยิ่งน้อยยิ่งกันการถ่ายเทความร้อนได้ดีพิจารณาจาก ภาคผนวก ข

2.2.5 สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Factor; SHGF)

คือ เป็นค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้ามาทางกระจก โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 1 ค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำจะทำให้การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในบ้านมีค่าต่ำลงด้วย ดังแสดงใน ภาคผนวก ข

2.2.6 ตัวประกอบภาระการทำความเย็น (Cooling load factor; CLF)

คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่นำไปคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศให้มีความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากการอมความร้อนของวัสดุหรือโครงสร้างในพื้นที่ปรับอากาศ ทำให้พื้นที่ภายนอกกับภายในบริเวณปรับอากาศมีอุณหภูมิสูงสุดเหลื่อมเวลากัน ค่าตัวประกอบภาระการทำความเย็นขึ้นอยู่กับที่ตั้ง ทิศ และเวลา พิจารณาภาคผนวก ข

2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling Load)

ภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Btu/hr) ใช้ระบบการคำนวณแบบ Cooling Load Temperature Difference (CLTD)/Cooling Load Factor (CLF) ของสมาคมวิศวกรรมการทำความร้อน การทำความเย็น และระบบปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. : ASHRAE) ตามสมการดังต่อนี้

2.3.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบและหลังคา

$$Q_{wall,roof} = U \times A \times CLTD_C \quad (2.6)$$

$$CLTD_C = (CLTD + LM)K + (78 - t_R) + (t_a - 85) \quad (2.7)$$

เมื่อ

U	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบและหลังคา (Btu/hr-ft^2- °F)
A	คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบและหลังคา (ft^2)
CLTD	คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบและหลังคา (°F)
$CLTD_C$	คือ ค่าปรับแก้ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบและหลังคา (°F)
LM	คือ ค่าปรับแก้พิกัดที่ตั้งของอาคารตามละติจูด และเดือน
K	คือ ค่าปรับเปลี่ยนสีของผนังและหลังคา โดย $K = 1$ เมื่อสีทึบ และ $K = 0.65$ เมื่อสีอ่อน
t_R	คือ อุณหภูมิภายในห้อง (°F)
t_a	คือ อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)

2.3.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

$$Q_{Glass,conduct} = U \times A \times CLTD_C \quad (2.8)$$

$$Q_{Glass,solar} = A \times SC \times SHGF \times CLF \quad (2.9)$$

เมื่อ

$Q_{Glass\ cond}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการนำความร้อนผ่านกระจก (Btu/hr)

$Q_{Glass\ solar}$ คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก (Btu/h)

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจก (Btu/hr-ft^2-F)

A คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อนของกระจก (ft^2)

$CLTD_C$ คือ ค่าปรับแก้ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบและหลังคา (°F)

SHGF คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ (Btu/hr-ft^2)

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (ของกระจก)

CLF คือ ค่าตัวประกอบการทำความเย็น

2.3.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง พื้น และเพดานภายใน

$$Q_{palition} = U \times A \times \Delta T \quad (2.10)$$

เมื่อ

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง พื้น ภายใน (Btu/hr-ft^2-F)

A คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อนของผนัง พื้น ภายใน (ft^2)

ΔT คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอกห้อง (°F)

2.3.4 ภาระการปรับอากาศจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

$$Q_{light} = 3.41 \times P \quad (2.11)$$

เมื่อ

P คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของหลอดไฟ (W)

2.3.5 ภาระการปรับอากาศจากผู้อยู่อาศัย

$$Q_{Occupant} = N(Q_S + Q_L) \quad (2.12)$$

เมื่อ

N คือ จำนวนผู้ที่อยู่ในห้องนั้นๆ

Q_S คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากผู้อยู่อาศัยภายในอาคารที่ทำกิจกรรม (Sensible heat gain) (Btu/hr-person) พิจารณาได้จาก ภาคผนวก ข

Q_L คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนแฝงจากร่างกายผู้อาศัย (Latent heat gain) (Btu/hr-person) พิจารณาได้จาก ภาคผนวก ข

2.3.6 ภาระการปรับอากาศจากการระบายอากาศ

$$Q_{ventilation} = Q_S + Q_L \quad (2.13)$$

$$Q_S = 1.1 \times CFM \times \Delta T \quad (2.14)$$

$$Q_L = 0.68 \times CFM \times \Delta W \quad (2.15)$$

เมื่อ

Q_S คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากการรั่วซึม (Sensible heat gain) (Btu/h)

Q_L คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนแฝงจากการรั่วซึม (Latent heat gain) (Btu/h)

CFM คือ ค่าอัตราการรั่วซึมของประตูหน้าต่าง (ft^3/min)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของอากาศที่แทรกซึมเข้ามากับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ (°F)

$\Delta\omega$ คือ ผลต่างของค่าความชื้นจำเพาะของอากาศที่แทรกซึมเข้ามากับอากาศในพื้นที่ปรับอากาศ (gr/lb)

2.3.7 ภาระการปรับอากาศจากอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและเครื่องใช้ไฟฟ้า

$$Q_{equipment} = Q_S + Q_L \quad (2.16)$$

เมื่อ

Q_S คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากอุปกรณ์ (Sensible heat gain) (Btu/hr)

Q_L คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนแฝงจากอุปกรณ์ (Latent heat gain) (Btu/hr)

2.4 เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

2.4.1 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า

$$A = P \times H \times D \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า} \quad (2.17)$$

โดย A คือ ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อปี (Baht/year)

P คือ กำลังไฟฟ้า (kW)

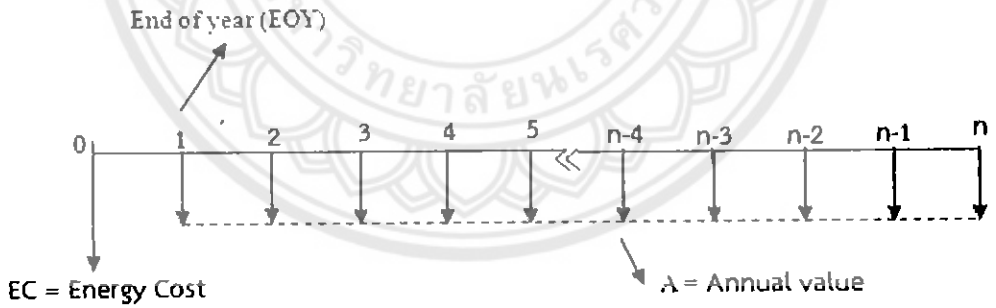
H คือ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน (hr/day)

D คือ วันในการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี (day/year)

อัตราค่าไฟฟ้า คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh) แสดงใน ภาคผนวก ง

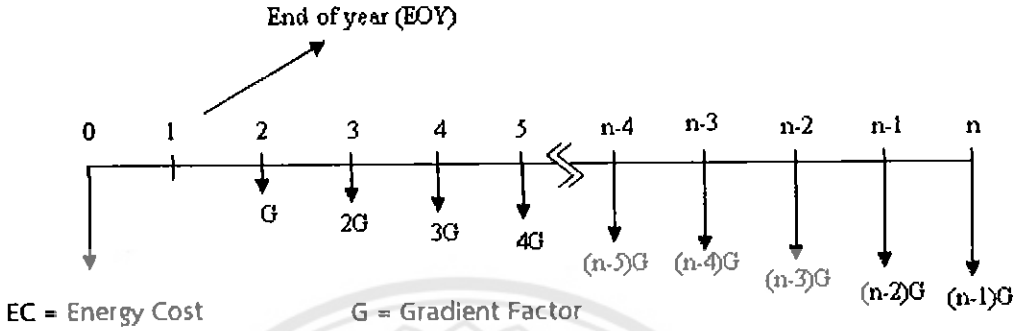
2.4.2 Uniform Series and Gradient Present Worth Factor

Uniform Series คือ การจ่ายหรือรับเงินเท่ากันทุกงวดเป็นเวลาต่อเนื่องกัน n ปี ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากันทุกปีในรูปของ Uniform Series

Gradient Present Worth Factor คือ ในกรณีที่พิจารณาถึงประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้ากับอายุการใช้งาน เมื่อเครื่องปรับอากาศมีอายุการใช้งานเพิ่มสูงขึ้น ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจะสูงขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงตามอายุการใช้งาน แสดงดัง รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงค่าพลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเพราะคุณภาพของเครื่องปรับอากาศลดลงเท่ากันทุกปีของ Gradient Present Worth

$$EC = A\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right) + \frac{G}{i}\left(\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} - \frac{n}{(1+i)^n}\right) \qquad (2.18)$$

เมื่อ EC คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน (Baht) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการดำเนินงานของระบบตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี

A คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่พิจารณาให้ค่าใช้จ่ายเท่ากันทุกปี (Baht/year)

G คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เมื่อประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศลดลง ในที่นี้กำหนดให้เพิ่มขึ้น (3%) เท่ากันในแต่ละปี (Baht)

i คือ อัตราดอก MRR (Minimum Retail Rate) (% per year)

n คือ อายุการใช้งาน (ในโครงการนี้เราพิจารณาเป็น 15ปี) (year)

2.4.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร (Life Cycle Cost; LCC) คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของกรอบอาคาร โดยพิจารณาเฉพาะกรอบอาคารที่ด้านในผนังมีการปรับอากาศ และด้านนอกของผนังติดกับอากาศภายนอก

$$LCC = BEC + AC + EC \tag{2.19}$$

เมื่อ

BEC (Building Envelope Cost)	คือ ค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกรอบอาคาร
AC (Air conditioner Cost)	คือ ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง
EC (Energy Cost)	คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการดำเนินงานของระบบตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี ดังแสดงในสมการ 2.18

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

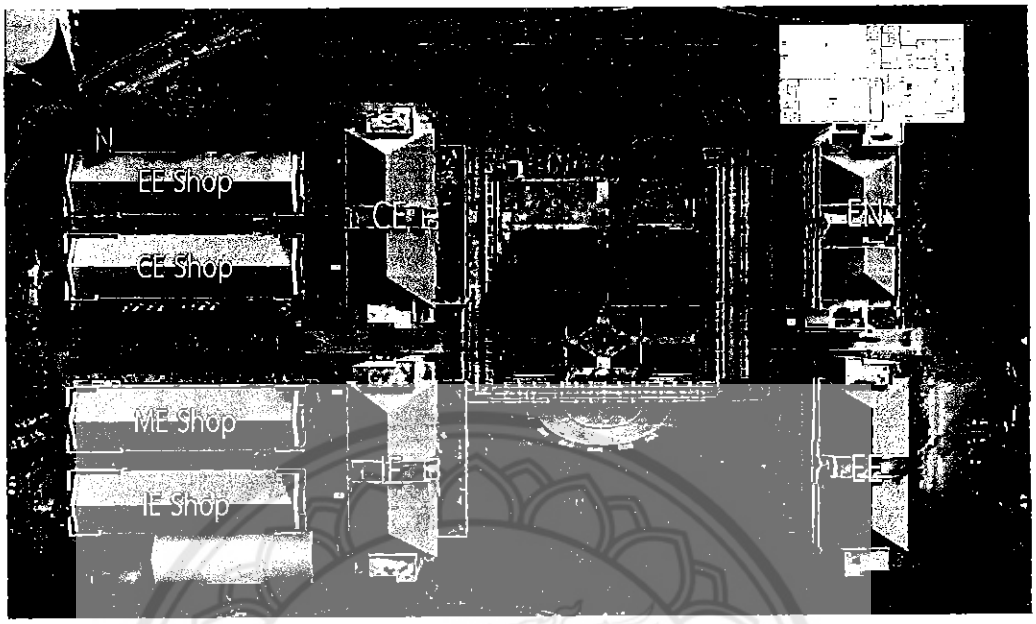
การศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร มีวิธีการดำเนินงานและกำหนดขอบเขตของการศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 โครงการ Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

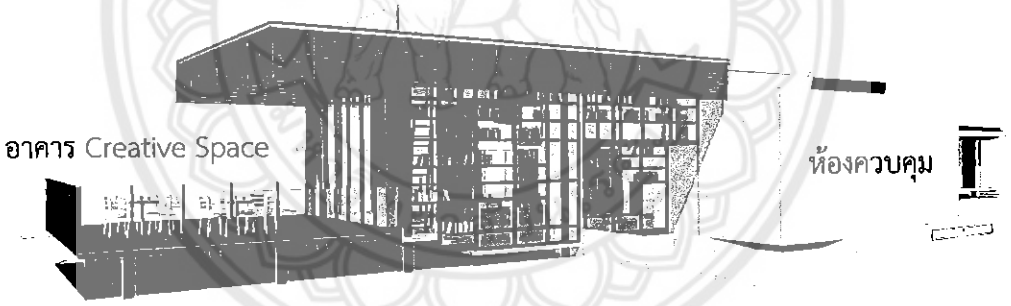
คณะวิศวกรรมศาสตร์ได้พัฒนาแบบก่อสร้างอาคาร ประกอบด้วย วิศวกร สถาปนิก บุคลากรด้านต่างๆ ศิษย์เก่าและศิษย์ปัจจุบันของมหาวิทยาลัยนเรศวร โดยมีคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นที่ปรึกษา ได้ระดมความคิดเพื่อพัฒนา ต้นแบบอาคาร Startup and innovation โดยรวมเทคโนโลยีอาคารที่คำนึงถึงประโยชน์ การอนุรักษ์พลังงาน พลังงานทางเลือก ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม คุ้มค่าทางเศรษฐกิจโดยบุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงได้ ประกอบด้วยอาคาร 2 หลังเชื่อมต่อกัน ได้แก่ 1) อาคารสำหรับการสร้างสรรค์ความคิด (Creative Space) และ 2) อาคารสำหรับทำงานร่วมกัน (Working Space) แสดงดังรูปที่ 3.1 - 3.4 มีรายละเอียดดังนี้

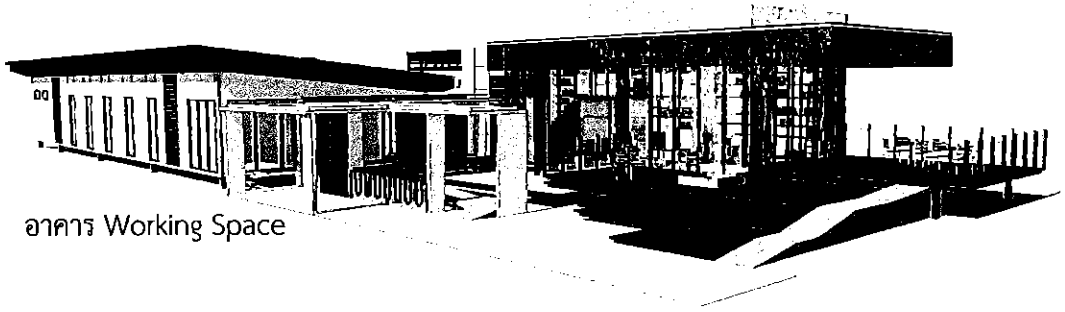
3.1.1 อาคารสำหรับการสร้างสรรค์ความคิด (Creative Space) เป็นอาคารโครงสร้างเหล็ก 2 ชั้นขนาดประมาณ 6x16 m^2 มีค่า Window to wall ratio เท่ากับ 0.61 มีพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังเท่ากับ 0.54 ใช้ผนังกระจก ชั้นล่างประกอบด้วยพื้นที่สำหรับระดมความคิด ห้องควบคุมระบบ ห้องน้ำ และพื้นที่นันทนาการภายนอกบนพื้น มีระเบียงไม้สังเคราะห์โดยรอบมีพื้นที่รวมประมาณ 330 m^2 ภายในมีชั้นลอยมีพื้นที่ประมาณ 30 m^2 ใช้เป็นบริเวณแสดงประวัติ ผลงานสำคัญ นวัตกรรม (Innovation) และหนังสือต่างๆ ชั้นดาดฟ้า ออกแบบเป็นสวนหลังคา (Roof Garden) และติดตั้งแผงโซลาเซลสามารถเดินขึ้นจากชั้นล่าง (บริเวณระเบียงภายนอกอาคาร) ด้วยบันไดเหล็กเวียน มีพื้นที่รวมประมาณ 136 m^2

3.1.2 อาคารสำหรับทำงานร่วมกัน (Working Space) อาคารชั้นเดียวขนาดประมาณ 10x30 m^2 มีค่า Window to wall ratio เท่ากับ 0.29 มีพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังเท่ากับ 1.40 สามารถปรับเปลี่ยนพื้นที่ภายในได้หลายรูปแบบตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ชั้นล่างประกอบด้วยพื้นที่ทำงาน ห้องควบคุมระบบ ห้องน้ำ พื้นที่รวมประมาณ 300 m^2

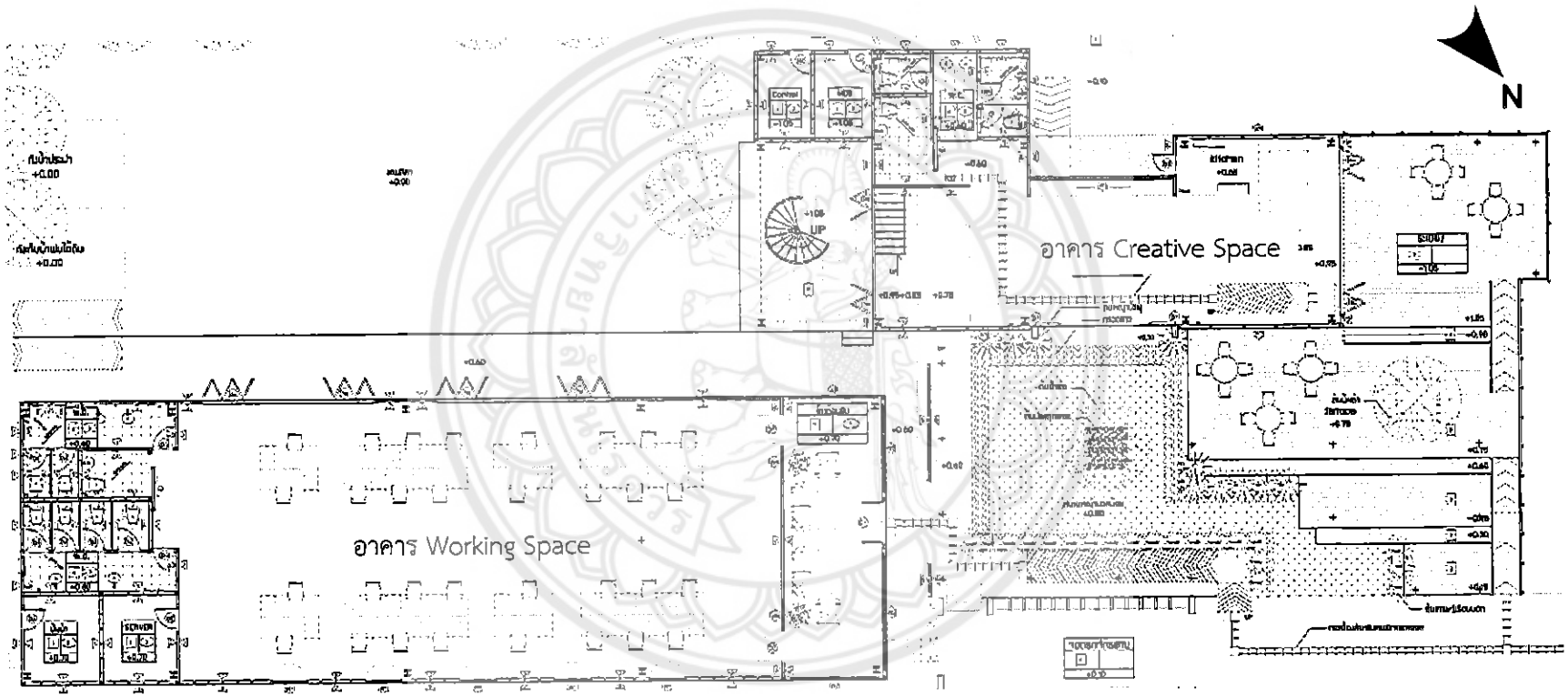


รูปที่ 3.1 ตำแหน่งที่ตั้งโครงการ Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร



