วัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ

กรณีศึกษา จังหวัดพิษณุโลก

OPTIMUM EXTERIOR WALL MATERIALS FOR

AIR CONDITIONING CASE STUDY PHITSANULOK PROVINCE

นายภัทรพงษ์ วัฒนาจรัสแสง รหัส 57362354

นายวิชยุตม์ นาคประเสริฐ รหัส 57362477

นายศักดิ์ชัย เจริญศิลป์ รหัส 57362507

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	วัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ กรณีศึกษา จังหวัดพิษณุโลก
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายภัทรพงษ์ วัฒนาจรัสแสง รหัส 57362354
	นายวิชยุตม์ นาคประเสริฐ รหัส 57362477
	นายศักดิ์ชัย เจริญศิลป์ รหัส 57362507
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2560

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา)

.....กรรมการ
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์อุมาพร จันธิมา)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	วัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ กรณีศึกษา จังหวัดพิษณุโลก
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายภัทรพงษ์ วัฒนาจรัสแสง รหัส 57362354
	นายวิชยุตม์ นาคประเสริฐ รหัส 57362477
	นายศักดิ์ชัย เจริญศิลป์ รหัส 57362507
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ผนังภายนอกอาคารแต่ละด้านนั้นได้รับการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ดังนั้น โครงงานนี้จึงเป็นการศึกษาและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดสำหรับห้องปรับอากาศทั้ง 8 ทิศ พิจารณาเฉพาะวัสดุผนังภายนอกอาคารเท่านั้น แบ่งเป็นผนังทึบแสง 2 ชนิด ได้แก่ อิฐมอญและอิฐมวลเบา โดยพิจารณาผนังชั้นเดียวและผนังชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้วหนา 2, 4, 6 และ 8 นิ้ว ปิดทับด้วยยิปซัมบอร์ดรวมถึงผนังอิฐสองชั้น และผนังโปร่งแสง 3 ชนิดได้แก่ กระจกใสชั้นเดียว กระจกเขียวชั้นเดียว และกระจกฉนวน 2 ชั้น อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 – 80 ของแบบจำลองห้องปรับอากาศขนาด 6×8×3 ลูกบาศก์เมตร โดยกำหนดให้มีผนังภายนอกของแบบจำลองเพียงด้านเดียวเท่านั้นที่ได้รับการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง ผลจากการศึกษาเพื่อหาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด พบว่า อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 (ไม่มีผนังโปร่งแสง) ทุกทิศทาง ได้แก่ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20, 40 และ 80 ในทิศใต้ ตะวันตก ตะวันตกเฉียงใต้และตะวันตกเฉียงเหนือ ได้แก่ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วและกระจกเขียว ในส่วนของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 ในทิศเหนือ ตะวันออก ตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วและกระจกเขียว นอกจากนี้ยังได้แนะนำผู้ที่ต้องการเลือกใช้ผนังอิฐมวลเบาหรืออิฐมอญ โดยพิจารณาจากผนังโปร่งแสง 3 ชนิด ในทิศทางทั้ง 8 ทิศและทุกอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุด

Project title	Optimum Exterior Wall Materials for Air Conditioning Case Study Phitsanulok Province		
Name	Mr.Pattarapong	Wattanajarassang	ID. 57362354
	Mr.Witchayut	Narkprasert	ID. 57362477
	Mr.Sakchai	Charoensin	ID. 57362507
Project advisor	Assistant Professor Sitphan Kanla		
Department	Mechanical Engineering		
Academic year	2017		

Abstract

Exterior wall on each side, so the heat transfer is received from the sun differently. Therefore, the attention of this project is to study and compare the minimum life cycle cost for an air conditioning room in 8 different directions. Consider only exterior wall material, excluding roof, there are two types of opaque walls; brick wall and concrete wall by considering single wall and single wall fiberglass insulation thickness 2, 4, 6 and 8 inches covered with gypsum board including double wall and 3 types of translucent wall are single glass, green glass and insulated glass. A window to wall ratio (WWR) is about 0-80% of the air conditioning room model with the size of 6×8×3 m^3. The exterior wall will be designed to have only one side that receives the heat transferred directly from the sun. The result from analysis the minimum life cycle cost shows that the WWR is 0% (non-translucent) in all direction, using concrete wall is covered by 4-inch fiberglass insulation. The WWR are 20%, 40% and 80% in west, southwest and northwest using concrete wall is covered by 4-inch fiberglass insulation and green glass. The WWR is 60% in north, east, southeast and northeast using concrete wall that is covered by 2-inch fiberglass insulation and green glass. Also recommend anyone who want to use concrete wall and brick wall considering from 3 types of translucent wall in all directions and all WWR with the minimum life cycle cost.

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอขอบพระคุณ ดร. ภาณุ พุทธวงศ์ และ อาจารย์อุมาพร จันธิมา ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและแนะนำความรู้ต่างๆ เพื่อให้โครงงานนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณฝ่ายเลขานุการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงาน

ขอบพระคุณบิดาและมารดาที่ให้การอุปการะเลี้ยงดูและสั่งสอนจนกระทั่งสามารถเติบโตมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนช่วยอุปการะทางการเงินและคอยให้กำลังใจจนกระทั่งโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอมอบคุณงามความดีที่เกิดขึ้นจากโครงงานนี้ แด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการทำให้โครงงานนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถ้าเกิดข้อผิดพลาดประการใดจากโครงงานนี้ ผู้ดำเนินงานต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน

ภัทรพงษ์ วัฒนาจรัสแสง

วิชยุตม์ นาคประเสริฐ

ศักดิ์ชัย เจริญศิลป์

พฤษภาคม 2561

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก

บทคัดย่อ ..... ข

Abstract ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญรูปภาพ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 แผนการดำเนินงาน 7

1.5 วิธีการดำเนินงาน 8

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 9

1.7 งบประมาณ 9

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 10

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient) 13

2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient) 13

2.2.2 ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (R) 13

2.2.3 ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T) 14

2.2.4 สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient: SC) 16
2.2.5 สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Factor: SHGF). 16
2.2.6 ตัวประกอบภาระการทำความเย็น (Cooling load factor: CLF) 16
2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling load) 17
2.3.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบและหลังคา 17
2.3.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก 18
2.3.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง พื้น และเพดานภายใน 19
2.3.4 ภาระการปรับอากาศจากระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 19
2.3.5 ภาระการปรับอากาศจากผู้อยู่อาศัย 19
2.3.6 ภาระการปรับอากาศจากการระบายอากาศ 20
2.3.7 ภาระการปรับอากาศจากการรั่วซึมของอากาศ 20
2.3.8 ภาระการปรับอากาศจากอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและเครื่องใช้ไฟฟ้า 21
2.4 เศรษฐศาตร์ทางวิศวกรรม 21
2.4.1 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า 21
2.4.2 Uniform Series Payment 22
2.4.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร (Life Cycle Cost; LCC) 23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ 24
3.1 โครงการวัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ 24
3.2 สร้างแบบจำลองของผนังกรอบอาคาร 25
3.3 การออกแบบภาระการทำความเย็นสำหรับเลือกเครื่องปรับอากาศ 25
3.4 การคำนวณราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง 26
3.5 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน 27
3.6 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 27
บทที่ 4 การดำเนินงานและวิเคราะห์ผล 29

4.1 อัตราส่วนที่พื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 33
4.2 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 35
4.3 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 37
4.4 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 39
4.5 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 80 41
บทที่ 5 บทสรุป 42
5.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง 42
5.2 ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง 42
5.3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี 42
5.4 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน 43
5.5 สรุปผลการศึกษาวัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ 43
กรณีศึกษาจังหวัดพิษณุโลก 43
เอกสารอ้างอิง 49
ภาคผนวก 51
ภาคผนวก ก 52
ภาคผนวก ข 57
ภาคผนวก ค 64
ภาคผนวก ง 66
กราฟค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดของผนังภายนอกอาคารทุกทิศทางและอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง 66
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 105

สารบัญรูปภาพ

รูป **หน้า**

รูปที่ 1.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแขวน (CeilingType).....6

รูปที่ 2.1 แสดงสูตรการคำนวณภาระการทำความเย็นจากปัจจัยต่างๆ.....12

รูปที่ 2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจาก
วัสดุแตกต่างกัน n ชนิด.....15

รูปที่ 2.3 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งมีโครงสร้าง
ประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน.....15

รูปที่ 3.1 แบบจำลองห้องปรับอากาศ..... 25

รูปที่ 3.2 แผนภาพวิธีการดำเนินงานการศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการ
ตัดสินใจออกแบบกรอบอาคารที่ตั้งอยู่ในละติจูด 16 องศาเหนือ.....28

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
และราคาต่อตารางเมตร.....29

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
และภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ.....31

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 0%.....32

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 20%.....34

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 40%.....36

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 60%.....38

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 80%.....40

รูปที่ 5.4 โมเดลอาคารสำนักงานตัวอย่างที่หน้าบ้านหันไปทางด้านทิศเหนือ.....47

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

ตารางที่ 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา.....4

ตารางที่ 1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมอญ.....5

ตารางที่ 1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง.....6

ตารางที่ 5.1 วัสดุผนังภายนอกอาคารค่าที่มีใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดใน แต่ละทิศ.....44

ตารางที่ 5.2 ทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุของผนังอิฐมวลเบากับกระจกชนิดต่างๆ ในทิศทาง และอัตราพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่แตกต่างกัน.....45

ตารางที่ 5.3 ทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุของผนังอิฐมอญกับกระจกชนิดต่างๆ ในทิศทาง และอัตราพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่แตกต่างกัน.....46

ตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในทิศทางและอัตราพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่ แตกต่างกัน.....48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นใกล้เส้นศูนย์สูตร มีสภาพอากาศร้อนและอุณหภูมิมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุกปี วัสดุผนังภายนอกอาคารจึงเป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงและวัสดุผนังภายนอกอาคารยังรับความร้อนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับทิศทาง ภาระความร้อนที่ส่งผ่านวัสดุผนังภายนอกอาคารรวมกับภาระความร้อนในส่วนอื่นๆ ส่งผลทำให้จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อสร้างสภาวะสบายเชิงความร้อน (Thermal comfortable) ให้แก่ผู้อยู่อาศัยในอาคาร โดยภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศจะมาจากสองส่วนหลักๆ คือ ภาระความร้อนที่เกิดจากภายในอาคาร (Internal cooling load) เช่น คน เครื่องจักร อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ภายในอาคารและภาระความร้อนที่เกิดภายนอกอาคาร (External cooling load) เช่น ผนังทึบ ผนังโปร่งแสงได้แก่ กระจก เป็นต้น ซึ่งหากต้องการลดภาระความร้อนของเครื่องปรับอากาศก็จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีลดภาระความร้อนทั้งสองส่วนนี้ โดยเลือกใช้วัสดุผนังภายนอกอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient :U) ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วัสดุที่นำมาสร้างวัสดุผนังภายนอกอาคารนั้นส่วนใหญ่ยังไม่ได้คำนึงถึงตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางของอาคาร โดยวัสดุผนังภายนอกอาคารที่ดีควรจะสามารถป้องกันไม่ให้ความร้อนเข้ามาภายในตัวอาคาร เพื่อลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ซึ่งนำไปสู่การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ดังนั้น หากเลือกวัสดุผนังภายนอกอาคารให้เหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางตั้งแต่ต้นจะมีส่วนช่วยการลดพลังงานของอาคารเป็นอย่างมาก

ด้วยเหตุผลข้างต้นคณะผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะศึกษา วิเคราะห์เพื่อหาวัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางของอาคารในจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งตั้งอยู่ละติจูดที่ 16 องศาเหนือ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของวัสดุผนังภายนอกอาคารและเครื่องปรับอากาศ มีค่าต่ำที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

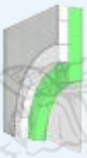
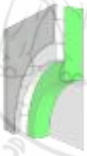
1. ศึกษาและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfercoefficient :U) และค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer :Q) ผ่านวัสดุผนังภายนอกอาคารทั้ง 8 ทิศสำหรับจังหวัดพิษณุโลก
2. เพื่อออกแบบวัสดุผนังภายนอกอาคารของห้องปรับอากาศที่เหมาะสมทั้ง 8 ทิศที่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost :LCC) มีค่าต่ำที่สุดสำหรับจังหวัดพิษณุโลก

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุผนังภายนอกอาคาร โดยศึกษาผนังทึบแสง 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มผนังอิฐมวลเบา กลุ่มผนังอิฐมอญ โดยกลุ่มผนังทั้ง 2 กลุ่มบุฉนวนใยแก้ว 2 , 4 , 6 และ 8 นิ้ว
2. ศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทึบ (Window to Wall Ratio:WWR) ตั้งแต่ค่า 0 – 0.8
3. ตำแหน่งทิศที่ตั้งของอาคารที่อยู่ในจังหวัดพิษณุโลกทั้ง 8 ทิศในละติจูดที่ 16 องศาเหนือ
4. คำนวณภาระทำความเย็นสูงสุด (Peak cooling load) โดยวิธีการคำนวณแบบ Cooling Load Temperature Difference (CLTD) / Cooling Load Factor (CLF) ตามมาตรฐานของสมาคม วิศวกรรมการทำความเย็น และระบบปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer, Inc. ;ASHRAE)
5. ราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง (Building Envelope Cost ;BEC) อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ.2560
6. อาการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ชนิดฝังฝ้า (Cassette Type) และชนิดแขวน (Ceiling Type) ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง(Air conditioner Cost ;AC) ตั้งเลือกวิธีการ Linear Regression อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์สำนักมาตรฐานงบประมาณ พ.ศ. 2560
7. มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้า (Energy Cost ;EC) ของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี

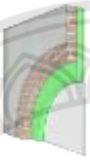
8. ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost ;LCC) พิจารณาเฉพาะราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง (BEC) ที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง (AC) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้า (EC) ของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี

ตาราง 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมวลเบา

ลำดับ	ชนิด	สัญลักษณ์	ภาพ	ลักษณะการติดตั้ง	ความหนา (m)	U (W/m^2-K)
1	ผนังอิฐมวลเบา	WC10		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ปูนฉาบ	0.015 0.075 0.015	1.608
2	ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น	WC20		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ช่องว่างอากาศ อิฐมวลเบา ปูนฉาบ	0.015 0.075 0.050 0.075 0.015	0.612
3	ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	WC12		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.075 0.050 0.012	0.545
4	ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	WC14		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.075 0.100 0.012	0.331
5	ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	WC16		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.075 0.150 0.012	0.237
6	ผนังอิฐมวลเบา บุฉนวนใยแก้ว 8 นิ้ว	WC18		ปูนฉาบ อิฐมวลเบา ฉนวนใยแก้ว 8 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.075 0.200 0.012	0.185

หมายเหตุ สัญลักษณ์เช่น WC12; WC = ผนังก่ออิฐมวลเบา (Concrete), 1 = ผนัง 1 ชั้น และ 2 = ฉนวนหนา 2 นิ้ว