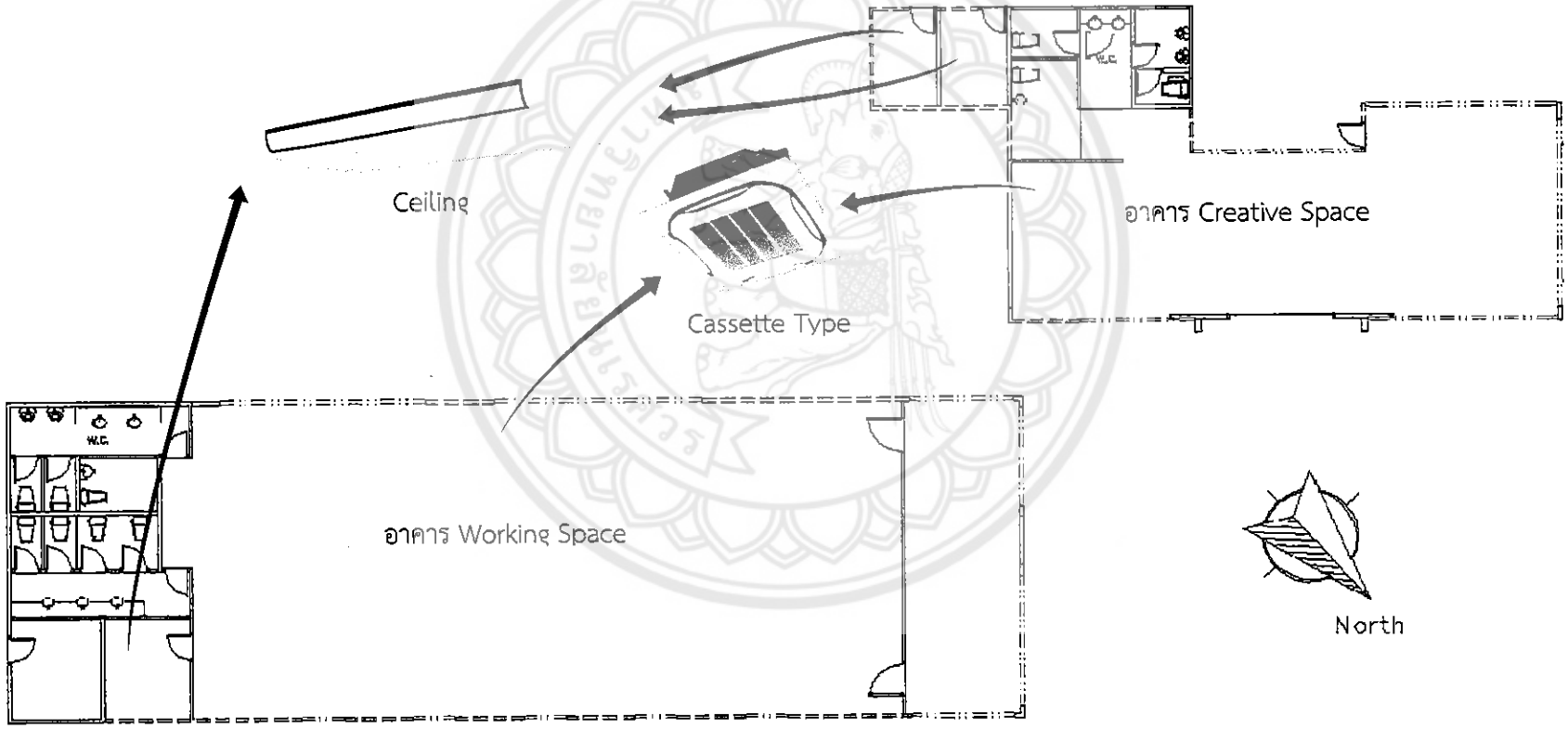


รูปที่ 3.2 อาคาร Startup and innovation ในมุมมองสามมิติต่างๆ



รูปที่ 3.3 แปลนอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

ในการศึกษาค่าวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง พิจารณาเฉพาะกรอบอาคารภายนอกที่มีผลต่อระบบปรับอากาศเท่านั้น เมื่อกรอบอาคารผนังทึบแสง ▭ และผนังโปร่งแสง ▭ ที่ใช้ในการพิจารณาค่าวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างและส่วนที่ไม่นำมาพิจารณาค่าวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ▭ โดยมีการแบ่งพื้นที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 พื้นที่ปรับอากาศและกรอบอาคารที่ใช้ในการพิจารณาค่าวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง

3.2 การสร้างแบบจำลองของกรอบอาคาร

3.2.1 การสร้างแบบจำลองผนังทึบแสง ศึกษาผนังทึบแสง 3 กลุ่มได้แก่ 1) กลุ่มผนังอิฐมวลเบา 5 ชนิด 2) กลุ่มผนังอิฐมวลเบา 5 ชนิด และ 3) กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 3 ชนิด

3.2.2 การสร้างแบบจำลองผนังโปร่งแสง ทำการศึกษาผนังโปร่งแสง 2 ชนิดได้แก่ 1) กระจกใสชั้นเดียว และ 2) กระจกฉนวน 2 ชั้น

3.2.3 การสร้างแบบจำลองหลังคา ทำการศึกษาหลังคา 3 ชนิด

3.3 การออกแบบภาระการทำความเย็นสำหรับเลือกขนาดเครื่องปรับอากาศ

กำหนดขอบเขตการคำนวณภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งดังนี้

3.3.1 คำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak cooling load) ของทุกเดือน ตลอด 24 ชั่วโมงโดยวิธีการคำนวณแบบ Cooling Load Temperature Difference (CLTD) / Cooling Load Factor (CLF) ตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมการทำความร้อน การทำความเย็น และระบบปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. :ASHRAE)

3.3.2 ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากคนและอัตราการระบายอากาศ อ้างอิงข้อมูลจากมาตรฐาน ASHRAE Standard 62.1-2013

3.3.3 ออกแบบอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ 77FDB (25°C) / 50%RH อุณหภูมิภายนอก 95 FDC (35°C) / 50%RH ส่วนห้องที่ไม่มีการปรับอากาศกำหนดให้มีอุณหภูมิ 86 FDB (30°C) / 50%RH

3.3.4 อาคารตั้งอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งอยู่ในเขตเส้นละติจูด 16 องศาเหนือ

3.3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม อ้างอิงจากประกาศกระทรวงพลังงานเรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคารและการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 สามารถพิจารณาจากภาคผนวก ก

3.3.6 ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างอ้างอิงจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 พิจารณาได้จากภาคผนวก ข

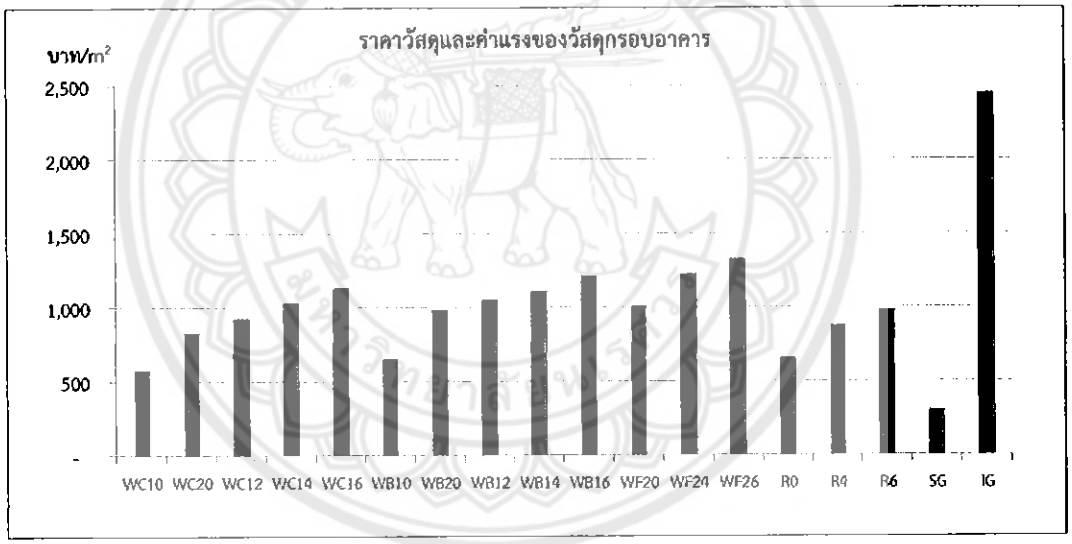
3.3.7 ขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ พิจารณาจากภาระการทำความเย็นสูงสุด เมื่อพิจารณาค่าความปลอดภัยเท่ากับ 10%

3.3.8 ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในติดตั้งเลือกโดยวิธีการ Linear Regression อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์สำนักมาตรฐานงบประมาณ พ.ศ. 2559 ทำการศึกษาข้อมูล ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2560

3.4 การคำนวณราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง

3.4.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงานของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2558 ข้อมูล ณ วันที่ 28 มกราคม พ.ศ.2560 ดังแสดงในกราฟที่ 3.1 และพิจารณารายละเอียดได้จากภาคผนวก ค

3.4.2 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างกรอบอาคารจะพิจารณาจากราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างเฉพาะกรอบอาคารภายนอกที่มีผลต่อระบบปรับอากาศเท่านั้น



กราฟที่ 3.1 ราคาวัสดุและค่าแรง (บาท/m^2) ของวัสดุกรอบอาคาร

1 7203469

3.5 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน

3.5.1 กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ พิจารณาจากสมบัติของเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ชนิด Variable speed/Inverter ที่มีประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาลหรือ SEER ไม่น้อยกว่า 15 Btu/hr/W อ้างอิงข้อมูลจากเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเบอร์ พ.ศ. 2558 ข้อมูล ณ วันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 สามารถพิจารณาได้จากภาคผนวก ง

3.5.2 เครื่องปรับอากาศใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 300 วันต่อปี

3.5.3 อัตราการใช้งานเครื่องปรับอากาศ (Load Factor) 75%

3.5.4 อัตราค่าไฟฟ้า 3.7 บาท/kWh พิจารณาได้จากภาคผนวก ง

3.5.5 อายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศ 15 ปี

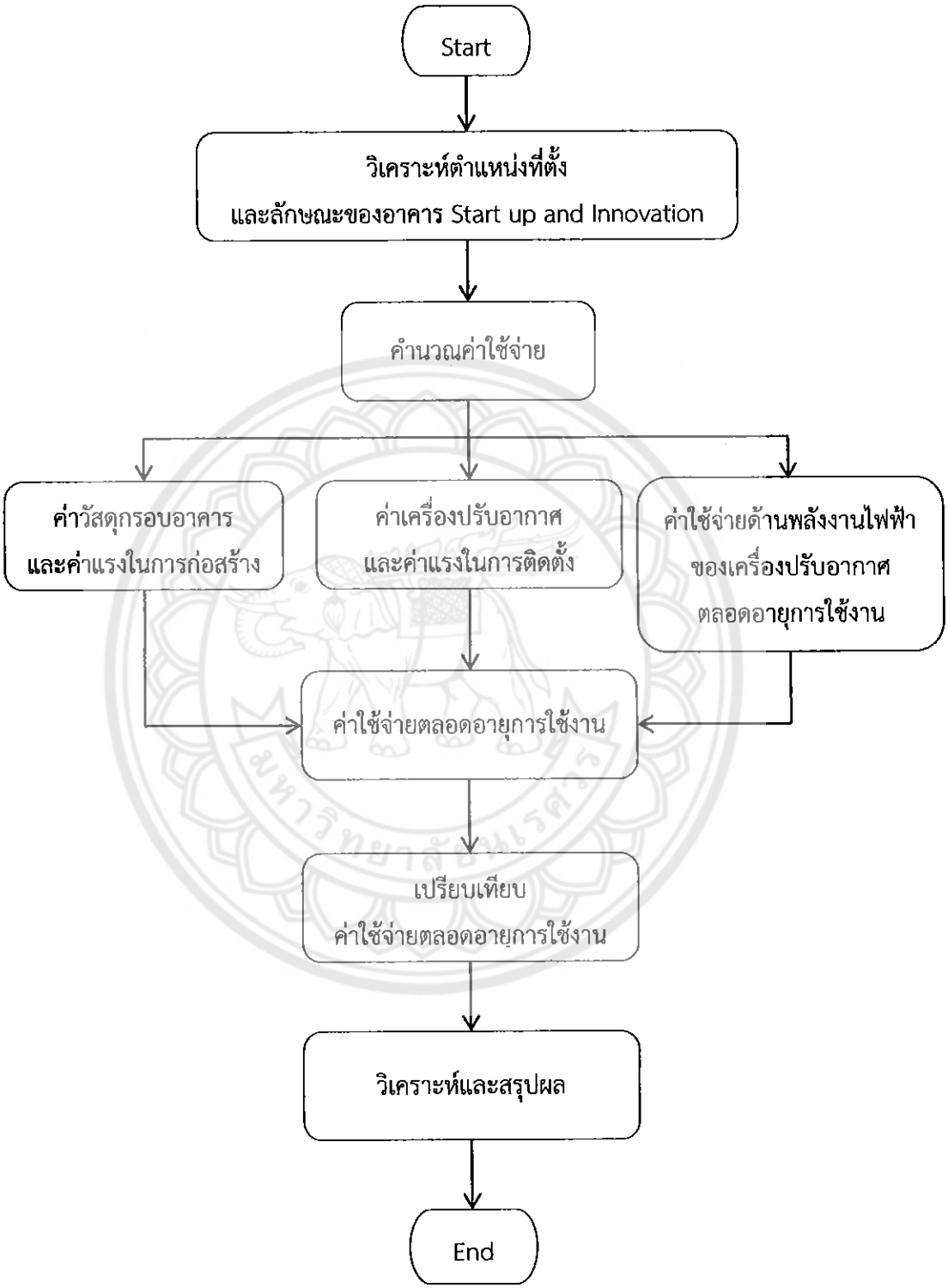
3.5.6 คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าในรูปของ Uniform Series Present Worth Factor (USPWF) และ Gradient Present Worth Factor (GPWF)

3.5.7 กำหนดให้เครื่องปรับอากาศมีอัตราการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นปีละ 3% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าในปีแรก

3.5.8 อัตราดอกเบี้ยอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยอัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดี (MRR) ของธนาคารพาณิชย์ที่จดทะเบียนในประเทศ ประจำวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 พิจารณาได้จากภาคผนวก ง

3.6 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานประกอบด้วยค่าวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง และมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี



รูปที่ 3.5 แผนภาพวิธีการดำเนินงานการศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
กับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

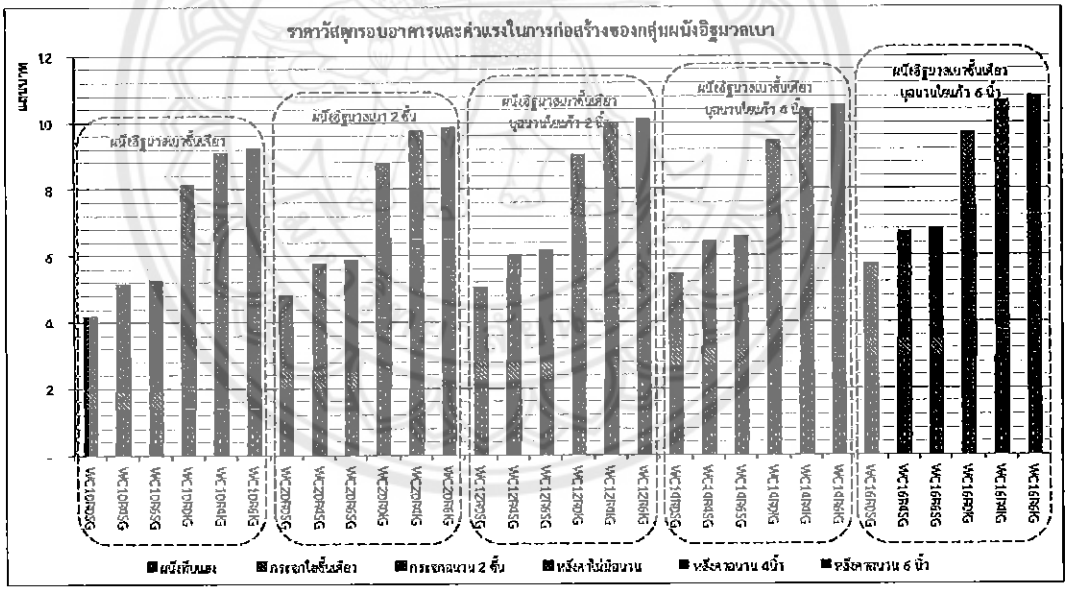
บทที่ 4

การดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

จากการดำเนินการคำนวณราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้ง มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ได้ผลการดำเนินงานและมีการวิเคราะห์ผลการคำนวณดังต่อไปนี้

4.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง

4.1.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา



กราฟที่ 4.1 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา

กราฟที่ 4.1 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว (WC10) 2) ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น (WC20) 3) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WC12) 4) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14) 5) ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WC16)

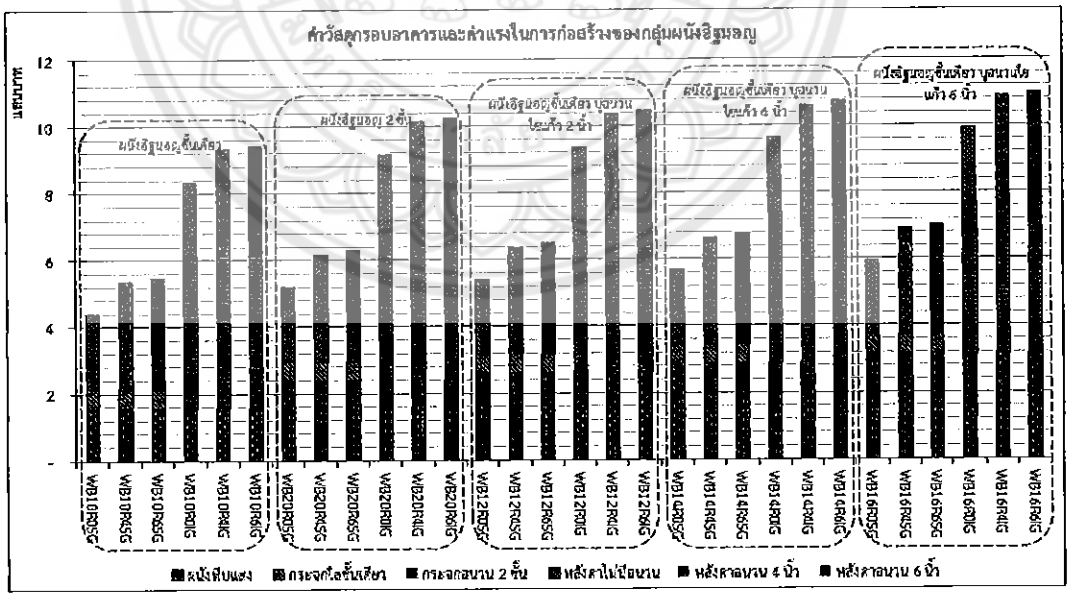
ในส่วนของค่าใช้จ่ายของผนังทึบแสงจะมีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีแนวโน้มสูงขึ้นตามค่าความเป็นฉนวน [ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าต่ำ] ของกรอบอาคารทึบแสง โดย WC20, WC12, WC14 และ WC16 มีค่าวัสดุและค่าแรงกรอบอาคารเพิ่มขึ้น 62,606 บาท, 87,403 บาท 128,977 บาท และ 155,656 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 10.0%, 14.0%, 20.7%, และ 24.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WC10

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นสูงขึ้นถึง 396,597 บาท คิดเป็น 70.2% เมื่อเทียบกับ SG (เนื่องจาก IG และ SG มีค่าวัสดุ 2,250 และ 204 บาท/ตารางเมตร ตามลำดับ)

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 97,965 และ 109,826 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 15.2% และ 17.1% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างสูงที่สุดคือ WC16R6IG คิดเป็นเงิน 1,081,074 บาท และต่ำที่สุดคือ WC10R0SG คิดเป็นเงิน 418,994 บาท โดยมีค่าแตกต่างกัน 158.0% เมื่อเทียบกับ WC10R0SG

4.1.2 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมอญ



กราฟที่ 4.2 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมอญ

กราฟที่ 4.2 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังอิฐมอญ โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมอญชั้นเดียว (WB10) 2) ผนังอิฐมอญ 2

ชั้น (WB20) 3) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WB12) 4) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WB14) 5) ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WB16)

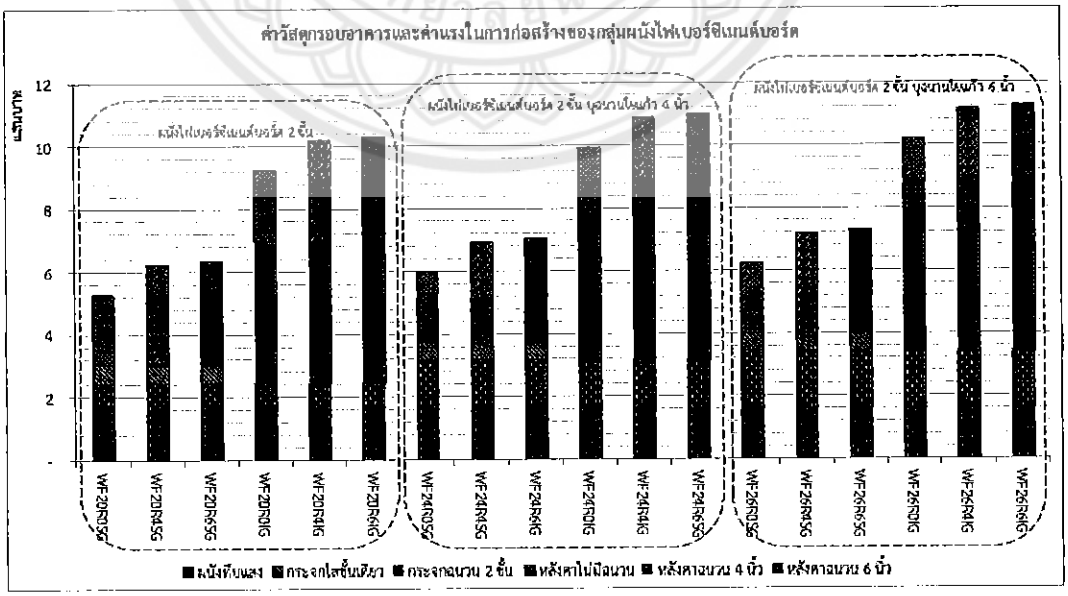
ในส่วนของค่าใช้จ่ายของผนังทึบแสงจะมีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีแนวโน้มสูงขึ้นตามค่าความเป็นฉนวน [ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าต่ำ] ของกรอบอาคารทึบแสง โดย WB20, WB12, WB14 และ WB16 มีค่าวัสดุและค่าแรงกรอบอาคารเพิ่มขึ้น 82,002 บาท 102,298 บาท 128,977 บาท และ 155,656 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 12.7%, 15.9%, 20.0% และ 24.1% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WB10

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นสูงขึ้นถึง 396,597 บาท คิดเป็น 67.0% เมื่อเทียบกับ SG (เนื่องจาก IG และ SG มีค่าวัสดุ 2,250 และ 204 บาท/ตารางเมตร ตามลำดับ)

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 97,965 และ 109,826 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 14.6% และ 16.4% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างสูงที่สุดคือ WB16R6IG คิดเป็นเงิน 1,100,469 บาท และต่ำที่สุดคือ WB10R0SG คิดเป็นเงิน 438,390 บาท โดยมีค่าแตกต่างกัน 151.0% เมื่อเทียบกับ WB10R0SG

4.1.3 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด



กราฟที่ 4.3 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด

กราฟที่ 4.3 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้น (WF20) 2) ผนังผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WF24) 3) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WF26)

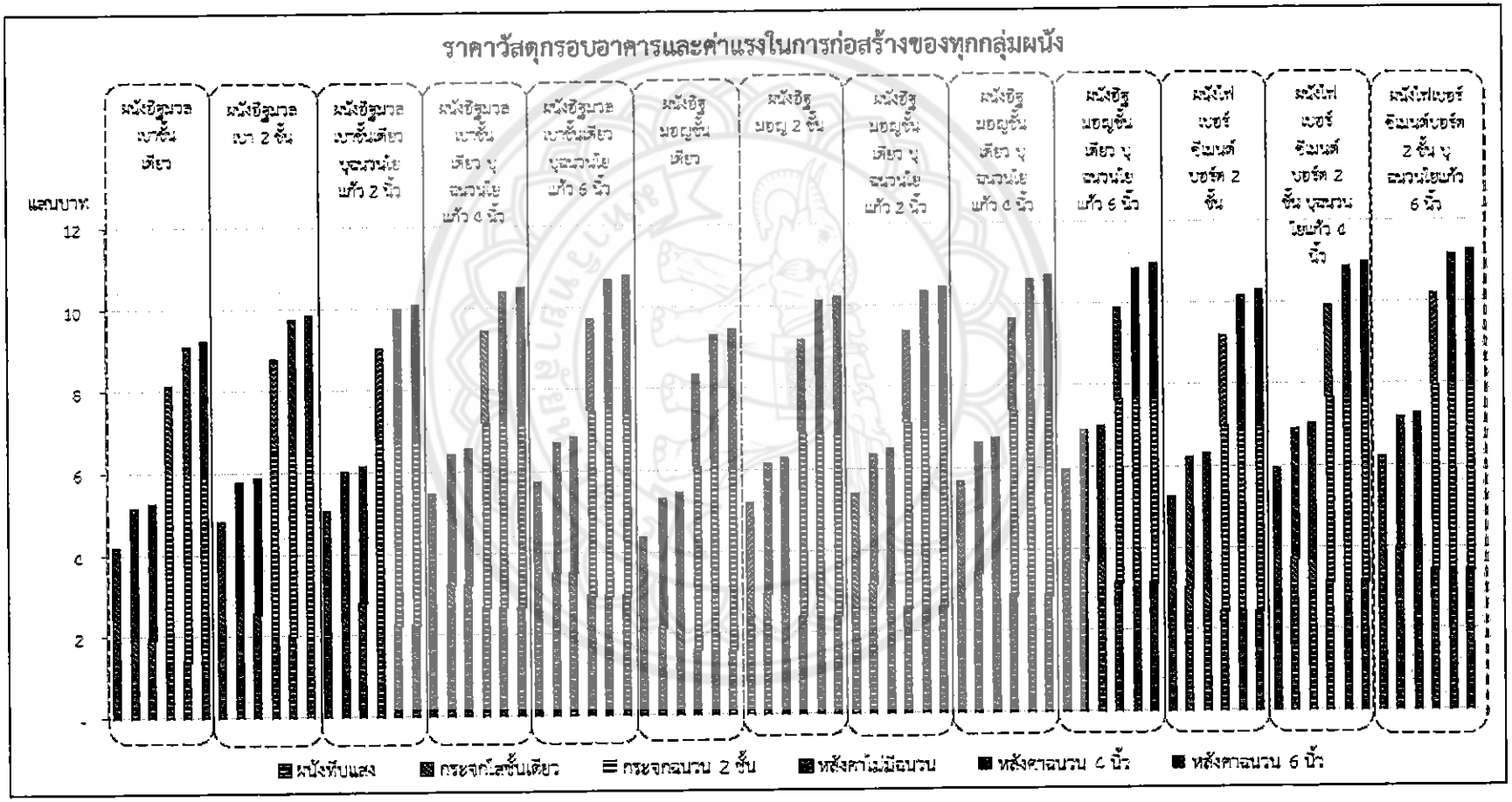
ในส่วนของค่าใช้จ่ายของผนังทึบแสงจะมีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีแนวโน้มสูงขึ้นตามค่าความเป็นฉนวน [ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าต่ำ] ของกรอบอาคารทึบแสง โดย WF24 และ WF26 มีค่าวัสดุและค่าแรงกรอบอาคารเพิ่มขึ้น 70,299 และ 96,978 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 9.5% และ 13.1% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WF20

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นสูงขึ้นถึง 396,597 บาท คิดเป็น 61.7% เมื่อเทียบกับ SG (เนื่องจาก IG และ SG มีค่าวัสดุ 2,250 และ 204 บาท/ตารางเมตร ตามลำดับ)

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 97,965 และ 109,826 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 13.5% และ 15.1% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างสูงที่สุดคือ WF26R6IG คิดเป็นเงิน 1,128,212 บาท และต่ำที่สุดคือ WF20R0SG คิดเป็นเงิน 524,811 บาท โดยมีค่าแตกต่างกัน 53.5% เมื่อเทียบกับ WF20R0SG

4.1.4 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของทุกกลุ่มผนัง



กราฟที่ 4.4 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของทุกกลุ่มผนัง

กราฟที่ 4.4 แสดงราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างของทุกกลุ่มผนัง เรียงจากน้อยไปหามากคือ กลุ่มผนังอิฐมวลเบา กลุ่มผนังอิฐมอญ และกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ตามลำดับ (เนื่องจากมีค่าวัสดุและค่าแรง 225 บาท/m^2 334 บาท/m^2 และ 1,002 บาท/m^2 ตามลำดับ) โดยกลุ่มผนังอิฐมวลเบามีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างต่ำกว่ากลุ่มผนังอิฐมอญและกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 26,254 และ 43,210 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 3.5% และ 5.8% ตามลำดับ

การเพิ่มความเป็นฉนวนในผนังโปร่งแสงทำให้ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างเพิ่มขึ้นมากที่สุด ถัดมาคือผนังทึบแสงและหลังคา ตามลำดับ สังเกตได้จาก WC16R6IG WB16R6IG และ WF26R6IG มีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างสูงมากเมื่อเทียบกับกรอบอาคารทั่วไปหรือ WB10R0SG

ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างที่มีค่าต่ำที่สุด 5 ลำดับแรก คือ WC10R0SG, WB10R0SG, WC20R0SG, WC12R0SG และ WC10R4SG ตามลำดับ คิดเป็นเงิน 418,994 บาท 438,390 บาท 481,600 บาท 506,397 บาท และ 516,959 บาท ตามลำดับ

สรุปได้ว่าราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าแปรผันตรงกับค่าความเป็นฉนวน [แปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)] ของกรอบอาคาร

4.2 ภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak Cooling Load)

4.2.1 ห้อง Co-Working Space

จากกราฟที่ 4.5 แสดงภาระการทำความเย็นตลอด 24 ชั่วโมงของห้อง Co-Working Space เป็นผลจากการคำนวณ Peak cooling load ของทุกเดือน ตลอด 24 ชั่วโมงโดยวิธีการคำนวณแบบ CLTD ผลจากการวิเคราะห์พบว่า Peak cooling load เกิดขึ้น ณ เดือนมีนาคม เวลา 15.00 น จากกราฟพบว่า Peak cooling load แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ

1. กลุ่ม R0 หรือ กลุ่มกรอบอาคารหลังคาไม่บุฉนวน
2. กลุ่ม R4/R6 หรือ กลุ่มกรอบอาคารหลังคาบุฉนวนใยแก้วหนา 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว

จากกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กลุ่มกรอบอาคารหลังคาบุฉนวน R4/R6 มีภาระการทำความเย็นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือประมาณ 60,000 Btu/hr คิดเป็น 29.9% เมื่อเทียบกับกรอบอาคาร R0 เนื่องจากห้อง Co-Working Space มีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียวและมีพื้นที่หลังคาค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผนังกรอบอาคาร ภาระการทำความเย็นส่วนใหญ่จึงมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคามากที่สุด เมื่อมีการเพิ่มฉนวนให้กับหลังคาจะมีผลทำให้ภาระการทำความเย็นลดลงอย่างมีมาก

ในแต่ละกลุ่มมีภาระการทำความเย็นลดลงตามความเป็นฉนวนของผนังกรอบอาคาร สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ 1) กลุ่มกรอบอาคารที่ผนังทึบแสงไม่บุฉนวนและผนังโปร่งแสงใช้กระจกใสชั้นเดียว และ 2) กลุ่มกรอบอาคารที่ผนังทึบแสงบุฉนวนและผนังโปร่งแสงใช้กระจกฉนวน 2 ชั้น ซึ่งมีภาระการทำความเย็นแตกต่างกันประมาณ 10,000 Btu/hr คิดเป็น 7.1% ซึ่งภาระการทำความเย็นมีค่าลดลงตามความเป็นฉนวนของผนังทึบแสง เรียงจากมากไปหาน้อยคือ กลุ่มผนังก่ออิฐมอญ กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด และกลุ่มผนังก่ออิฐมวลเบา

สังเกตเห็นได้ว่าช่วงเวลากลางคืนของกลุ่ม R4/R6 ภาระการทำความเย็นในช่วงเวลา 19.00 – 24.00 น. มีค่าสูงกว่าช่วงเวลา 01.00 – 06.00 น. เล็กน้อย เนื่องจากฉนวนมีการคายความร้อนในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นผลของการสะสมความร้อนในเวลากลางวัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวของกรอบอาคารทั้ง 2 กลุ่มมีภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นถ้าอาคารที่มีลักษณะดังกล่าวมีการเปิดใช้งานเฉพาะในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่จำเป็นต้องบุฉนวนในหลังคาเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านวัสดุกรอบอาคาร

สรุปได้ว่ากรอบอาคารห้อง Co-Working Space มีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียว ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังสูง คือมีค่าเท่ากับ 1.40 ดังนั้นอาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่ลักษณะนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวน เพราะค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจะถ่ายเทผ่านทางหลังคาของอาคาร

4.2.2 ห้อง Creative Space

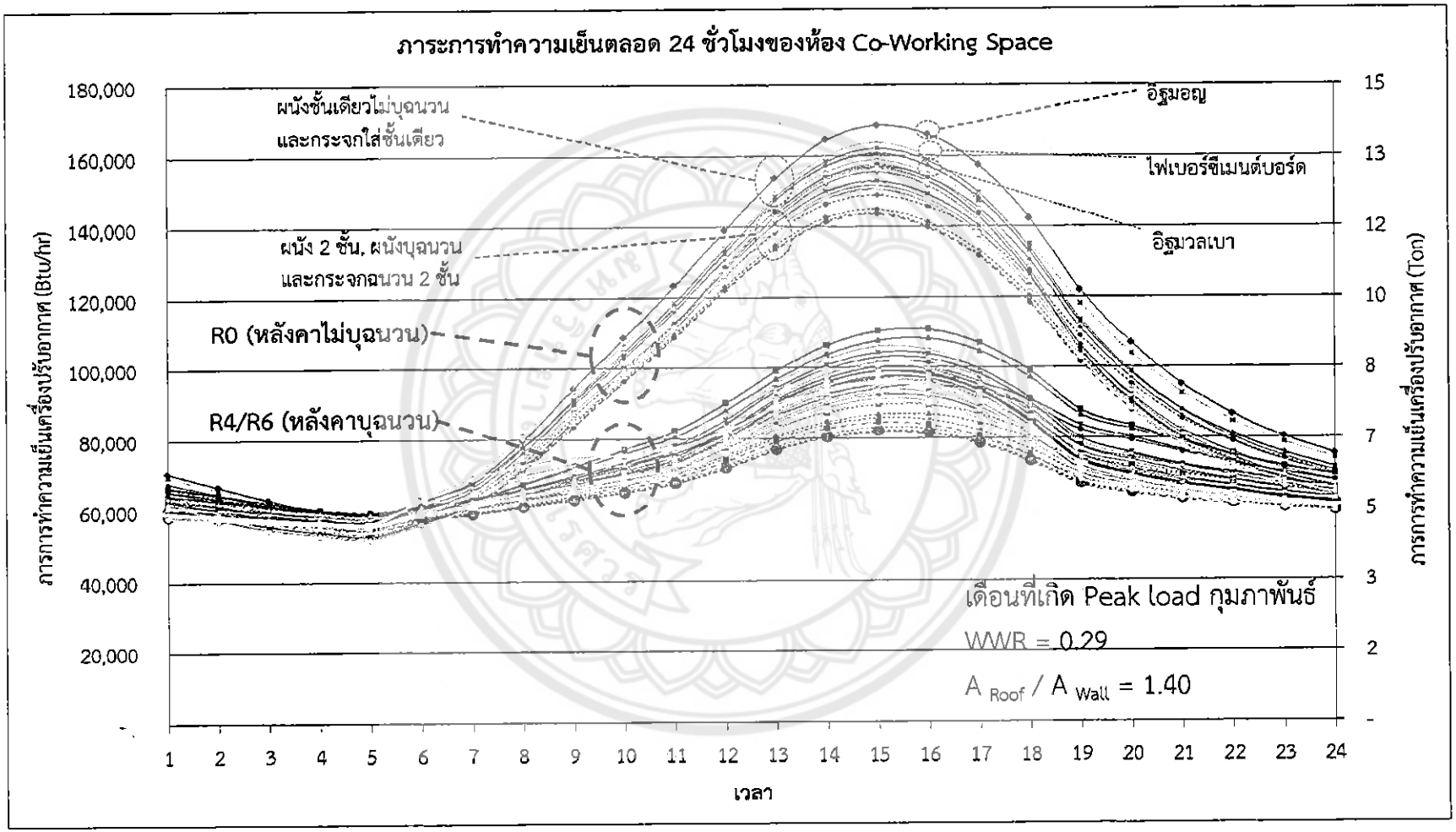
จากกราฟที่ 4.6 แสดงภาระการทำความเย็นตลอด 24 ชั่วโมงของห้อง Creative Space เป็นผลจากการคำนวณ Peak cooling load ของทุกเดือน ตลอด 24 ชั่วโมงโดยวิธีการคำนวณแบบ CLTD ผลจากการวิเคราะห์พบว่า Peak cooling load เกิดขึ้น ณ เดือนกุมภาพันธ์ เวลา 16.00 น. จากกราฟพบว่า Peak cooling load แบ่งเป็น 4 กลุ่มหลักๆ คือ

1. กลุ่ม R0SG หรือ กลุ่มกรอบอาคารหลังคาไม่บุฉนวนและใช้กระจกใสชั้นเดียว
2. กลุ่ม R0IG หรือ กลุ่มกรอบอาคารหลังคาไม่บุฉนวนและใช้กระจกฉนวน 2 ชั้น
3. กลุ่ม R4SG/R6SG หรือ กลุ่มกรอบอาคารหลังคาบุฉนวนใยแก้วหนา 4 และ 6 นิ้ว และใช้กระจกใสชั้นเดียว
4. กลุ่ม R4IG/R6IG หรือ กลุ่มกรอบอาคารหลังคาบุฉนวนใยแก้วหนา 4 และ 6 นิ้ว และใช้กระจกฉนวน 2 ชั้น