ตาราง 1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกลุ่มผนังอิฐมอญ

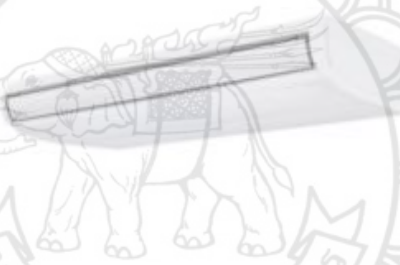
ลำดับ	ชนิด	สัญลักษณ์	ภาพ	ลักษณะการติดตั้ง	ความหนา (m)	U (W/m^2-K)
1	ผนังอิฐมอญ	WB10		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ปูนฉาบ	0.015 0.07 0.015	1.931
2	ผนังอิฐมอญ 2 ชั้น	WB20		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ช่องว่างอากาศ อิฐมอญครึ่งแผ่น ปูนฉาบ	0.015 0.07 0.050 0.07 0.015	0.912
3	ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	WB12		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.07 0.050 0.012	0.639
4	ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	WB14		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.07 0.100 0.012	0.363
5	ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว	WB16		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.07 0.150 0.012	0.253
6	ผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 8 นิ้ว	WB18		ปูนฉาบ อิฐมอญครึ่งแผ่น ฉนวนใยแก้ว 8 นิ้ว ยิปซั่มบอร์ด	0.015 0.07 0.200 0.012	0.195

หมายเหตุ สัญลักษณ์เช่น WB12; WB = ผนังก่ออิฐมอญ (Brick), 1 = ผนัง 1 ชั้น และ 2 = ฉนวนหนา 2 นิ้ว

ตารางที่ 1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังโปร่งแสง

ลำดับ	ชนิด	สัญลักษณ์	ภาพ	ลักษณะการติดตั้ง	ความหนา (m)	U (W/m^2-K)	SC
1	กระจกใส	SG		กระจกใส	0.006	1.035	0.94
2	กระจกฉนวน	IG		กระจกใส ช่องว่างอากาศ กระจกใส	0.006 0.012 0.006	0.498	0.82
3	กระจกเขียว	GG		กระจกเขียว	0.006	1.01	0.68

หมายเหตุ สัญลักษณ์ SG = Single Glass , IG = Insulated Glass , GG = Green Glass



รูปที่ 1.1 เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิดแขวน (Ceiling Type)

ที่มา : https://www.airconditioningworld.co.uk/global/media/products/large/1466077476-7939.jpg

1.4 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	2560				2561				
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีรวมถึงข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง									
2. ศึกษาตำแหน่งที่ตั้ง ทิศทางของอาคารและเลือกวัสดุผนังภายนอกอาคารที่มีตามท้องตลาด									
3. ศึกษาผนังทึบแสงและผนังโปร่งแสงและสร้างแบบจำลองของห้องปรับอากาศที่เป็นผนังในแต่ละชนิด									
4. คำนวณภาระทำความเย็นของห้องปรับอากาศและคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน									
5. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังภายนอกอาคารในแต่ละทิศทาง									
6. วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุด									
7. สรุปผลจัดทำเล่มปริญญานิพนธ์									

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน
2. พิจารณาวัสดุผนังภายนอกอาคารและอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (Window to wall ratio ;WWR)
3. เลือกวัสดุผนังภายนอกอาคารที่อยู่มีในท้องตลาด เช่น อิฐมวลเบา อิฐมอญกระจกใสชั้นเดียว และฉนวนใยแก้ว
4. ศึกษาผนังทึบแสง 2 กลุ่มได้กลุ่ม 1) กลุ่มผนังอิฐมวลเบา 6 ชนิด และ 2) กลุ่มผนังอิฐมอญ 6 ชนิด และผนังโปร่งแสงคือกระจกใสชั้นเดียว กระจกเขียว และกระจกฉนวน 2 ชั้น
5. การสร้างแบบจำลองห้องปรับอากาศโดยใช้ผนังแต่ละชนิดเป็นวัสดุผนังภายนอก
6. คำนวณภาระทำความเย็นสูงสุด (Peak Cooling Load) ของห้องปรับอากาศโดยคำนวณแบบ Cooling Load Temperature Difference (CLTD) / Cooling Load Factor (CLF) ตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมการทำความร้อน การทำความเย็นและระบบปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. ;ASHRAE)
7. คำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน ประกอบด้วย ค่าวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ค่าเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี
8. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของวัสดุผนังภายนอกอาคารในแต่ละทิศทาง
9. วิเคราะห์ผลค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุด
10. สรุปผลที่ได้และจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1. สามารถทราบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient :U) และค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer :Q) ของวัสดุผนังภายนอกอาคารแต่ละชนิดว่าแตกต่างกันอย่างไรทั้ง 8 ทิศสำหรับจังหวัดพิษณุโลก
2. สามารถเลือกใช้วัสดุผนังภายนอกอาคารของห้องปรับอากาศได้อย่างเหมาะสมในทิศทั้ง 8 ทิศที่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุอายุการใช้งาน (Life Cycle Cost :LCC) มีค่าต่ำที่สุดสำหรับจังหวัดพิษณุโลก
3. สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหรือปรับปรุงอาคารให้กับสถาปนิก วิศวกร หรือประชาชนทั่วไปในการตัดสินใจเลือกวัสดุผนังภายนอกอาคารให้สอดคล้องกับทิศทางเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศได้