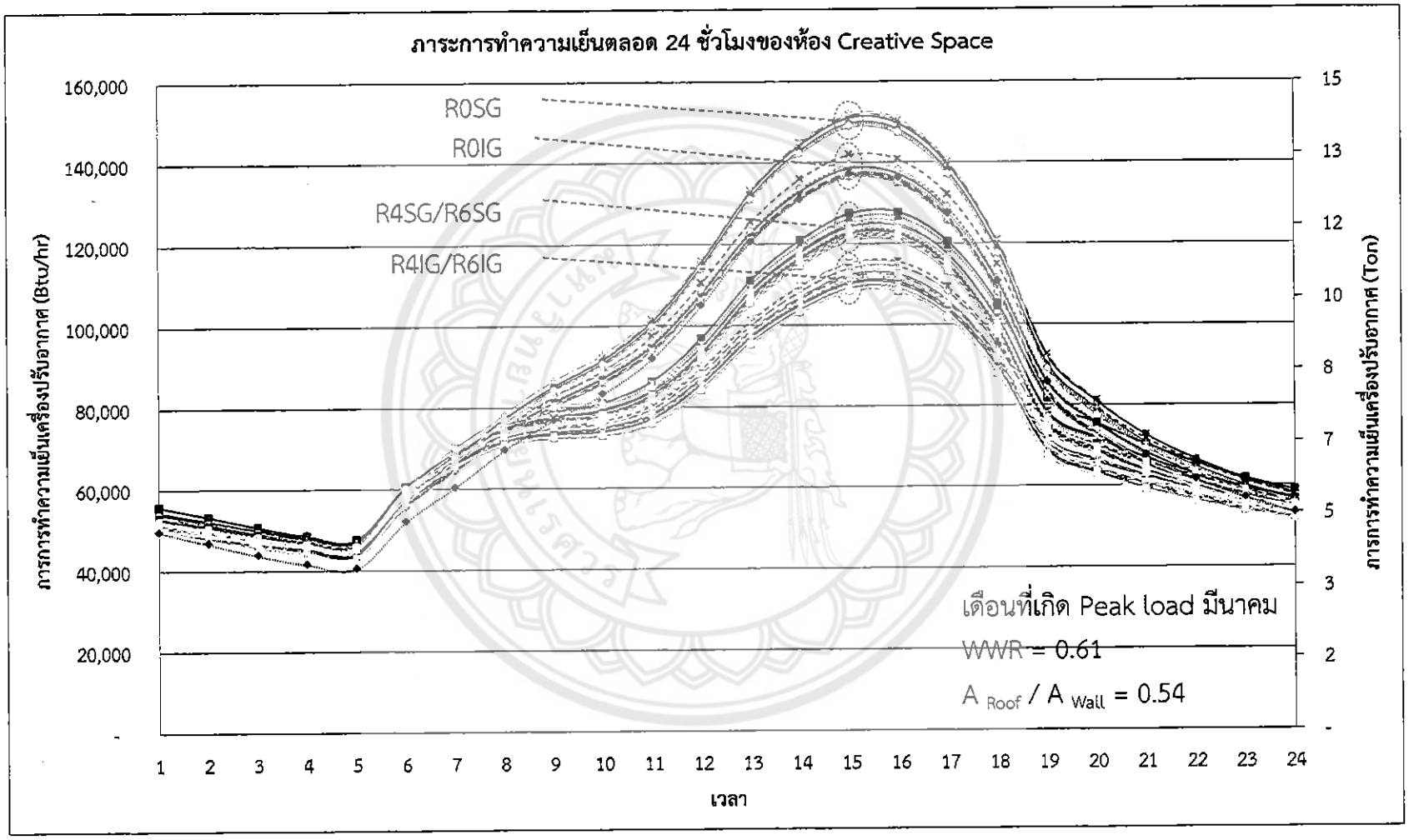
จากกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กลุ่ม R4 และ R6 มีภาระการทำความเย็นลดลงประมาณ 25,000 Btu/hr คิดเป็น 30.5% เมื่อเทียบกับกลุ่ม R0 และกลุ่ม IG มีภาระการทำความเย็นลดลงประมาณ 10,000 Btu/hr คิดเป็น 15.5% เมื่อเทียบกับกลุ่ม SG เนื่องจาก Living Room มีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียว มีพื้นที่หลังคาค้อนมากเมื่อเทียบกับผนัง และมีผนังโปร่งแสงค้อนข้างมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผนังทึบแสง การเปลี่ยนประเภทผนังทึบแสงจึงไม่ทำให้ภาระการทำความเย็นเกิดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เพราะภาระการทำความเย็นส่วนใหญ่จะมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาและผนังโปร่งแสงด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอาคาร เมื่อมีการเพิ่มฉนวนให้กับหลังคาและใช้ผนังโปร่งแสงที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง จะมีผลทำให้ภาระการทำความเย็นลดลงอย่างมีมาก

สังเกตเห็นได้ว่าช่วงเวลากลางคืนของกลุ่มแต่ละกลุ่มจะมีภาระการทำความเย็นในช่วงเวลา 19.00 – 24.00 น. มีค่าสูงกว่าช่วงเวลา 01.00 – 06.00 น. เล็กน้อย เนื่องจากฉนวนมีการคายความร้อนในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นผลของการสะสมความร้อนในเวลากลางวัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวของกรอบอาคารทั้ง 2 กลุ่มมีภาระการทำความเย็นแตกต่างกันมากนัก ดังนั้นถ้าอาคารที่มีลักษณะดังกล่าวมีการเปิดใช้งานเฉพาะในช่วงเวลาดังกล่าว ไม่จำเป็นต้องบุฉนวนในหลังคาเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านวัสดุกรอบอาคาร

สรุปได้ว่ากรอบอาคารห้อง Creative Space มีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียว ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังเท่ากับ 0.54 และ Window to wall ratio มีค่าสูง คือมีค่าเท่ากับ 0.61 ดังนั้นอาคารที่มีลักษณะนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนและใช้ผนังโปร่งแสงที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอาคาร เพราะค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจะถ่ายเทผ่านทางหลังคาของอาคาร

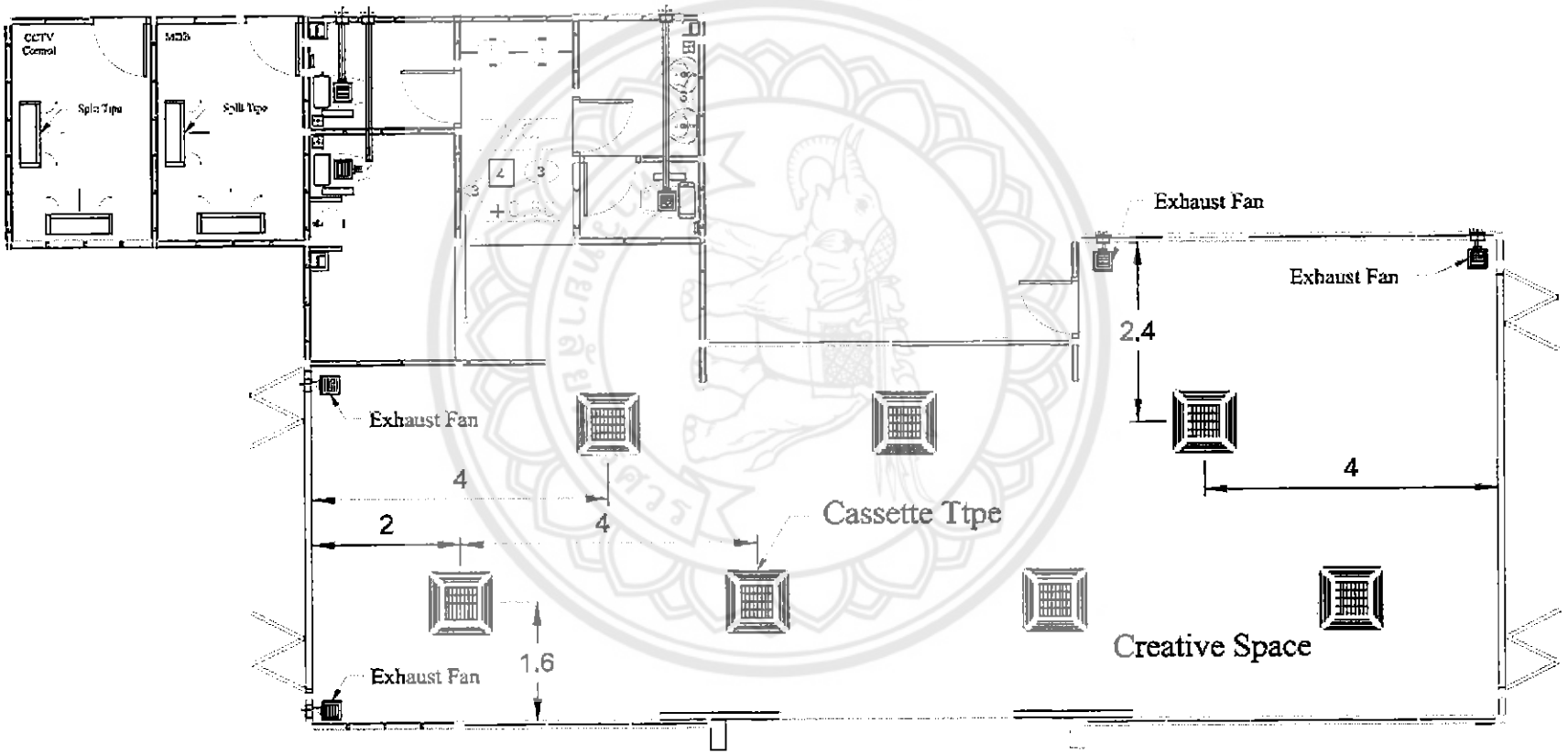


กราฟที่ 4.5 แสดงภาระการทำความเย็นตลอด 24 ชั่วโมงของห้อง Co-Working Space

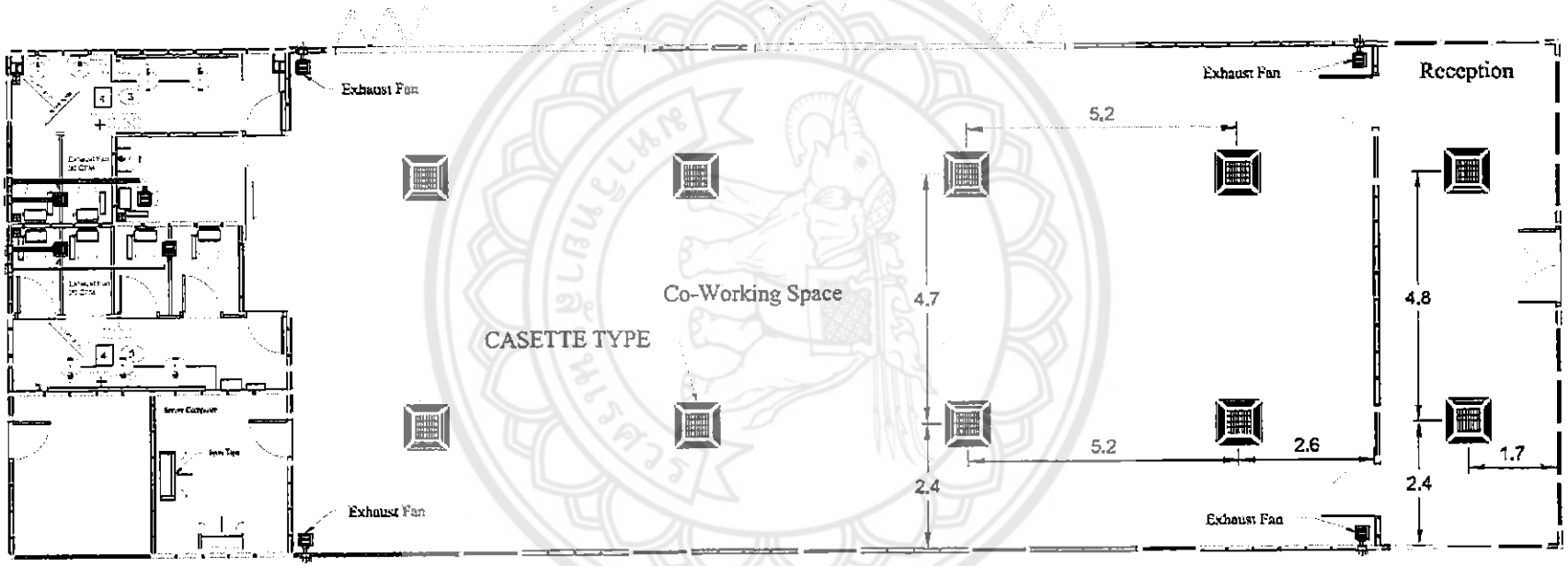


กราฟที่ 4.6 แสดงภาระการทำความเย็นตลอด 24 ชั่วโมงของห้อง Creative Space

จากข้อมูล Peak cooling load สามารถนำมาพิจารณาในการวางระบบเครื่องปรับอากาศที่มีการกระจายลมที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดตำแหน่งการวาง ชนิดและจำนวนเครื่องปรับอากาศในแต่ละห้องแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



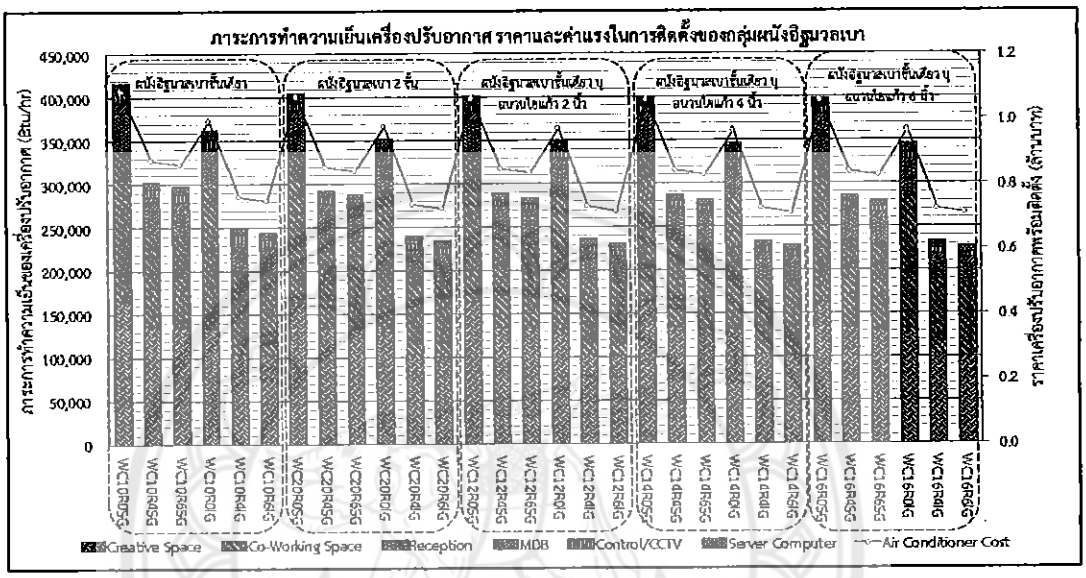
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ Cassette Type ของอาคาร Creative Space



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ Cassette Type ของอาคาร Working Space

4.3 ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้ง

4.3.1 ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา



กราฟที่ 4.7 แสดงภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา

กราฟที่ 4.7 แสดงภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว (WC10) 2) ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น (WC20) 3) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WC12) 4) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14) 5) ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WC16)

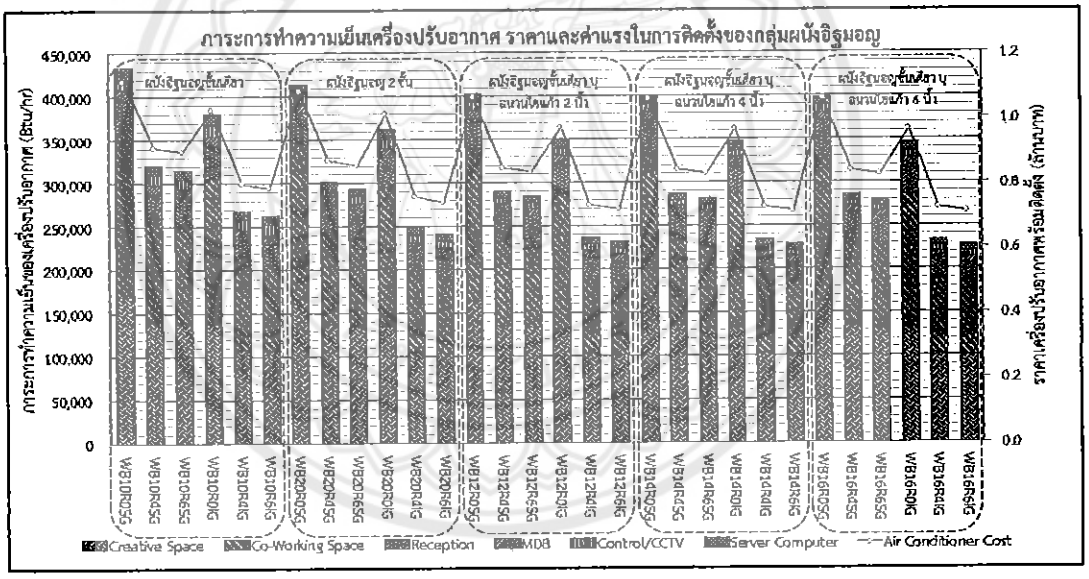
ในส่วนของภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่อกรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวน [ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าต่ำ] มากขึ้น โดย WC20, WC12, WC14 และ WC16 มีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศลดลง 10,367 Btu/hr 14,108 Btu/hr 16,484 Btu/hr และ 17,505 Btu/hr ตามลำดับ คิดเป็น 3.4%, 4.7%, 5.5% และ 5.8% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WC10 ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าลดต่ำลง 20,513 บาท 28,171 บาท 33,089 บาท และ 35,214 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 2.4%, 3.3%, 3.9%, และ 4.1% ตามลำดับ

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งลดลง 52,849 Btu/hr และ 107,983 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 16.6% และ 12.0% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 112,645 และ 118,096 Btu/hr ตามลำดับ คิดเป็น 30.0% และ 31.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ R0 ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าลดลง 227,731 และ 240,284 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 22.4% และ 23.7% ตามลำดับ

ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งสูงที่สุดคือ WC10R0SG คิดเป็น 415,894 Btu/hr และ 1,085,389 บาท ตามลำดับ และต่ำที่สุดคือ WC16R6IG คิดเป็น 227,444 Btu/hr และ 708,546 บาท ตามลำดับ โดยมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแตกต่างกัน 45.3% และมีราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งแตกต่างกัน 34.7% เมื่อเทียบกับ WC10R0SG

4.3.2 ภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมอญ



กราฟที่ 4.8 แสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมอญ

กราฟที่ 4.8 แสดงแสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังอิฐมอญ โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมอญชั้นเดียว (WB10) 2) ผนังอิฐมอญ 2 ชั้น (WB20) 3) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WB12) 4) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WB14) 5) ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WB16)

ในส่วนของภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่อกรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวน [ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าต่ำ] มากขึ้น โดย WB20, WB12, WB14 และ WB16 มีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศลดลง 19,721 Btu/hr 30,536 Btu/hr

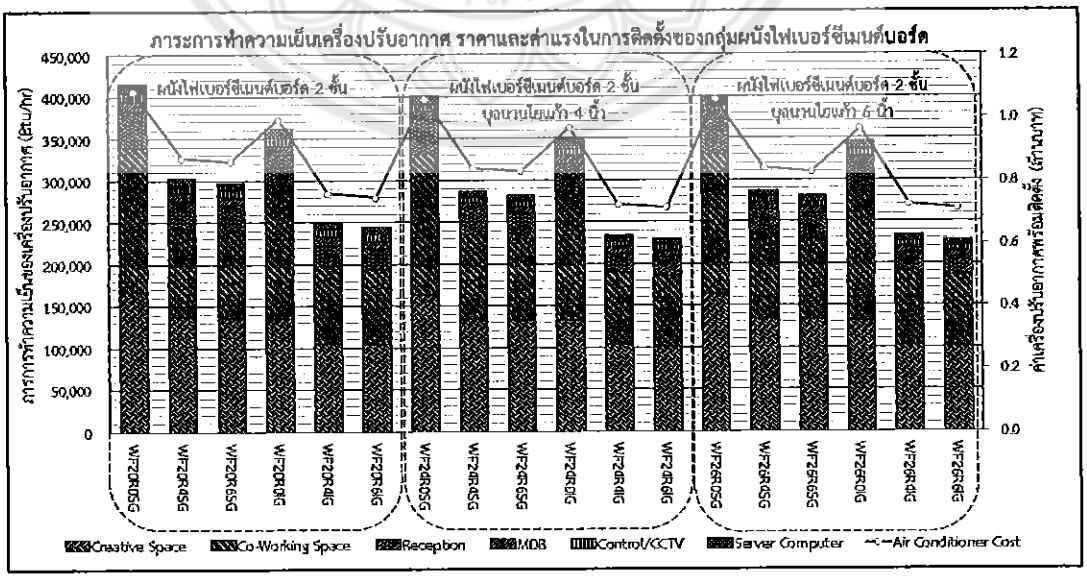
33,599 Btu/hr 34,793 Btu/hr ตามลำดับ คิดเป็น 6.2%, 9.2% 10.5% และ 10.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WC10 ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าลดต่ำลง 34,455 บาท 59,294 บาท 65,618 บาท 68,102 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 3.9%, 6.6%, 7.3%, และ 7.6% ตามลำดับ

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งลดลง 52,851 Btu/hr และ 105,836 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 16.3% และ 11.7% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 112,653 และ 118,545 Btu/hr ตามลำดับ คิดเป็น 29.6% และ 31.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ R0 ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าลดลง 227,301 และ 240,803 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 22.2% และ 23.5% ตามลำดับ

ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งสูงที่สุดคือ WB10R0SG คิดเป็น 433,378 Btu/hr และ 1,112,223 บาท ตามลำดับ และต่ำที่สุดคือ WB16R6IG คิดเป็น 227,615 Btu/hr และ 708,944 บาท ตามลำดับ โดยมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแตกต่างกัน 47.5% และมีราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งแตกต่างกัน 36.2% เมื่อเทียบกับ WB10R0SG

4.3.3 ภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด



กราฟที่ 4.9 แสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด

กราฟที่ 4.9 แสดงภาระการทำความเย็นและราคาพร้อมติดตั้งเครื่องปรับอากาศของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้น (WF20) 2) ผนังผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WF24) 3) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WF26)

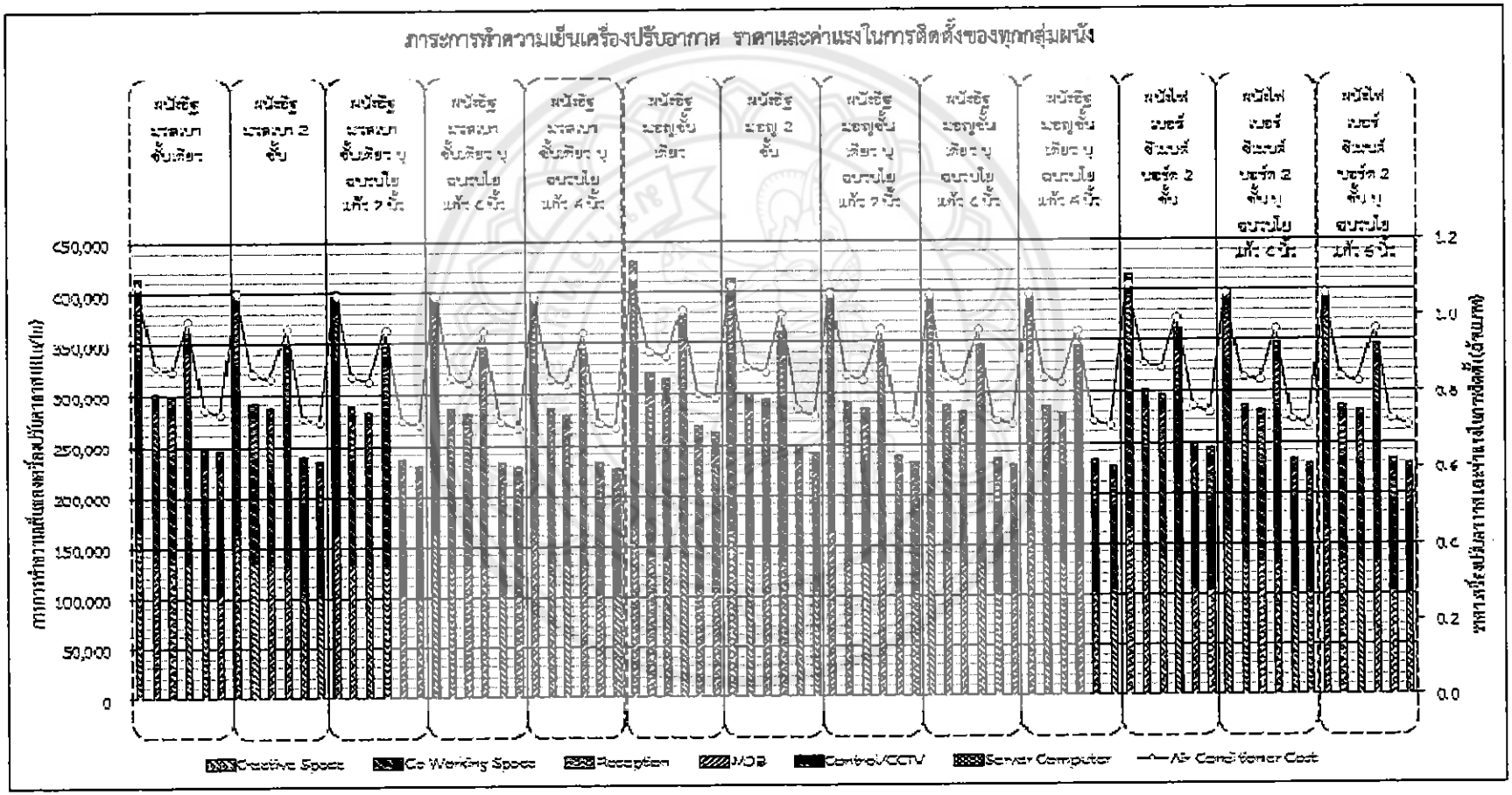
ในส่วนของภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่อกรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวน [ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าต่ำ] มากขึ้น โดย WF24 และ WF26 มีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศลดลง 15,337 และ 16,304 Btu/hr ตามลำดับ คิดเป็น 5.1% และ 5.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WF20 ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าลดต่ำลง 30,844 และ 32,687 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 3.6%, และ 3.8% ตามลำดับ

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งลดลง 52,827 Btu/hr และ 107,660 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 16.5% และ 12.0

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 113,771 และ 118,101 Btu/hr ตามลำดับ คิดเป็น 30.0% และ 31.1% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ R0 ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าลดลง 231,148 และ 240,117 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 22.5%, และ 23.6% ตามลำดับ

ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งสูงที่สุดคือ WF20R0SG คิดเป็น 415,532 Btu/hr และ 1,084,760 บาท ตามลำดับ และต่ำที่สุดคือ WF26R6IG คิดเป็น 228,289 Btu/hr และ 710,449 บาท ตามลำดับ โดยมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแตกต่างกัน 47.5% และมีราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งแตกต่างกัน 36.3% เมื่อเทียบกับ WF20R0SG

4.3.4 ภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของทุกกลุ่มผนัง



กราฟที่ 4.10 แสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งทุกกลุ่มผนัง

กราฟที่ 4.10 แสดงภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งของทุกกลุ่มผนัง เรียงจากน้อยไปหามากคือ กลุ่มผนังอิฐมวลเบา กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดและกลุ่มผนังอิฐมอญ ตามลำดับ (เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบแสงมีค่าเท่ากับ 0.145, 0.224 และ 0.278 W/m2-K ตามลำดับ) โดยกลุ่มผนังอิฐมวลมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอาคารต่ำกว่ากลุ่มผนังอิฐมอญและกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 17,459 และ 10,005 Btu/hr ตามลำดับ คิดเป็น 5.5% และ 3.3% ตามลำดับ ทำให้มีราคาพร้อมติดตั้งเครื่องปรับอากาศต่ำกว่ากลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดและกลุ่มผนังอิฐมอญ 33,244 และ 19,672 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 3.7% และ 2.3 % ตามลำดับ

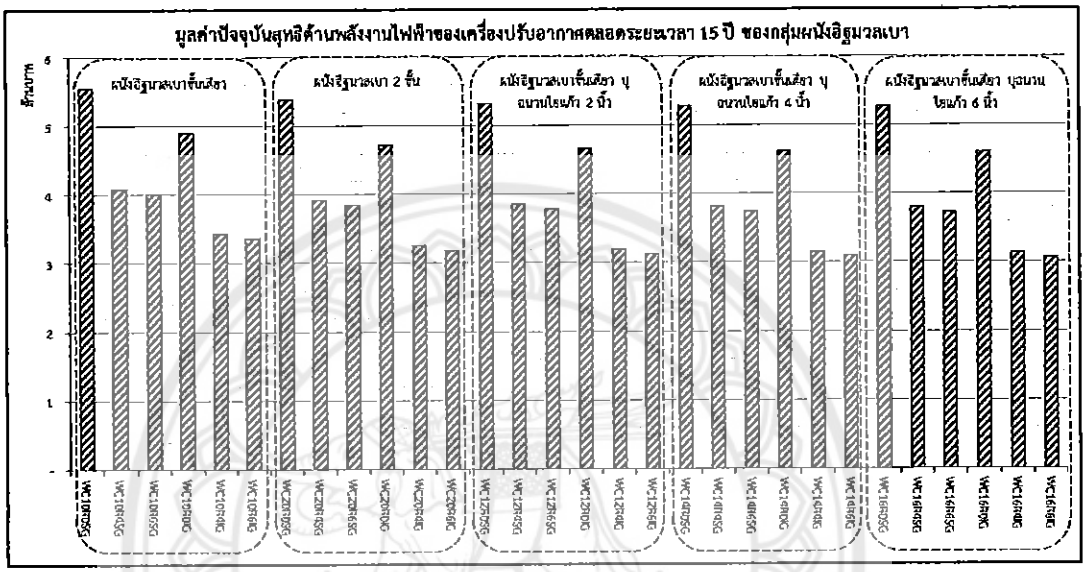
ภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าลดลงเมื่อกรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น [ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าต่ำ] ซึ่งการเพิ่มความเป็นฉนวนในหลังคาทำให้ภาระการทำความเย็นลดลงมากที่สุด ถัดมาคือผนังโปร่งแสงและผนังทึบแสง เนื่องจากอาคาร Start up and Innovation มีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียวและมีพื้นที่หลังคาค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ผนัง ดังนั้นภาระการทำความเย็นส่วนใหญ่จะมาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา เมื่อมีการเพิ่มความเป็นฉนวนให้กับหลังคาจะทำให้ภาระการทำความเย็นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศที่มีค่าต่ำที่สุด 5 อันดับแรกคือ WC16R6IG, WB16R6IG, WF26R6IG, WC14R6IG และ WB14R6IG ตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 227,444 Btu/hr 227,615 Btu/hr 228,289 Btu/hr 228,464 Btu/hr และ 228,809 Btu/hr ตามลำดับ มีราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้งเท่ากับ 708,546 บาท 708,944 บาท 710,449 บาท 710,923 บาท และ 711,723 บาท ตามลำดับ

สรุปได้ว่าการเพิ่มความเป็นฉนวนในกรอบอาคารทำให้ภาระการทำความเย็นลดลง แต่เมื่อมีการเพิ่มฉนวนมากขึ้นในระดับหนึ่ง อาจจะทำให้ภาระการทำความเย็นมีเปอร์เซ็นต์การลดลงที่น้อยมาก เนื่องจากฉนวนจะมีค่าความต้านทานความร้อนที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง ดังนั้นในฐานะวิศวกรจะต้องพิจารณาความหนาและชนิดของฉนวนที่เหมาะสม เพื่อให้การลงทุนด้านวัสดุกรอบอาคารให้สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4.4 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน

4.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา



กราฟที่ 4.11 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังอิฐมวลเบา

กราฟที่ 4.11 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังอิฐมวลเบา โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว (WC10) 2) ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น (WC20) 3) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WC12) 4) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14) 5) ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WC16)

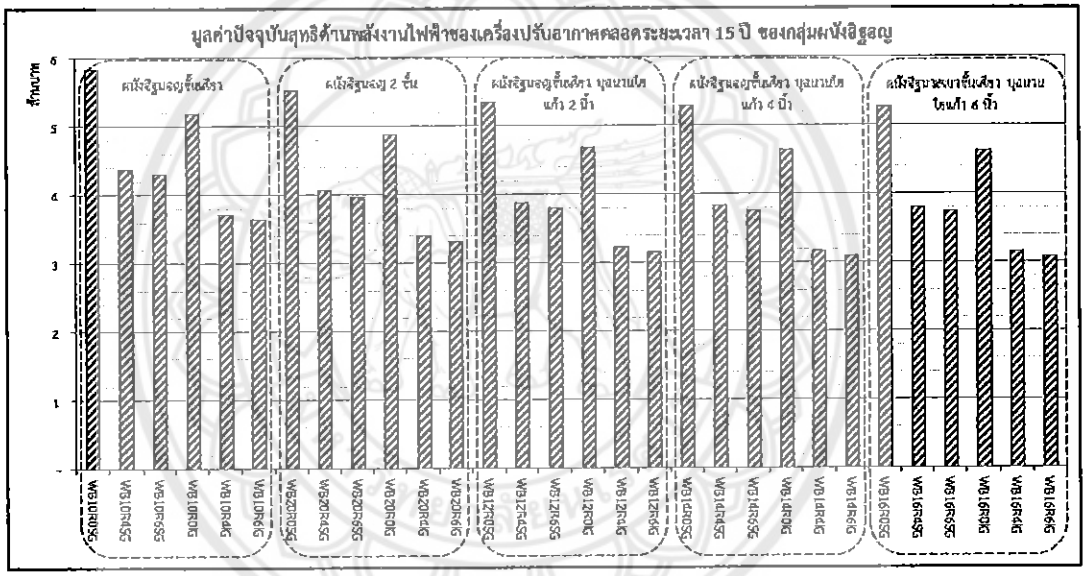
จากการวิเคราะห์พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีค่าแปรผันตรงกับภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดย WC20, WC12, WC14 และ WC16 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ลดลง 169,115 บาท 229,115 บาท 267,277 บาท และ 283,656 บาท ตามลำดับ เฉลี่ยคิดเป็น 4.1%, 5.6%, 6.5% และ 6.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WC10

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ลดลง 654,305 บาท เฉลี่ยคิดเป็น 15.4% เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี แตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 1,467,116 บาท และ 1,538,108 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 29.3% และ 30.7% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี สูงที่สุดคือ WC10R0SG คิดเป็นเงิน 5,554,118 บาท และต่ำที่สุดคือ WC16R6IG คิดเป็นเงิน 3,078,036 บาท โดยมีค่าแตกต่างกัน 44.6% เมื่อเทียบกับ WC10R0SG

4.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ของกลุ่มผนังอิฐมอญ



กราฟที่ 4.12 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังอิฐมอญ

กราฟที่ 4.12 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังอิฐมอญ โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมอญชั้นเดียว (WB10) 2) ผนังอิฐมอญ 2 ชั้น (WB20) 3) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WB12) 4) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WB14) 5) ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WB16)

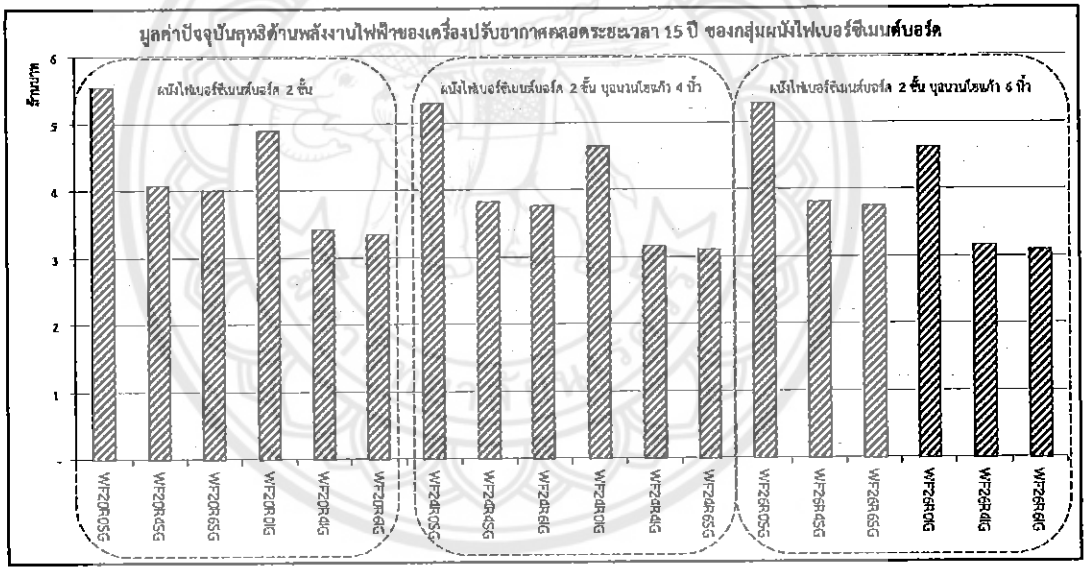
จากการวิเคราะห์พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีค่าแปรผันตรงกับภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดย WB20, WB12, WB14 และ WB16 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ลดลง 318,911 บาท 495,175 บาท 544,345 บาท และ 563,508 บาท ตามลำดับ เฉลี่ยคิดเป็น 7.3%, 11.3%, 12.4% และ 12.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WB10

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ลดลง 654,329 บาท เฉลี่ยคิดเป็น 15.1% เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี แตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 1,467,232 และ 1,544,313 บาท ตามลำดับ เฉลี่ยคิดเป็น 28.8% และ 30.3% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี สูงที่สุดคือ WB10R0SG คิดเป็นเงิน 5,837,057 บาท และต่ำที่สุดคือ WB16R6IG คิดเป็นเงิน 3,080,777 บาท โดยมีค่าแตกต่างกันเฉลี่ย 47.2% เมื่อเทียบกับ WB10R0SG

4.4.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด



กราฟที่ 4.13 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด

กราฟที่ 4.13 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้น (WF20) 2) ผนังผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WF24) 3) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WF26)

จากการวิเคราะห์พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีค่าแปรผันตรงกับภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดย WF24 และ WF26 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ลดลง

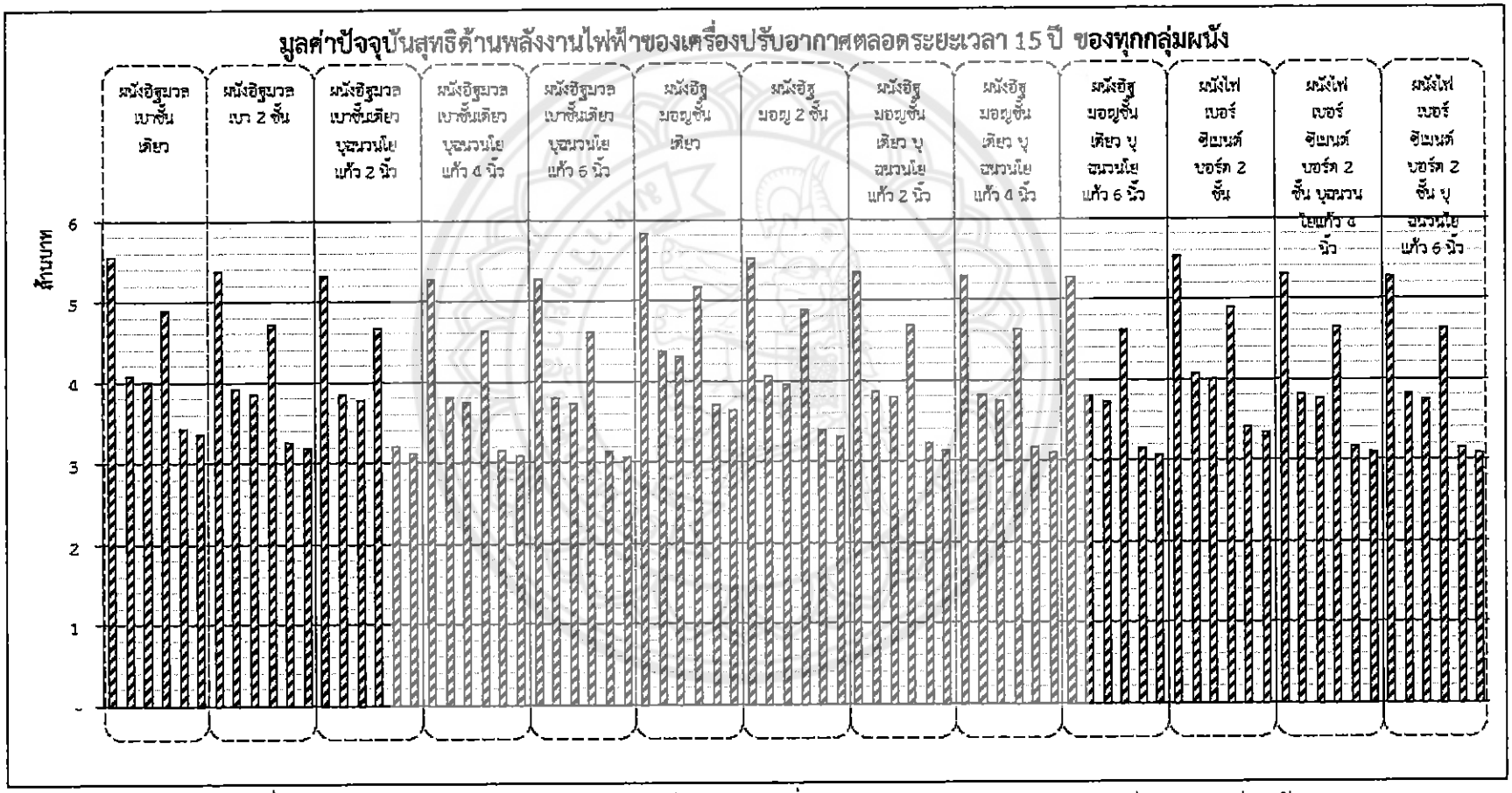
240,783 และ 262,288 บาท ตามลำดับ เฉลี่ยคิดเป็น 6.0% และ 6.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WF20

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ลดลง 654,029 บาท เฉลี่ยคิดเป็น 15.3% เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี แตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 1,471,655 และ 1,538,175 บาท ตามลำดับ เฉลี่ยคิดเป็น 29.3% และ 30.6% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี สูงที่สุดคือ WF20R0SG คิดเป็นเงิน 5,546,323 บาท และต่ำที่สุดคือ WF26R6IG คิดเป็นเงิน 3,091,678 บาท โดยมีค่าแตกต่างกันเฉลี่ย 44.3% เมื่อเทียบกับ WF20R0SG

4.4.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีของทุกกลุ่มผนัง



กราฟที่ 4.14 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ของทุกกลุ่มผนัง

กราฟที่ 4.14 แสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ของทุกกลุ่มผนัง เรียงจากน้อยไปหามากคือ กลุ่มผนังอิฐมวลเบา กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด และ กลุ่มผนังอิฐมอญ ตามลำดับ เนื่องจากมีภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศเรียงจากน้อยไปหามาก ตามลำดับ โดยกลุ่มผนังอิฐมวลมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีต่ำกว่ากลุ่มผนังอิฐมอญและกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด-282,594 และ 161,320 บาท ตามลำดับ เฉลี่ยคิดเป็น 6.4% และ 4.0%

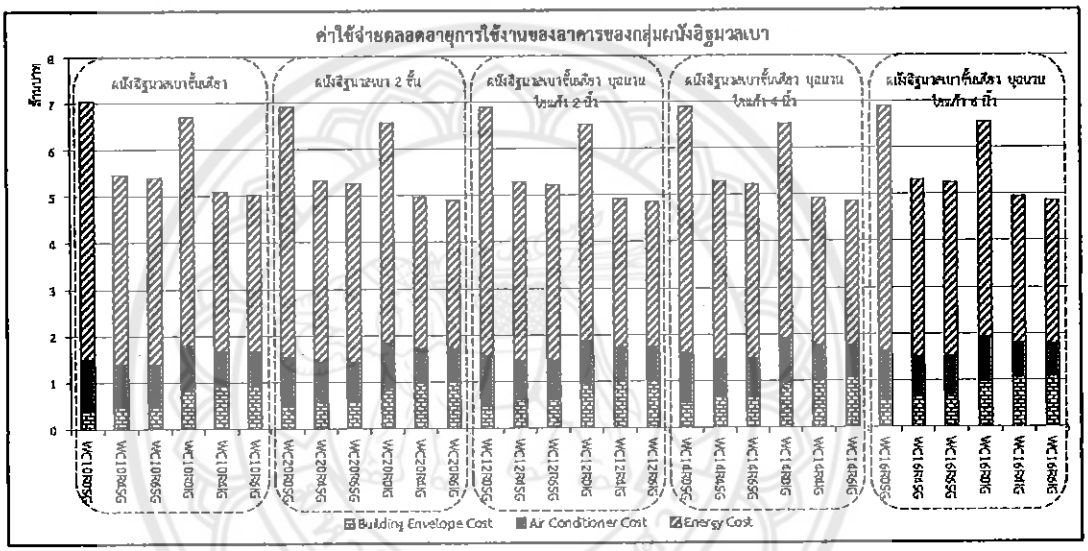
มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี ต่ำที่สุดใน 5 ลำดับแรกคือ WC16R6IG, WB16R6IG, WF26R6IG, WC14R6IG และ WB14R6IG ตามลำดับ คิดเป็นเงิน 3,078,036 บาท 3,080,777 บาท 3,091,678 บาท 3,094,415 บาท และ 3,099,940 บาท ตามลำดับ

สรุปได้ว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีมีค่าแปรผันตรงตามภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศซึ่งมีค่าลดลงเมื่อกรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ซึ่งอาคาร Co-Working Space มีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังสูง การเพิ่มความเป็นฉนวนในหลังคาทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีลดลงมากที่สุด ส่วนอาคาร Creative Space มีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังค่อนข้างสูงและ Window to wall ratio มีค่าสูง การเพิ่มความเป็นฉนวนในหลังคาและใช้ผนังโปร่งแสงที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอาคาร จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีลดลงมากที่สุด

4.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารเป็นค่าใช่จ่ายที่เกิดขึ้นจากราคาวัสดุกรอบอาคาร และค่าแรงในการก่อสร้าง ภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้ง และมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีผลการคำนวณดังต่อไปนี้

4.5.1 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา



กราฟที่ 4.15 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา

กราฟที่ 4.15 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว (WC10) 2) ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น (WC20) 3) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WC12) 4) ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14) 5) ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WC16)

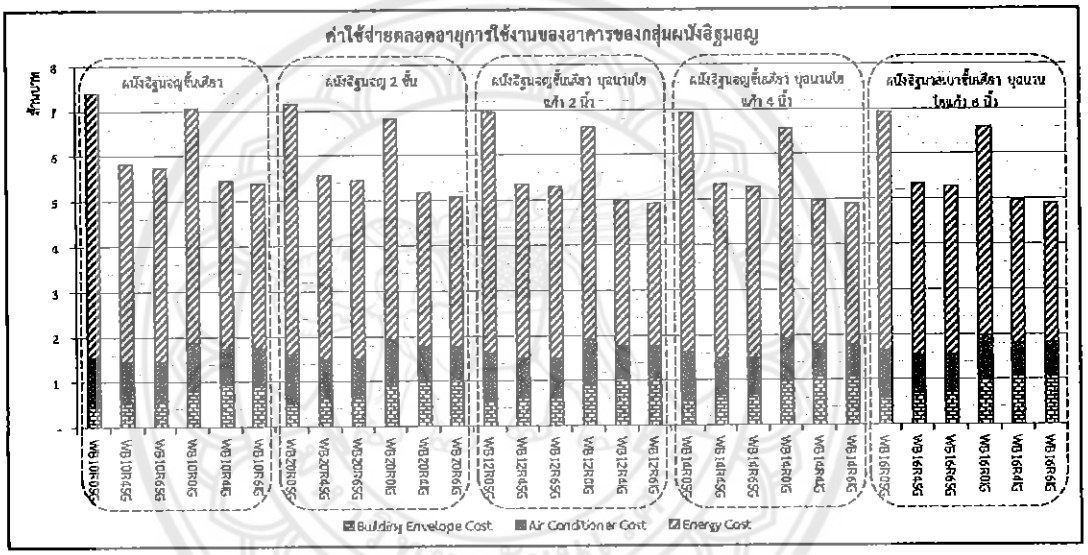
จากการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารส่วนใหญ่มาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานของระบบตลอดอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ โดย WC20, WC12, WC14 และ WC16 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารลดลง 127,022 บาท 169,883 บาท 171,389 บาท และ 163,214 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 2.2%, 3.0%, 3.0% และ 2.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WC10

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารลดลง -365,691 บาท คิดเป็น 6.4% เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 1,595,317 และ 1,666,925 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 23.6% และ 24.7% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสูงที่สุดคือ WC10R0SG คิดเป็นเงิน 7,058,501 บาท และต่ำที่สุดคือ WC14R6IG คิดเป็นเงิน 4,859,732 บาท โดยมีค่าแตกต่างกัน 31.2% เมื่อเทียบกับ WC10R0SG

4.5.2 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมอญ



กราฟที่ 4.16 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมอญ

กราฟที่ 4.16 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังอิฐมอญ โดยแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังอิฐมอญชั้นเดียว (WB10) 2) ผนังอิฐมอญ 2 ชั้น (WB20) 3) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WB12) 4) ผนังอิฐมอญเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WB14) 5) ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WB16)

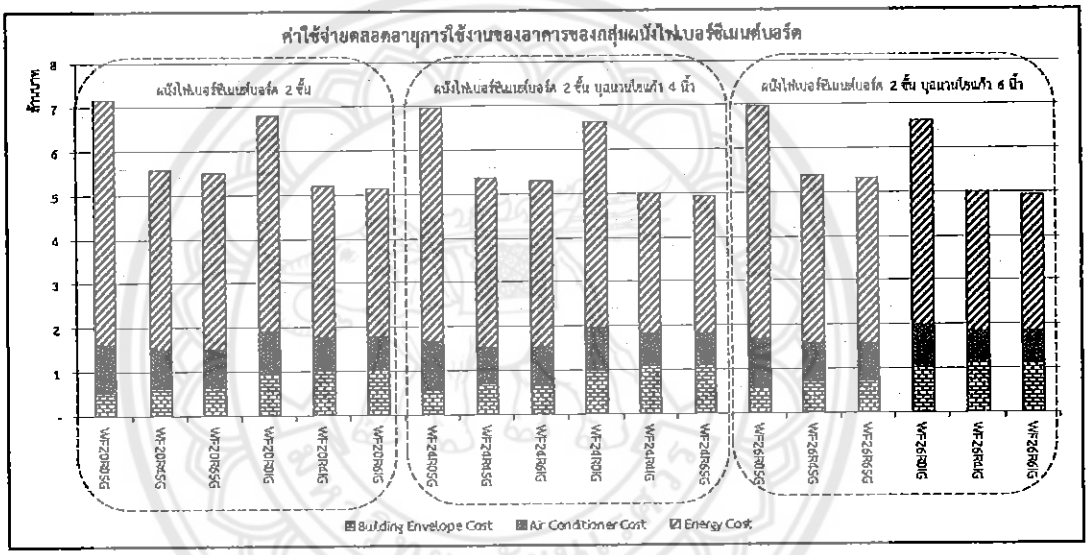
จากการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารส่วนใหญ่มาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานของระบบตลอดอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ โดย WB20, WB12, WB14 และ WB16 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารลดลง 271,364 บาท 452,172 บาท 480,986 บาท 475,954 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 4.5 %, 7.5%, 8.0% และ 7.9% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WB10

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารลดลง -363,567 บาท คิดเป็น 6.2% เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 1,594,964 และ 1,673,716 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 23.2% และ 24.3% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสูงที่สุดคือ WB10R0SG คิดเป็นเงิน 7,387,670 บาท และต่ำที่สุดคือ WB14R6IG คิดเป็นเงิน 4,885,453 บาท โดยมีค่าแตกต่างกัน 33.9% เมื่อเทียบกับ WB10R0SG

4.5.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด



กราฟที่ 4.17 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด

กราฟที่ 4.17 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามประเภทของผนัง ได้แก่ 1) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้น (WF20) 2) ผนังผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WF24) 3) ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 2 ชั้นบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WF26)

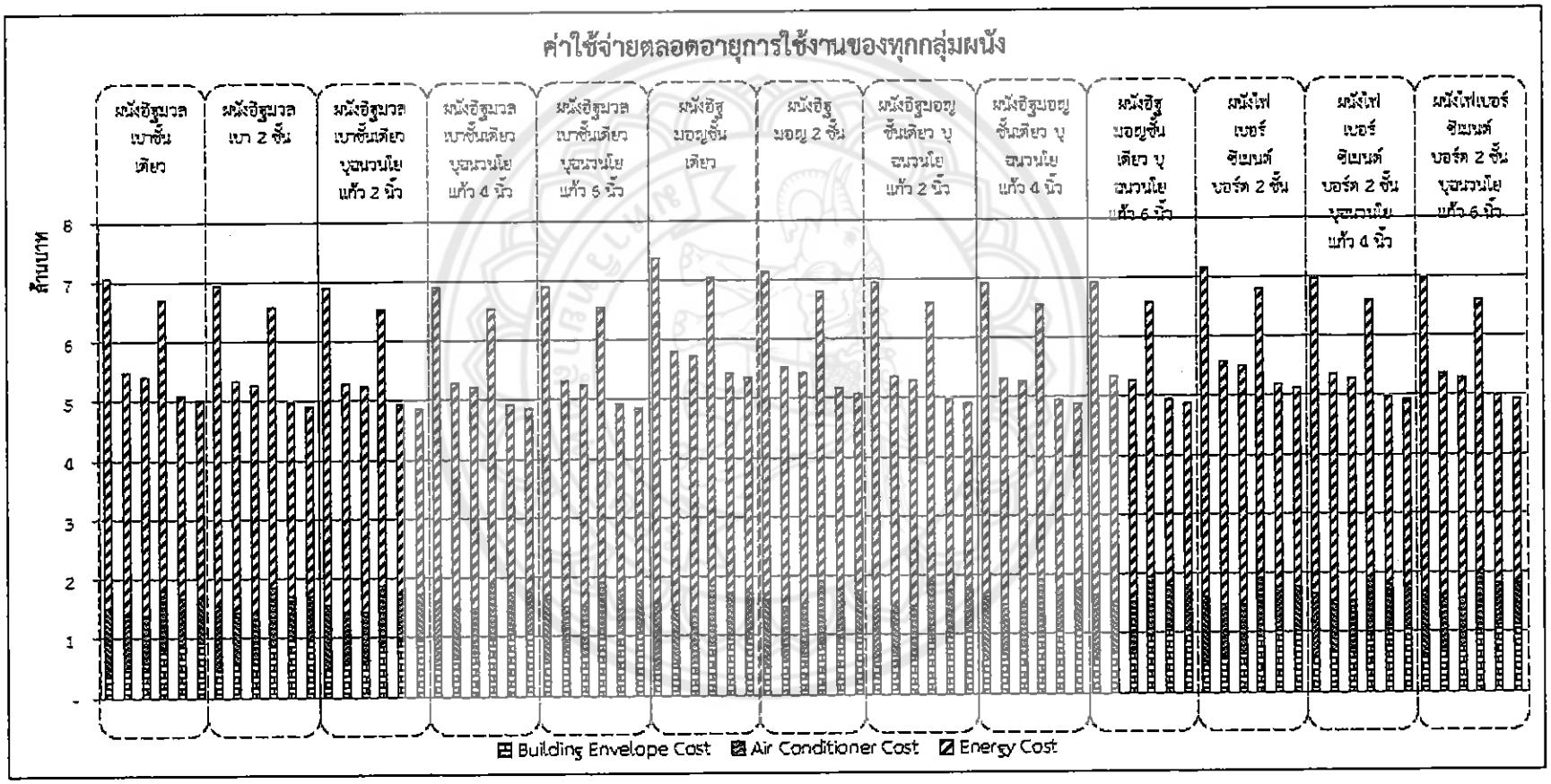
จากการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารส่วนใหญ่มาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี เนื่องจากเป็นค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานของระบบตลอดอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ โดย WF24 และ WF26 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารลดลง 205,328 และ 197,997 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 3.6% และ 3.4% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับ WF20

กรอบอาคารโปร่งแสงที่มีการใช้ IG จะมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารลดลง -365,091 บาท คิดเป็น 6.3% เมื่อเทียบกับ SG

กรอบอาคารส่วนที่เป็นหลังคา R4 และ R6 มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารแตกต่างกันไม่มากนัก ซึ่งมีค่าลดลง 1,602,227 และ 1,668,466 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 23.4% และ 24.4% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ R0

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสูงที่สุดคือ WF20R0SG คิดเป็นเงิน 7,155,894 บาท และต่ำที่สุดคือ WF24R6SG คิดเป็นเงิน 4,928,782 บาท โดยมีค่าแตกต่างกัน 31.1% เมื่อเทียบกับ WF20R0SG

4.5.4 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารของทุกกลุ่มผนัง



กราฟที่ 4.18 แสดงค่าใช้จ่ายตลอกอายุการใช้งานของอาคารทุกกลุ่มผนัง

กราฟที่ 4.18 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารทุกกลุ่มผนัง เรียงจากน้อยไปหามากคือ กลุ่มผนังอิฐมวลเบา กลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด และ กลุ่มผนังอิฐมอญ ตามลำดับ เนื่องจากกลุ่มผนังอิฐมวลเบามีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการติดตั้งต่ำที่สุด และมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมต่ำที่สุด ทำให้มีภาระการทำความเย็นและราคาพร้อมติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ต่ำที่สุด ส่งผลให้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีต่ำที่สุด เมื่อนำค่าใช้จ่ายทั้งหมดรวมกันโดยพิจารณา ณ เวลาปัจจุบันจะทำให้มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุด โดยกลุ่มผนังอิฐมวลเบามีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารต่ำกว่ากลุ่มผนังอิฐมอญและกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด 335,234 และ 224,203 บาท ตามลำดับ คิดเป็น 5.6% และ 3.9% ตามลำดับ

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีค่าต่ำที่สุด 5 ลำดับแรกคือ WC14R6IG, WC12R6IG, WC16R6IG, WB14R6IG และ WB16R6IG ตามลำดับ คิดเป็นเงิน 4,859,732 บาท 4,861,939 บาท 4,867,655 บาท 4,885,453 บาท และ 4,890,191 บาท ตามลำดับ ซึ่งกรอบอาคารที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่สูงที่สุดคือ WB10R0SG คิดเป็นเงิน 7,387,670 บาท

ซึ่งจากการศึกษาจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวนต่ำทำให้มีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างต่ำ จะทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารมีค่าสูง เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีค่าสูง เพราะภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าสูง แต่ถึงแม้การเพิ่มความเป็นฉนวนให้กับกรอบอาคาร จะทำให้ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างสูง กลับทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารมีค่าต่ำ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีค่าต่ำ เพราะภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าต่ำ

บทที่ 5

บทสรุป

ในการศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวรกรอบอาคาร ผลจากการวิเคราะห์สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง

ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าแปรผันตรงกับค่าความเป็นฉนวน [แปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U)] ของกรอบอาคาร

5.2 ภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak Cooling Load)

5.2.1 กรอบอาคารห้อง Co-Working Space มีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียว ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังสูง คือมีค่าเท่ากับ 1.40 ดังนั้นอาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่ลักษณะนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวน เพราะค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดจะถ่ายเทผ่านทางหลังคาของอาคาร

5.2.2 กรอบอาคารห้อง Creative Space มีลักษณะเป็นอาคารชั้นเดียว ซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังสูง คือมีค่าเท่ากับ 0.54 และ Window to wall ratio มีค่าสูง คือมีค่าเท่ากับ 0.61 ดังนั้นอาคารที่มีสัดส่วนพื้นที่ลักษณะนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคาด้วยการเพิ่มฉนวนและใช้ผนังโปร่งแสงที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงในด้านด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอาคาร เพราะค่าภารถ่ายเทความร้อนสูงสุดจะถ่ายเทผ่านทางหลังคาของอาคาร

5.3 ภาระการทำความเย็นและราคาพร้อมติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

การเพิ่มความเป็นฉนวนในกรอบอาคารทำให้ภาระการทำความเย็นลดลง แต่เมื่อมีการเพิ่มฉนวนมากขึ้นในระดับหนึ่ง อาจจะทำให้ภาระการทำความเย็นมีเปอร์เซ็นต์การลดลงที่น้อยมาก เนื่องจากฉนวนจะมีค่าความต้านทานความร้อนที่เหมาะสมอยู่ค่าหนึ่ง ดังนั้นในฐานะวิศวกรจะต้องพิจารณาความหนาและชนิดของฉนวนที่เหมาะสม เพื่อให้การลงทุนด้านวัสดุกรอบอาคารให้สอดคล้องกับภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

5.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี

มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีมีค่าแปรผันตรงตามภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศซึ่งมีค่าลดลงเมื่อกรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ซึ่งอาคาร Co-Working Space มีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังสูง การเพิ่มความเป็นฉนวนในหลังคาทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีลดลงมากที่สุด ส่วนอาคาร Creative Space มีสัดส่วนพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังค่อนข้างสูงและ Window to wall ratio มีค่าสูง การเพิ่มความเป็นฉนวนในหลังคาและใช้ผนังโปร่งแสงที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงในด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอาคาร จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปีลดลงมากที่สุด

5.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร

5.3.1 กรอบอาคารที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารสูงที่สุดคือ กรอบอาคารอิฐมอญชั้นเดียว หลังคาเมทัลชีทและใช้กระจกใสชั้นเดียว (WB10R0SG; 7,387,670 บาท) และกรอบอาคารที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารต่ำที่สุดคือ กรอบอาคารอิฐมวลเบาบุฉนวน 4 นิ้ว หลังคาเมทัลชีทบุฉนวน 6 นิ้ว และใช้กระจกฉนวน 2 ชั้น (WC14R6IG; 4,859,732 บาท)

5.3.2 กรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวนต่ำทำให้มีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างต่ำ จะทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารมีค่าสูง เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีค่าสูง เพราะภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าสูง แต่ถึงแม้การเพิ่มความเป็นฉนวนให้กับกรอบอาคาร จะทำให้ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างสูง กลับทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารมีค่าต่ำ เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี มีค่าต่ำ เพราะภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งมีค่าต่ำ

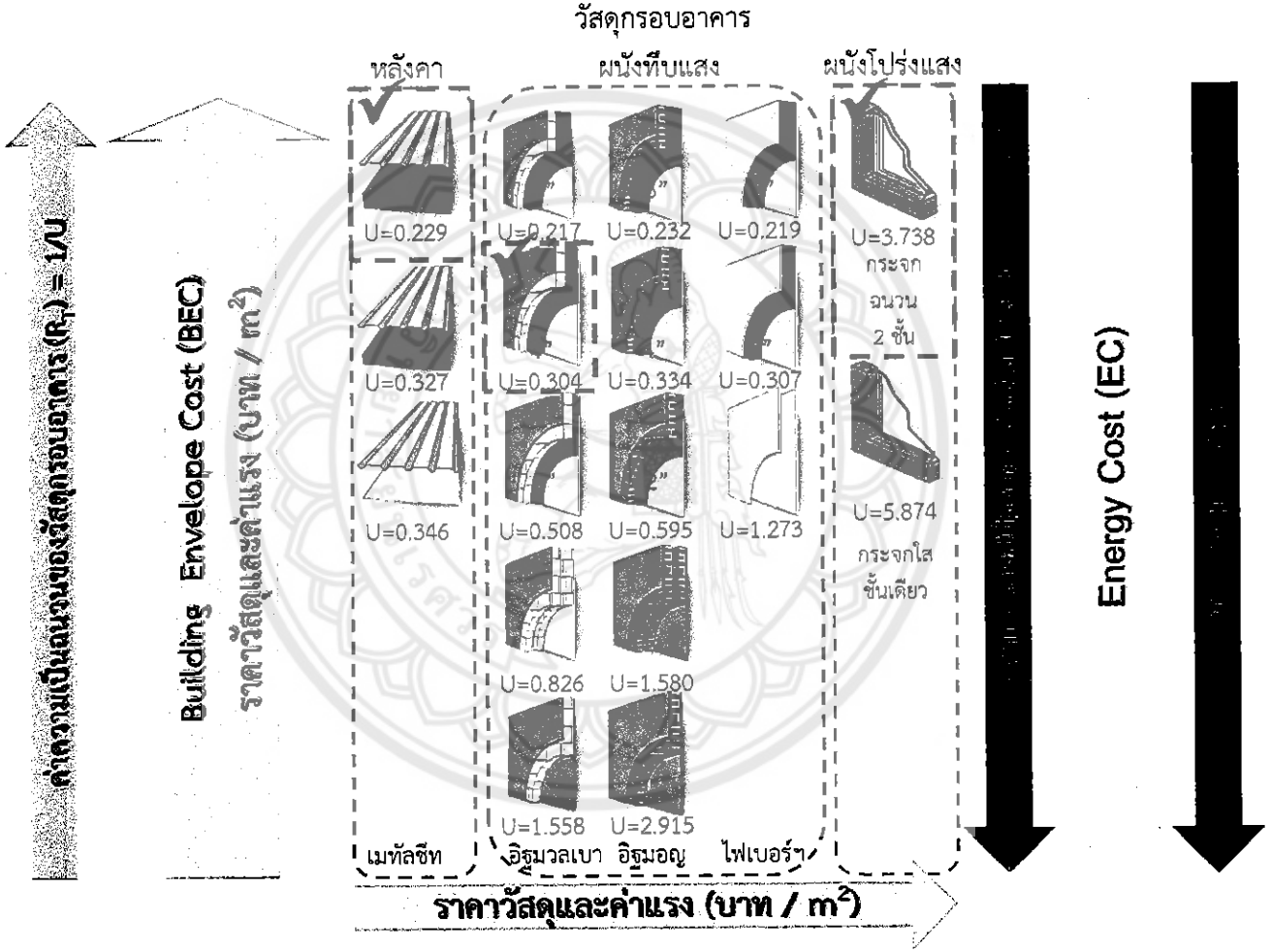
5.6 สรุปผลการศึกษาวัสดุกรออาคาร

จากรูปที่ 5.1 สรุปผลการศึกษาวัสดุกรอบอาคาร สามารถสรุปได้ว่า ผนังโปร่งแสงที่เลือกใช้กระจกฉนวน 2 ชั้น มีผลต่อราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมากที่สุด คิดเป็น 40-55% เพราะมีราคาวัสดุและค่าแรงต่อตารางเมตร (บาท/m^2) สูงที่สุด ส่วนวัสดุกรอบอาคารอื่นๆทั้งหลังคาและผนังทึบแสง ถ้ามีการเพิ่มชั้นของผนังหรือมีการเพิ่มความหนาของฉนวนใยแก้วจะทำให้ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างเพิ่มขึ้น โดยในส่วนของผนังทึบแสงกลุ่มผนังอิฐมวลเบา มีราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างต่ำที่สุด ถัดมาคือกลุ่มผนังอิฐมอญ และกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด ตามลำดับ

ในส่วนของค่าความเป็นฉนวนของวัสดุกรอบอาคารจะแปรผันตรงกับราคาวัสดุกรอบอาคาร และค่าแรงในการก่อสร้าง สังเกตได้จากรูปคือ เมื่อราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของวัสดุกรอบอาคารจะมีค่าลดลง

เมื่อกรอบอาคารมีค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งานจะมีค่าลดลง จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานลดลง ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่ากลุ่มผนังอิฐมวลเบา มีราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด ถัดมาคือกลุ่มผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดและกลุ่มผนังอิฐมอญ ตามลำดับ

วัสดุที่มีราคาแพงไม่ได้บ่งบอกว่าให้ค่าความเป็นฉนวนที่ดีที่สุด จากภาพกรอบอาคารที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด (เส้นประสีดำ) ไม่จำเป็นต้องติดตั้งฉนวนหนาถึง 6 นิ้ว และไม่จำเป็นต้องวัสดุที่มีราคาแพงอย่างผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด เพราะถึงแม้ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดจะมีทำให้งานก่อสร้างเป็นไปได้เร็ว แต่มีข้อเสียคือราคาแพงและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าใกล้เคียงกับผนังอิฐมวลเบา และในงานก่อสร้างจริงหากมีการนำมาใช้เป็นผนังภายนอกและมีการอุดรอยต่อไม่ดี อาจจะทำให้ความชื้นแทรกซึมเข้าไปทำให้ฉนวนที่อยู่ภายในเกิดการเสื่อมสภาพได้



รูปที่ 5.1 สรุปผลการศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร

5.7 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้การลงทุนด้านราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีความคุ้มค่ามากที่สุด ควรพิจารณากรอบอาคารให้สอดคล้องกับตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางการวางแนวของอาคาร เช่นผนังอาคารด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นด้านที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุดหรือผนังด้านอื่นๆที่ได้รับแดดโดยตรงควรมีการเพิ่มฉนวนกันความร้อนให้กับผนัง และผนังด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นด้านที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์น้อยที่สุดหรือผนังด้านอื่นๆที่ไม่ได้รับแดดโดยตรงควรมีการลดฉนวนกันความร้อนของผนังลง

เอกสารอ้างอิง

[1] สุริยา ขุนพิลึก ณัฐพล รุ่นประแสง และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2558). การวิเคราะห์สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนวัสดุกรอบอาคาร สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ

[2] ยุทธนา ทองท้วม และ รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. (2557). อิทธิพลของวัสดุเปลือกอาคารและสัดส่วนพื้นที่ปรับอากาศต่อการประหยัดพลังงานของบ้านพักอาศัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] มัลลิกา ปู่เพ็ชร์ และ เจนจิรา ขุนทอง. (2559) การศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรวิชัย

[4] กระทรวงพลังงาน. (2552). หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร

[5] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา. (2558). บทที่ 4 การคำนวณภาระการทำความเย็นและการวิเคราะห์ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด. (พิมพ์ครั้งที่ 1)

[6] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา. (2558). การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า. (พิมพ์ครั้งที่ 1).

[7] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา. (2558). ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานอย่างง่าย. (พิมพ์ครั้งที่ 1). แหล่งที่มาhttp://www.acat.or.th/.../acat_or_th/journal-7/07%20-%2013.pdf

[8] บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์สำนักมาตรฐานงบประมาณ พ.ศ.2559, แหล่งที่มา http://www.bb.go.th/bbweb/?page_id=7154, ทำการศึกษาข้อมูล ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2560

[9] บัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงานของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2558, แหล่งที่มา http://www.price.moc.go.th/default5.aspx, ข้อมูล ณ วันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2560

[10]เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเบอร์พ.ศ. 2558, ข้อมูล ณ วันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560

[11] ASHRAE Fundamental. American Society of Heating, refrigerating and Air Conditioning Engineers. 2000

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าคงที่ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแบบจำลองกรอบอาคาร

ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุก่อสร้างกรอบอาคาร

กรอบอาคาร	วัสดุ	Thickness (mm)	k (W/m-K)	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg-K)	SC	SHGC
ผนังทึบแสง	อิฐมอญ	65.0	0.47	1,600.0	0.79	-	-
	อิฐมวลเบา	75.0	0.18	620.0	0.84	-	-
	ไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด	12.0	0.05	264.0	1.30	-	-
	ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	50.0	0.04	16.0	0.96	-	-
	ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	100.0	0.04	16.0	0.96	-	-
	ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	150.0	0.04	16.0	0.96	-	-
	ยิปซั่มบอร์ด	12.0	0.28	800.0	1.09	-	-
	ปูนฉาบ	15.0	0.72	1,860.0	0.82	-	-
หลังคา	หลังคาเมทัลชีท	0.5	47.60	-	-	-	-
	ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	100.0	0.04	16.0	0.96	-	-
	ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	150.0	0.04	16.0	0.96	-	-
	ยิปซั่มบอร์ด	9.0	0.28	800.0	1.09	-	-
ผนังโปร่งแสง	กระจกใส	6.0	0.96	2,500.0	0.88	0.39	0.73
	กระจกฉนวน 2 ชั้น	18.0	0.96	-	0.88	0.35	0.60

ตารางที่ ก.2 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m^2-K/W)	
	ที่ผิวผนังด้านใน (R_i)	ที่ผิวผนังด้านนอก (R_o)
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.12	0.044
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.299	-

ตารางที่ ก.3 ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศสำหรับหลังคา

ชนิดของผิววัสดุที่ทำหลังคา	ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศ (m^2-K/W)				
	ที่ผิวหลังคาด้านใน (R_i)				ที่ผิวผนังด้านนอก (R_o) ที่มุม
	0 องศา	22.5 องศา	45 องศา	60 องศา	
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.162	0.148	0.133	0.126	0.055
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.801	0.595	0.391	0.249	

ตารางที่ ก.4 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศตามความหนาของช่องว่างอากาศ (m^2-K/W)		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.16
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

ตารางที่ ก.5 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นกระจกหรือผนังโปร่งแสง

ความหนาของช่องว่างอากาศ (mm)	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ (m^2-K/W)	
	พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ
13	0.119	0.345
10	0.11	0.278
7	0.097	0.208
6	0.091	0.196
5	0.084	0.167

ตารางที่ ก.6 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในหลังคาอาคาร

ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำผิวหลังคาด้านนอก		ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่าง		
		5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวหลังค่ามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0 องศา	0.11	0.148	0.174
	22.5 องศา	0.11	0.148	0.165
	45 องศา	0.11	0.148	0.158
กรณีที่พื้นผิวหลังคามีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ				
ความลาดเอียงจากพื้นผิวแนวระนาบ	0 องศา	0.25	0.572	1.423
	22.5 องศา	0.25	0.571	1.095
	45 องศา	0.25	0.57	0.768

ภาคผนวก ข

ภาระการทำความเย็น ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง

กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

หน้า ๕
เล่ม ๑๒๖ ตอนที่ ๑๒ ก ราชกิจจานุเบกษา ๒๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๒

กฎกระทรวง

กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

พ.ศ. ๒๕๕๒

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ วรรคสอง และมาตรา ๑๙ แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๘ ประกอบกับมาตรา ๓๑ มาตรา ๔๑ และมาตรา ๔๓ ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย บัญญัติให้กระทำได้โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมาย รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงานโดยคำแนะนำของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติออกกฎกระทรวงไว้ ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ ๒
ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

ข้อ ๔ การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ

(๑) การใช้ไฟฟ้าส่องสว่างภายในอาคาร ต้องให้ได้ระดับความส่องสว่างสำหรับงานแต่ละประเภทอย่างเพียงพอ และเป็นไปตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารหรือกฎหมายเฉพาะว่าด้วยการนั้นกำหนด

(๒) อุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับใช้ส่องสว่างภายในอาคารต้องใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละประเภทของอาคารมีค่าไม่เกินดังต่อไปนี้

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัตต์ต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	๑๔
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถาบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมชน	๑๘
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	๑๒

ตารางที่ ข.1 จำนวนผู้ใช้บริการและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในแต่ละห้อง

ห้อง	จำนวน ผู้ใช้บริการ (คน)	อุปกรณ์อำนวยความสะดวก (Equipment)		
		อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (W)	จำนวน
Living Room	50	เครื่องบดกาแฟ	3,000	1
		โทรทัศน์	163	1
MDB	1	ตู้คอนโทรลระบบไฟฟ้า	1,000	1
Control / CCTV	1	คอมพิวเตอร์	500	1
		จอ LCD	330	1
Server Computer	1	คอมพิวเตอร์	500	1
		จอ LCD	330	1
		ตู้ Server	530	1
โถงต้อนรับ	10	-		
Co-Working	50	คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค	65	50

ตารางที่ ข.2 สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient; SC)

Type of glass	Thickness of glass, in.	Solar transmittance		Glass	Venetian blinds		Roller shade		Draperies	
					Med.*	Light†	Opaque, white	Translucent	Med.‡	Light§
Clear	$\frac{1}{32}$	0.87 to 0.79			0.74	0.67	0.39	0.44	0.62	0.52
Heat-absorbing	$\frac{3}{16}$ or $\frac{1}{4}$	0.46			0.57	0.53	0.30	0.36	0.46	0.41
	$\frac{3}{8}$	0.34			0.54	0.52	0.28	0.32		
		0.24			0.42	0.40	0.28	0.31	0.38	0.36
Reflective-coated				0.30	0.25	0.23				
				0.40	0.33	0.29				
				0.50	0.42	0.38				
Insulating glass		Outer	Inner							
Clear out	$\frac{1}{32}$, or $\frac{1}{8}$	0.87	0.87		0.62	0.58	0.35	0.40		
Clear in										
Heat-absorbing out	$\frac{1}{4}$	0.46	0.80		0.39	0.36	0.22	0.30		
Clear in										
Reflective glass				0.20	0.19	0.18				
				0.30	0.27	0.26				
				0.40	0.34	0.33				

ตารางที่ ข.3 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar heat gain factor; SHGF) (Btu/hr-ft2)

16°N Latitude.										
	N	NNE/ NNW	NE/N W	ENE/ WNW	E/W	ESE/ WSW	SE/S W	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	215	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
Sep.	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 ข.4 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces, (Btu/hr)

Degree of activity	Typical appication	Total heat for adult, male	Total heat adjusted	Sensible heat	Latent heat
Seated at rest	Theater, movie	390	330	225	105
Seated, very light work writing	Offices, hotels, apartments	450	400	245	115
Seated, eating	Restaurant	490	550	275	105
Standing, light work or walking slowly	Reetail store, bank	550	450	250	200
Light bench work	Factory	200	750	330	420
Walking, 3 mi/h, light machine work	Factory	1,000	1,000	375	105
Bowling	Bowling	1,500	1,450	580	800
Moderate dancing	Dance hall	900	850	305	545
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	1,600	1,600	635	965
heavy work, athletics	Gymnasium	2,000	1,800	710	1090

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group A wall

North latitude wall facing	Solar time, h																							
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
	Group A wall																							
N	14	14	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	14	14
NE	19	19	19	18	17	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	18	18	19	19	20	20	20	20
E	24	24	23	23	22	21	20	19	19	18	19	19	20	21	22	23	24	24	25	25	25	25	25	25
SE	24	23	23	22	21	20	20	19	18	18	18	18	18	19	20	21	22	23	23	24	24	24	24	24
S	20	20	19	19	18	18	17	16	16	15	14	14	14	14	14	15	16	17	18	19	19	20	20	20
SW	25	25	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	17	17	17	17	18	19	20	22	23	24	25	25
W	27	27	26	26	25	24	24	23	22	21	20	19	19	18	18	18	18	19	20	22	23	25	26	26
NW	21	21	21	20	20	19	19	18	17	16	16	15	15	14	14	14	15	15	16	17	18	19	20	21

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group D wall

North latitude wall facing	Solar time, h																							
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
	Group D wall																							
N	15	13	12	10	9	7	6	6	6	6	6	7	8	10	12	13	15	17	18	19	19	19	28	16
NE	17	15	13	11	10	8	7	8	10	14	17	20	22	23	23	24	24	25	25	24	23	22	20	18
E	19	17	15	13	11	9	8	9	12	17	22	27	30	32	33	33	32	32	31	30	28	26	24	22
SE	20	17	15	13	11	10	8	8	10	13	17	22	26	29	31	32	32	32	31	30	28	26	24	22
S	19	17	15	13	11	9	8	7	6	6	7	9	12	16	20	24	27	29	29	29	27	26	24	22
SW	28	25	22	19	16	14	12	10	9	8	8	8	10	12	16	21	27	32	36	38	38	37	34	31
W	31	27	24	21	18	15	13	11	10	9	9	9	10	11	14	18	24	30	36	40	41	40	38	34
NW	25	22	19	17	14	12	10	9	8	7	7	8	9	10	12	14	18	22	27	31	32	32	30	27

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group E wall

North latitude wall facing	Solar time, h																						
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
	Group E wall																							
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
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
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
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
S	15	12	10	8	7	5	5	3	4	5	9	13	19	24	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17
SW	22	18	15	12	10	8	8	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26
W	15	21	17	14	11	9	9	6	6	6	7	9	11	14	20	27	38	43	49	49	45	40	34	29
NW	20	17	14	11	9	7	7	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group G wall

North latitude wall facing	Solar time, h																						
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
	Group G wall																							
N	3	2	1	0	-1	2	7	8	9	12	15	18	21	23	24	24	25	26	22	15	11	9	7	5
NE	3	2	1	0	-1	9	27	36	39	35	30	26	26	27	27	26	25	22	18	14	11	9	7	5
E	4	2	1	0	-1	11	31	47	54	55	50	40	33	31	30	29	27	24	19	15	12	10	8	6
SE	4	2	1	0	-1	5	18	32	42	49	51	48	42	36	32	30	27	24	19	15	12	10	8	6
S	4	2	1	0	-1	0	1	5	12	22	31	39	45	46	43	37	31	25	20	15	12	10	8	5
SW	5	4	3	1	0	0	2	5	8	12	16	26	38	50	5	63	61	52	37	24	17	13	10	8
W	6	5	3	2	1	1	2	5	8	11	15	19	27	41	56	67	72	67	48	29	20	15	11	8
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

ตารางที่ ข.9 Cooling Load Temperate Difference (CLTD) (ของผนังโปร่งแสง)

CLF			
NE	SE	NW	SW
0.03	0.03	0.05	0.05
0.02	0.03	0.04	0.05
0.02	0.02	0.04	0.04
0.02	0.02	0.03	0.04
0.02	0.02	0.03	0.03
0.56	0.3	0.07	0.07
0.76	0.57	0.11	0.11
0.74	0.74	0.14	0.14
0.58	0.81	0.17	0.16
0.37	0.68	0.2	0.19
0.29	0.68	0.2	0.22
0.27	0.49	0.21	0.38
0.26	0.33	0.22	0.59
0.24	0.28	0.3	0.75
0.22	0.25	0.52	0.83
0.20	0.22	0.73	0.81
0.16	0.18	0.82	0.69
0.12	0.13	0.69	0.45
0.06	0.08	0.16	0.16
0.05	0.07	0.12	0.12
0.04	0.06	0.1	0.1
0.04	0.05	0.08	0.09
0.03	0.04	0.07	0.07
0.03	0.04	0.06	0.06

ตารางที่ ข.10 ตัวประกอบภาระการทำความเย็น (Cooling load factor; CLF) (ของผนังทึบและหลังคา)

CLF			
Solar Time,h	CLTD, °F	Solar Time,h	CLTD, °F
01:00	1	13:00	12
02:00	0	14:00	13
03:00	-1	15:00	14
04:00	-2	16:00	14
05:00	-2	17:00	13
06:00	-2	18:00	12
07:00	-2	19:00	10
08:00	0	20:00	8
09:00	2	21:00	6
10:00	4	22:00	4
11:00	7	23:00	3
12:00	9	24:00	2

ภาคผนวก ค
ราคาวัสดุกรอบอาคารค่าแรงในการก่อสร้าง

ตารางที่ ค.1 ราคาและค่าแรงของวัสดุก่อสร้างกรอบอาคาร

กรอบอาคาร	วัสดุ	Thickness (mm)	หน่วย	บาท/หน่วย	
				ค่าวัสดุ	ค่าแรง
ผนังทึบแสง	ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่น	65	ตร.ม.	245	89
	ผนังก่ออิฐมวลเบา	75	ตร.ม.	200	55
	ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด โครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสี สองด้าน	12	ตร.ม.	820	182
	ผนังยิปซัมบอร์ดโครงคร่าว เหล็กชุบสังกะสี ด้านเดียว	12	ตร.ม.	300	97
	ผนังฉาบปูนเรียบผนังภายนอก	15	ตร.ม.	58	100
	ผนังฉาบปูนเรียบผนังภายใน	15	ตร.ม.	58	100
	ผนังบุฉนวนใยแก้วหนา 2"	50	ตร.ม.	67	50
	ผนังบุฉนวนใยแก้วหนา 4"	100	ตร.ม.	118	50
	ผนังบุฉนวนใยแก้วหนา 6"	150	ตร.ม.	169	50
หลังคา	หลังคา Metal Sheet	5	ตร.ม.	280	70
	ฝ้ายิปซั่มบอร์ดบนโครงคร่าว อลูมิเนียมทีบาร์	9	ตร.ม.	250	52
	ฉนวนใยแก้วหนา 4"	100	ตร.ม.	118	50
	ฉนวนใยแก้วหนา 6"	150	ตร.ม.	169	50
ผนังโปร่งแสง	กระจกใสชั้นเดียว	6	ตร.ม.	204	97
	กระจกฉนวน 2 ชั้น	18	ตร.ม.	2,250	194

ตารางที่ ค.2 พื้นที่ใช้สอยและพื้นที่กรอบอาคารภายนอกที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ

ห้อง	พื้นที่ (ตร.ม.)								
	ผนังภาย				กระจกภาย				พื้นที่ใช้สอยและหลังคา
	NE	SE	NW	SW	NE	SE	NW	SW	
Living Room	16	9	14	16	45		19	50	91
MDB	8	-	-	6	-	-	-	-	6
Control / CCTV	8	14	-	6	-	-	-	-	6
Server Computer	10	12	-	-	-	-	-	-	7
โถงต้อนรับ	7	-	13	4	7		16	7	33
Co-Working	66	-	-	34	14	-	-	28	199
รวม (ตร.ม.)				246				185	342

ภาคผนวก ง

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (SEER) เครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ชนิด Variable speed/Inverter เกณฑ์ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเบอร์ พ.ศ. 2558

ขนาดเครื่องปรับอากาศ	ประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล : SEER ขนาดเครื่องปรับอากาศ (บีทียู/ชั่วโมง/วัตต์)				
	เบอร์ 1	เบอร์ 2	เบอร์ 3	เบอร์ 4	เบอร์ 5
ไม่เกิน 8,000 วัตต์ (≤27,296 บีทียู/ชั่วโมง)	12.00	12.60	13.40	14.20	15.00
มากกว่า 8,000 - 12,000 วัตต์ (>27,296 - 40,944 บีทียู/ชั่วโมง)	11.00	11.70	12.40	13.20	14.00

ตารางที่ ง.2 อัตราค่าไฟฟ้าประจำปี พ.ศ. 2558

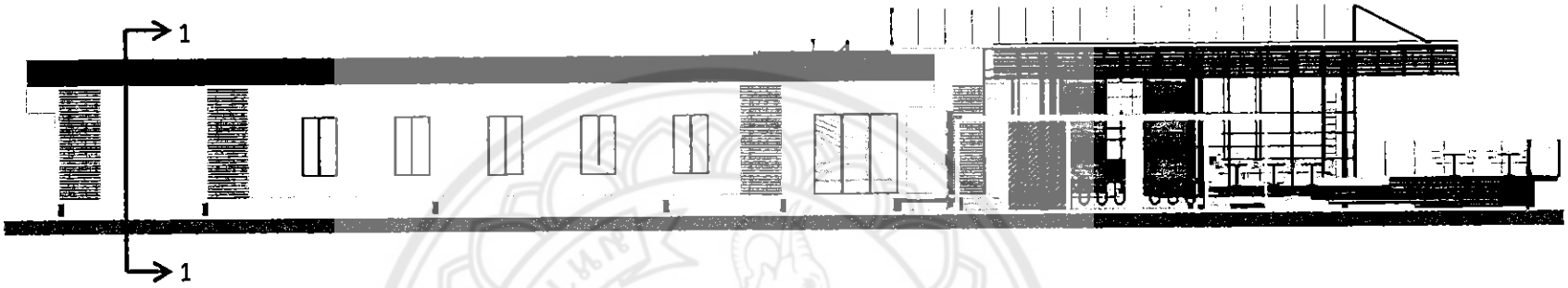
ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
หน่วยที่ 0 - 150	3.2484	38.22
หน่วยที่ 151 - 400	4.2218	
หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป	4.4217	

ตารางที่ ง.3 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดี (MRR) ของธนาคารพาณิชย์ที่จดทะเบียนในประเทศ ประจำวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560

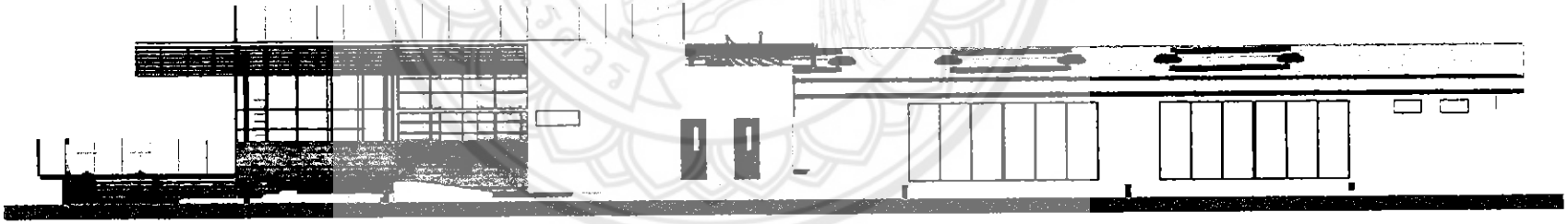
อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ ของธนาคารพาณิชย์ ประจำวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2560	
ธนาคาร	MRR
ธนาคารพาณิชย์จดทะเบียนในประเทศ	
กรุงเทพ	7.6250
กรุงไทย	7.6200
กสิกรไทย	7.6200
ไทยพาณิชย์	7.6200
กรุงศรีอยุธยา	7.7000
ทหารไทย	7.7750
ยูโอบี	7.9000
ซีไอเอ็มบี ไทย	7.9000
สแตนดาร์ดชาร์เตอร์ด (ไทย)	12.7500
ธนชาต	8.0000
ทิสโก้	8.3750
เมกะ สากลพาณิชย์	8.0000
เกียรตินาคิน	8.4000
แลนด์ แอนด์ เฮ้าส์	8.0000
ไอซีบีซี (ไทย)	8.1250
ไทยเครดิตเพื่อรายย่อย	9.1000
แห่งประเทศจีน(ไทย)	7.7500
ธนาคารเอเอ็นแซด (ไทย) จำกัด (มหาชน)	-
ซูมิโตโม มิตซุย ทรัสต์ (ไทย)	8.5000
เฉลี่ยของธนาคารพาณิชย์จดทะเบียนในประเทศ	8.2644

ภาคผนวก จ

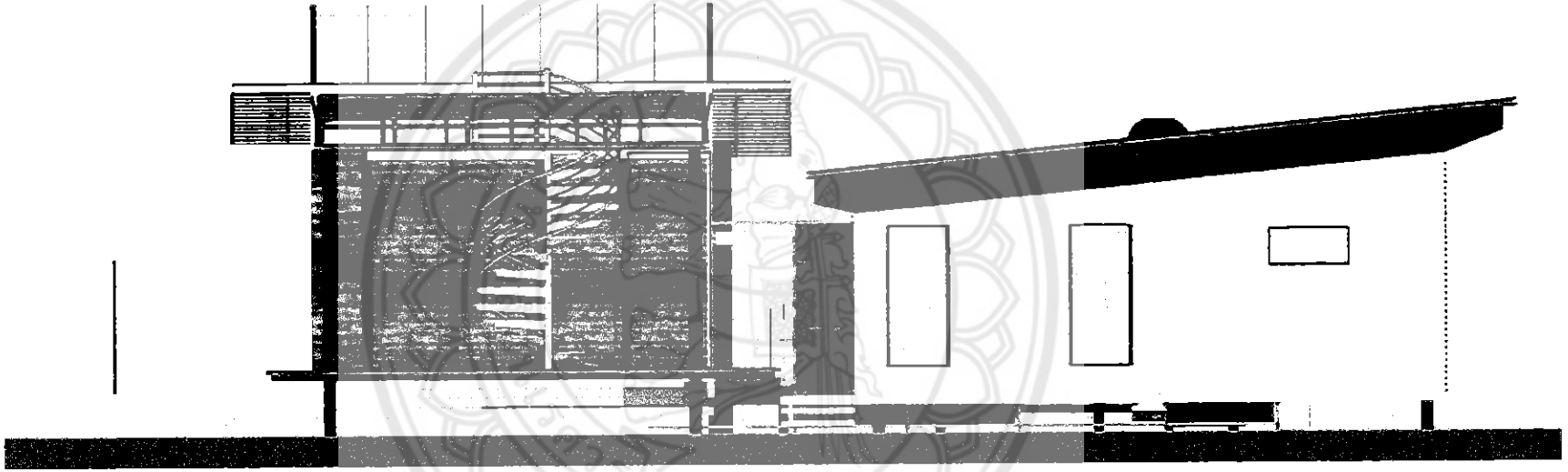
รูปด้านอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร



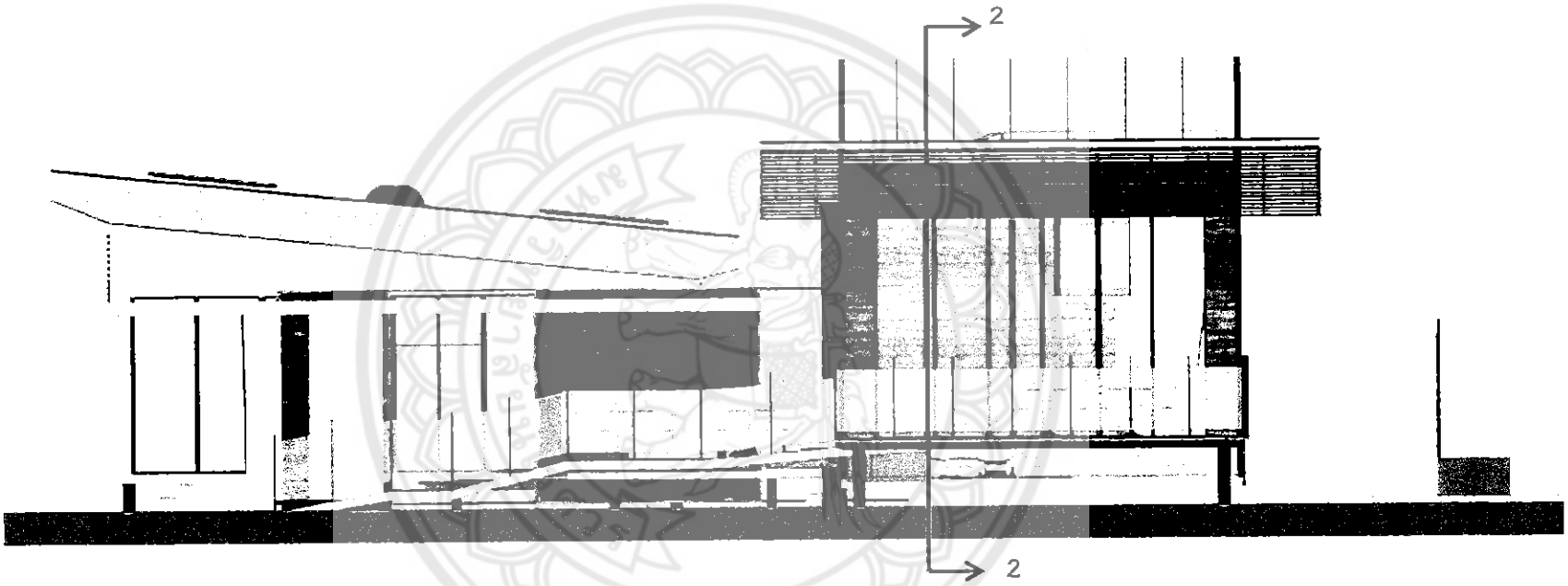
รูปที่ จ.1 รูปด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (ด้านหน้าอาคาร)



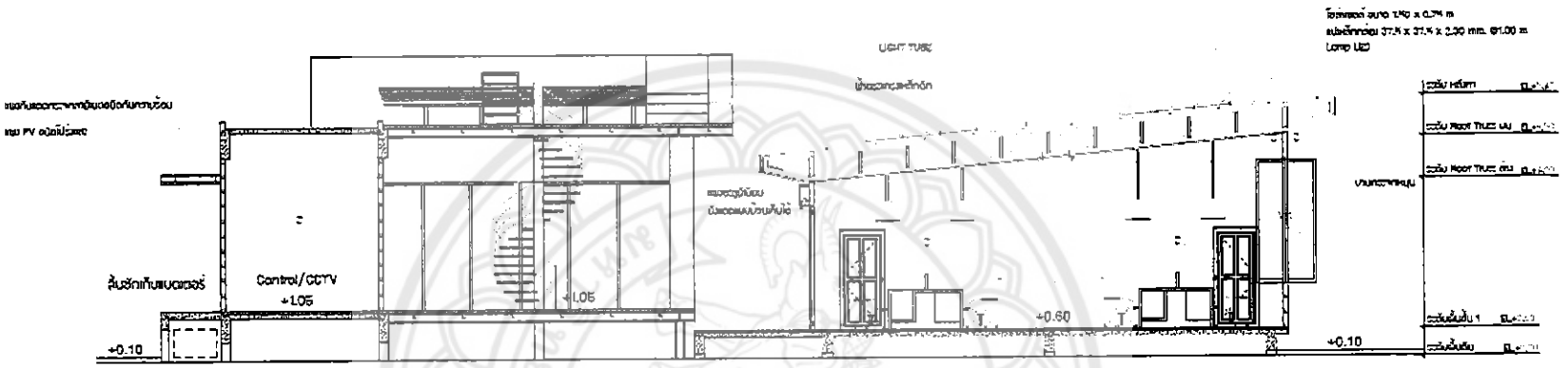
รูปที่ จ.2 รูปด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (ด้านหลังอาคาร)



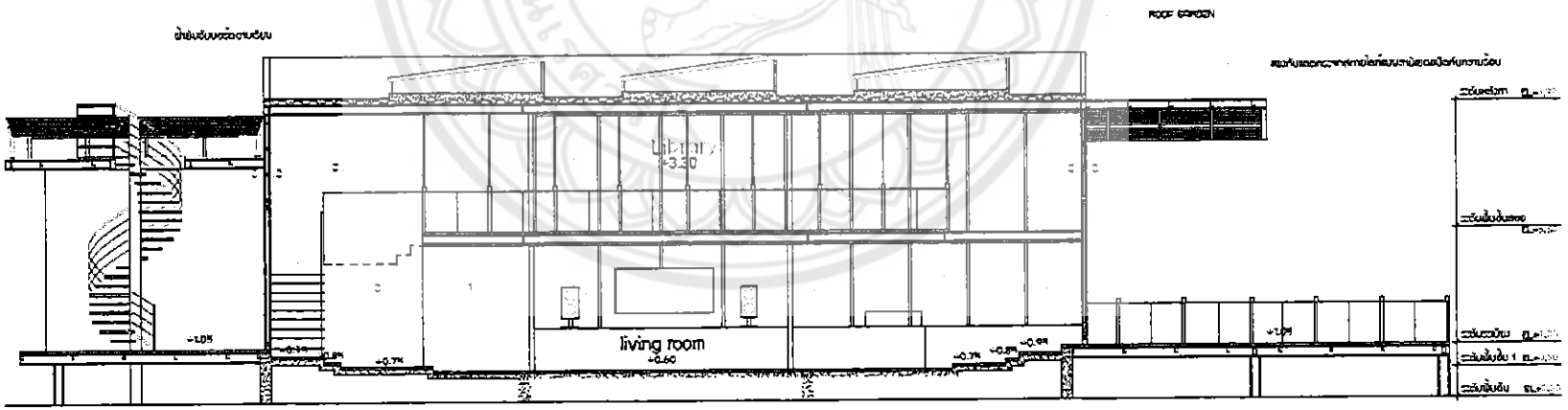
รูปที่ จ.3 รูปด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ จ.4 รูปด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ



รูปที่ จ.5 รูปตัด 1-1 ด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ จ.6 รูปตัด 2-2 ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ : นายนัฐวัฒน์ พิมพ์สารี
วัน เดือน ปีเกิด : 13 มิถุนายน 2537
ประวัติการศึกษา
ระดับประถมศึกษา : โรงเรียนบ้านโคกงาม อำเภอด่านซ้าย จังหวัดเลย
ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย อำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย
ปีที่สำเร็จการศึกษา : 2555

ชื่อ : นายศิริพงษ์ ชัยอาจ
วัน เดือน ปีเกิด : 10 กันยายน 2534
ประวัติการศึกษา
ระดับประถมศึกษา : โรงเรียนบ้านหัน อำเภอ ภูเวียง จังหวัด ขอนแก่น
ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนเวียงนครวิทยาคม อำเภอ ภูเวียง จังหวัด ขอนแก่น
ปีที่สำเร็จการศึกษา : 2551

ชื่อ : นางสาวไพลิน เถาวัลย์ดี
วัน เดือน ปีเกิด : 15 ธันวาคม 2537
ประวัติการศึกษา
ระดับประถมศึกษา : โรงเรียนห้วยผึ้ง อำเภอห้วยผึ้ง จังหวัดกาฬสินธุ์
ระดับมัธยมศึกษา : โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ศึกษาศาสตร์) ระดับมัธยม อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
ปีที่สำเร็จการศึกษา : 2555