1.7 งบประมาณ

1.	ค่าจัดทำรูปเล่ม	2,000	บาท
2.	ค่ากระดาษ	1,000	บาท
	รวมทั้งสิ้น	3,000	บาท

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

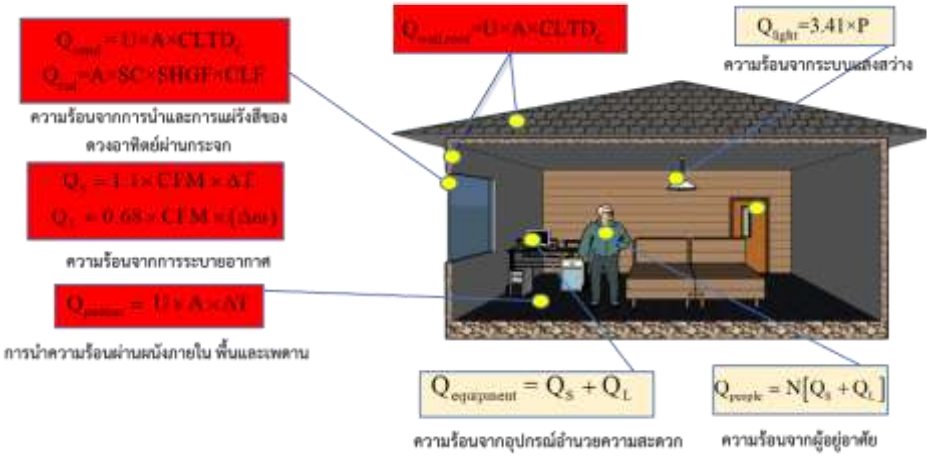
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นายนัฐวัฒน์ พิมพ์สารี และคณะได้ศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยศึกษาวัสดุกรอบอาคาร ได้แก่ ผนังอิฐมอญ ผนังอิฐมวลเบา ผนังไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด กระจก และหลังคาเมทัลชีท แต่ละกลุ่มผนังแยกเป็นผนังชั้นเดียว ผนังสองชั้น ผนังชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2,4,6 นิ้ว กระจกชั้นเดียว กระจกฉนวนสองชั้น หลังคาเมทัลชีท และหลังคาเมทัลชีทบุฉนวนใยแก้ว 2,6 นิ้ว มีห้องที่ศึกษา 2 ห้องได้แก่ 1) Creative Space มีพื้นที่ปรับอากาศ 96 m^2 มีค่า Window to wall ratio เท่ากับ 0.61 2) Working Space มีพื้นพี่ปรับอากาศ 300 m^2 มีค่า Window to wall ratio เท่ากับ 0.29 มีพื้นที่หลังคาต่อพื้นที่ผนังเท่ากับ 1.4 โดยค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะแบ่งเป็น ค่าเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง จากการศึกษา พบว่า กรอบอาคารอิฐมอญชั้นเดียว หลังคาเมทัลชีท และกระจกใสชั้นเดียว มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสูงสุดและกรอบอาคารอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว หลังคาเมทัลชีทบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว และใช้กระจกฉนวน 2 ชั้น มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธุดา พุฒิไพโรจน์ ได้ศึกษาการเปรียบเทียบพลังงานในการปรับอากาศระหว่างการใช้ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น โดยศึกษาห้องตัวอย่าง 2 ห้อง ขนาดเท่ากัน ห้องแรกก่อด้วยอิฐมวลเบาชั้นเดียว ห้องที่สองก่ออิฐมวลเบาสองชั้น มีช่องว่างอากาศ 5 ซม. ทดสอบเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเป็นเวลา 4 วัน ห้องที่ก่อผนังด้วยอิฐมวลเบาชั้นเดียวใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมง 0.210 kWh ห้องที่ก่อด้วยด้วยผนังอิฐมวลเบาสองชั้นใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมง 0.185 kWh จากผลการศึกษานี้จะแสดงให้เห็นว่าการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาสองชั้นสามารถให้ผลดีในด้านการประหยัดพลังงานได้มากกว่าการใช้คอนกรีตมวลเบาชั้นเดียว

มัลลิกา ปู่เพ็ชร์ และ เจนจิรา ขุนทอง ได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษาอาคารศึกษา โดยใช้อาคารเรียนรวมคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัยสงขลาเป็นอาคารที่ศึกษา มีพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ในโซนปรับอากาศเท่ากับ 0.256 ได้ใช้โปรแกรม BEC (Building Energy Code) ในการจำลองอาคาร จากการจำลองอาคาร ค่าพลังงานต่างๆผ่านตามเกณฑ์ทั้งหมดยกเว้นค่า Overall Thermal Transfer Value (OTTV) ซึ่งมีค่า 63.63 W/m^2 ต้องผ่านเกณฑ์ที่ 50 W/m^2 จึงมีมาตรการเปลี่ยนกรอบอาคารในส่วนของผนัง จากผนังอิฐมอญเป็นผนังอิฐมวลเบา จึงทำให้ค่า OTTV ลดลงเหลือ 48.56 W/m ก่อนปรับเปลี่ยนกรอบอาคารมีการใช้พลังงาน 587,041.07 kWh/year หลังการปรับเปลี่ยนมีการใช้พลังงานลดลง 37,116.34 kWh/year (6.32%) มีระยะคืนทุน 4.86 ปี

การคำนวณหาภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak Cooling Load) ของผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมกับทิศทั้ง 8 ทิศในจังหวัดพิษณุโลก ใช้การคำนวณแบบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นซึ่งเกิดจากกระจกและผนัง (Cooling Load Temperature Different :CLTD) และ ค่าตัวแปรภาระทางความเย็นของกระจก (Cooling Load Factor :CLF) ในส่วนของผนังทึบค่า CLTD สามารถบอกเวลาที่เกิดภาระการทำความเย็นสูงสุดได้ และค่าปรับแก้ละติจูด (Latitude mouth correction :LM) บอกเดือนที่ภาระการทำความเย็นสูงสุด และในส่วนของผนังโปร่งแสง CLF บอกเวลาที่ค่าภาระการทำความเย็นสูงสุด และค่าความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Factor :SHGF) บอกเดือนที่ภาระการทำความเย็นสูงสุด ในการคำนวณ CLTD และ CLF สามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แสดงสูตรการคำนวณภาระการทำความเย็นจากปัจจัยต่างๆ

จากรูปที่ 2.1 สูตรการคำนวณภาระการทำความเย็นจากปัจจัยต่างๆ จะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่เป็นกรอบสีแดงคือภาระการทำความเย็นที่มาจากภายนอก เช่น การนำความร้อนผ่านผนังทึบแสงหรือโปร่งแสง การแผ่รังสีความร้อนผ่านผนังโปร่งแสง ภาระการทำความเย็นที่เกิดการระบายอากาศ และการนำความร้อนผ่านผนังภายในซึ่งในการคำนวณภาระการทำความเย็นของโครงงานนี้จะไม่คิดในส่วนของการนำความร้อนผ่านผนังภายในโดยจะออกแบบให้วัสดุผนังภายในอาคารไม่มีการถ่ายเทความร้อนหรือติดกับห้องปรับอากาศนั่นเอง และการคำนวณภาระการทำความเย็นอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนที่เป็นกรอบสีเหลืองคือ ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากภายในห้องปรับอากาศ เช่นภาระการทำความเย็นที่เกิดจากคน แสงไฟฟ้า หรือความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆ ภายในห้อง โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 2.1

2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient)

2.2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall Heat Transfer Coefficient)

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 คือค่าความต้านทานความร้อนรวม

2.2.2 ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (R)

ค่าความต้านทานความร้อน [m^2-K/W] คือพื้นที่ผนังหรือพื้นที่หลังคาที่ทีผลต่างอุณหภูมิระหว่างพื้นที่ผิวทั้ง 2 ด้านเป็น 1 K เมื่อมีความร้อนถ่ายเทผ่าน 1 W ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุใดๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.2

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

เมื่อ Δx คือ ค่าความหนาของวัสดุ [m]

k คือ ค่าสัมประสิทธ์การนำความร้อนของวัสดุ [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

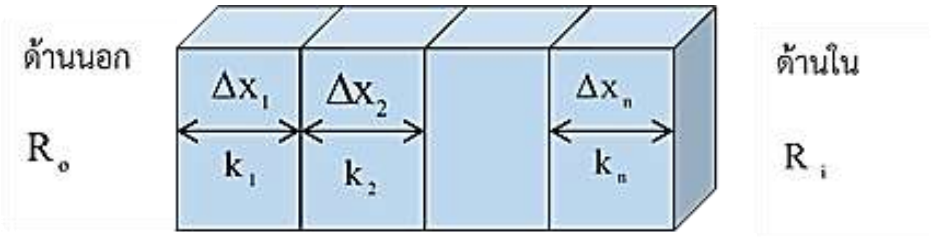
2. กรณีผนังและหลังคาอาคารประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T) ของส่วนใดๆ ของผนังและหลังคาอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน ให้คำนวณจากสมการดังนี้

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

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

$k_1, k_2, k_3, \ldots, k_n$ คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุแต่ละชนิดที่ประกอบเป็นผนังและหลังคาอาคาร [W/m^2-K]



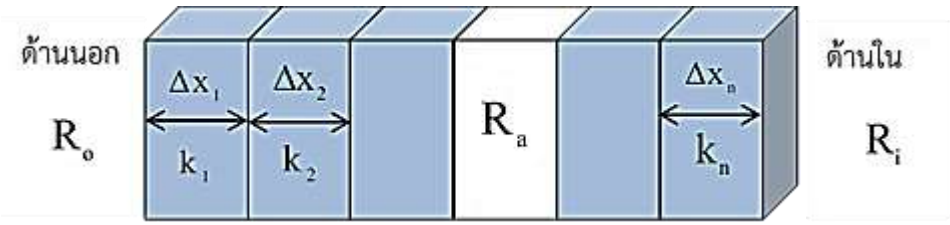
รูปที่ 2.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคารซึ่งมีโครงสร้างประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด

3. กรณีผนังและหลังคาอาคารมีช่องว่างอากาศอยู่ภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (R_T) ของส่วนใดๆ ของผนังและหลังคาอาคารซึ่งประกอบด้วยวัสดุ n ชนิดที่แตกต่างกัน และมีช่องว่างอากาศภายใน คำนวณจากสมการที่ 2.5

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

เมื่อ R_a คือ ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศภายในผนังและหลังคาอาคาร [m^2K/W]



รูปที่ 2.3 สภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งมีโครงสร้าประกอบขึ้นจากวัสดุแตกต่างกัน n ชนิด และมีช่องว่างอากาศภายใน

ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศและช่องว่างอากาศของพื้นผิวของผนังและหลังอาคารขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนของผนังและหลังคาอาคาร ซึ่งส่วนใหญ่ผนังและหลังคาอาคารทั่วไปถือว่าเป็นพื้นผิวที่มีค่าการสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง ยกเว้นกรณีที่ผนังและหลังคาคืออาคารถูกเคลือบผิว ถือว่าเป็นพื้นผิวที่มีค่าการสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ

2.2.4 สัมประสิทธิ์การบังแดด (Shading Coefficient: SC)

คือ ค่าแสดงการแผ่ความร้อนที่เกิดจากแสงอาทิตย์ที่สามารถผ่านกระจกเข้ามาในตัวอาคาร เมื่อเทียบกับกระจกใสหนา 3 มิลลิเมตรโดยมีค่าระหว่าง 0 - 1 ค่านี้ยิ่งน้อยยิ่งกันการแผ่ความร้อนได้ดี

2.2.5 สัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Heat Gain Factor: SHGF)

คือ ค่าอัตราของรังสีความร้อนที่ถูกส่งผ่านเข้ามาทางกระจก โดยจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 1 ค่า SHGC ของกระจกที่ต่ำจะทำให้การส่งผ่านความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาในบ้านมีค่าต่ำลงด้วย

2.2.6 ตัวประกอบภาระการทำความเย็น (Cooling load factor: CLF)

คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่นำไปคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ปรับอากาศให้มีความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากการอมความร้อนของวัสดุหรือโครงสร้างในพื้นที่ปรับอากาศ ทำให้พื้นที่ภายนอกกับภายในบริเวณปรับอากาศมีอุณหภูมิสูงสุดเหลื่อมเวลากัน ค่าตัวประกอบภาระการทำความเย็นขึ้นอยู่กับที่ตั้ง ทิศ และเวลา

2.3 การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling load)

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

2.3.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทึบและหลังคา

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

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

เมื่อ U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบและหลังคา [Btu/hr-ft^2- ºF]

A คือ พื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อนของผนังทึบและหลังคา [ft^2]

CLTD คือ ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบและหลังคา[ºF]

$CLTD_C$ คือ ค่าปรับแก้ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบและหลังคา [ºF]

LM คือ ค่าปรับแก้พิกัดที่ตั้งของอาคารตามละติจูด และเดือน

K คือ ค่าปรับเปลี่ยนสีของผนังและหลังคา โดย $K = 1$ เมื่อสีทึบ และ $K = 0.65$ เมื่อสีอ่อน

t_R คือ อุณหภูมิภายในห้อง [ºF]

t_a คือ อุณหภูมิภายนอก [ºF]

2.3.2 การถ่ายเทความร้อนผ่านกระจก

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

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

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 คือ ค่าปรับแก้ความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าของผนังทึบและหลังคา [°F]

SHGF คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ [Btu/hr-ft^2]

SC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดด (ของกระจก)

CLF คือ ค่าตัวประกอบการทำความเย็น

2.3.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง พื้น และเพดานภายใน

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

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]

Q_L คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนแฝงจากร่างกายผู้อาศัย (Latent heat gain) [Btu/hr-person)]

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 ภาระการปรับอากาศจากการรั่วซึมของอากาศ

$$Q = 4.5 \times CFM \times \Delta h \quad (2.16)$$

เมื่อ Q คือ ถาระการทำความเย็น [Btu/hr]

CFM คือ อัตราการรั่วซึมอากาศ [Btu/hr]

Δh คือ ระดับความร้อนรวม (Enthalpy) [Btu/lb]

2.3.8 ภาระการปรับอากาศจากอุปกรณ์อำนวยความสะดวกและเครื่องใช้ไฟฟ้า

$$Q_{equipment} = Q_S + Q_L \quad (2.17)$$

เมื่อ Q_S คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนสัมผัสจากอุปกรณ์ (Sensible heat gain) [Btu/hr]

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

2.4 เศรษฐศาตร์ทางวิศวกรรม

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)

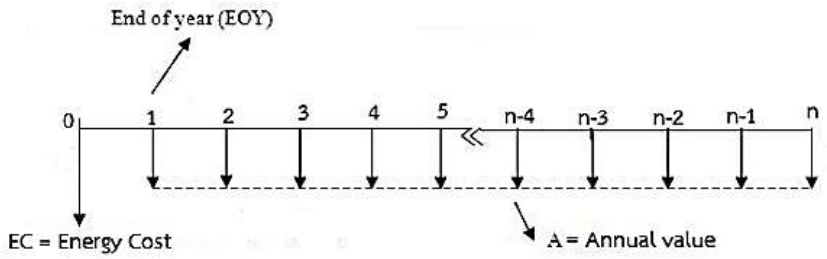
H คือ ชั่วโมงการใช้งานต่อวัน (hr/day)

D คือ วันในการใช้งานในระยะเวลาหนึ่งปี (day/year)

อัตราค่าไฟฟ้า คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (Baht/kWh)

2.4.2 Uniform Series Payment

Uniform Series Payment คือ การจ่ายหรือรับเงินเท่ากันทุกงวดเป็นเวลาต่อเนื่องกัน n ปีดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.1 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากันทุกปีในรูปของ Uniform Series Payment

ที่มา : http://nptel.ac.in/courses/105103023/4

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

เมื่อ EC คือ มูลค่าเงินปัจจุบัน (Baht) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน**ไฟฟ้าของเครื่องปรับ**อากาศที่ใช้ในการดำเนินงานของระบบตลอดอายุการ**ใช้งาน 15 ปี**

A คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่พิจารณาให้ค่าใช้จ่ายเท่ากันทุก**ปี** (Baht/year)

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

n **คือ อายุการใช้งาน (ในโครงการนี้เราพิจารณาเป็น 15ปี)** (year)

2.4.3 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร (Life Cycle Cost; LCC)

คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของวัสดุผนังภายนอกอาคาร โดยพิจารณาเฉพาะวัสดุผนังภายนอกอาคารที่ด้านในผนังมีการปรับอากาศ และด้านนอกของผนังติดกับอากาศภายนอก

(2.19)

$$LCC = BEC + AC + EC$$

เมื่อ

BEC (Building Envelope Cost) คือ ค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างวัสดุผนังภายนอกอาคาร อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงานของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2560

AC (Air conditioner Cost) คือ ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์สำนักมาตรฐานงบประมาณ พ.ศ. 2560

EC (Energy Cost) คือ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการดำเนินงานของระบบตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี อ้างอิงข้อมูลจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

โครงการวัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศกรณีศึกษาจังหวัดพิษณุโลกมีวิธีการดำเนินงานและกำหนดขอบเขตของการศึกษาดังต่อไปนี้

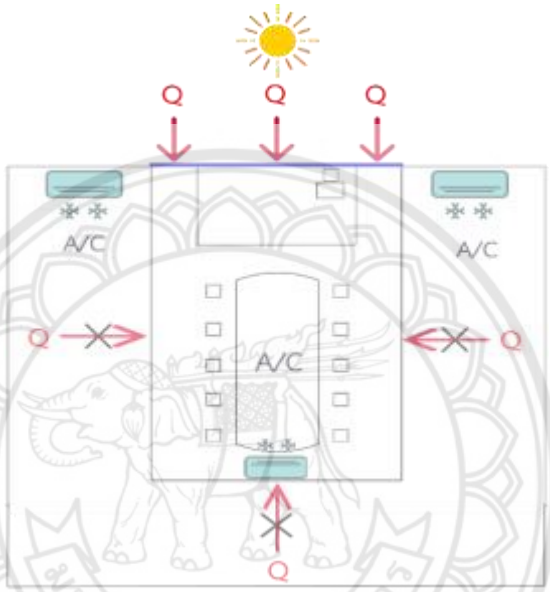
3.1 โครงการวัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ

การศึกษาวัสดุผนังภายนอกอาคารกับตำแหน่งทิศที่ตั้ง ได้คำนึงถึงประโยชน์การอนุรักษ์พลังงานและวัสดุผนังภายนอกอาคารอย่างเหมาะสมและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ศึกษาเปรียบเทียบวัสดุผนังอาคารหลายๆ ประเภทสำหรับอาคารต่างๆ โดยศึกษาผนังทึบแสง 2 กลุ่มได้แก่ กลุ่มผนังอิฐมวลเบาและกลุ่มผนังอิฐมอญ ผนังแต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 6 ชนิดได้แก่ ผนังชั้นเดียว ผนังสองชั้น ผนังชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2, 4, 6, และ 8 นิ้ว ศึกษาผนังโปร่งแสง 3 ชนิดได้แก่ กระจกใสชั้นเดียว กระจกฉนวน 2 ชั้น และกระจกเขียว

อาคารติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง อ้างอิงข้อมูลจากตัวแทนจำหน่ายของบริษัทต่างๆ และใช้ Linear Regression เพื่อหาค่ากลางโดยตามช่วงของขนาดเครื่องปรับอากาศ

3.2 สร้างแบบจำลองของผนังกรอบอาคาร

1. สร้างแบบจำลองผนังทึบแสงขนาด 8×6×3 เมตร โดยกำหนดให้มีผนังหนึ่งด้านที่รับแสงแดดโดยตรง ผนังด้านอื่นๆรวมถึงชั้นบนและชั้นล่างไม่มีการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากผนังด้านอื่นๆติดกับห้องปรับอากาศ ศึกษาผนังทึบแสง 2 กลุ่มได้แก่ ผนังอิฐมอญ 6 ชนิดและผนังอิฐมวลเบา 6 ชนิด และผนังโปร่งแสง 3 ชนิด ได้แก่ กระจกใสชั้นเดียว กระจกเขียว และกระจกฉนวน 2 ชั้น โดยมีแบบจำลองดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองห้องปรับอากาศ

2. การสร้างแบบจำลองผนังโปร่งแสง ได้แก่ กระจกใสชั้นเดียวมีค่าพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 - 80

3.3 การออกแบบภาระการทำความเย็นสำหรับเลือกเครื่องปรับอากาศ

กำหนดขอบเขตการคำนวณภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาและค่าแรงในการติดตั้งดังนี้

1. คำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุด (Peak cooling load)
2. โดยวิธีการคำนวณแบบ Cooling Load Temperature Difference (CLTD) / Cooling
3. Load Factor (CLF) ตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมการทำความร้อน การทำความเย็น

และระบบปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. :ASHRAE)

4. ภาระการทำความเย็นที่เกิดจากคนและอัตราการระบายอากาศ อ้างอิงข้อมูลจากมาตรฐาน ASHRAE Standard 62.1-2013

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

6. ใช้ละติจูดที่ 16 องศาเหนือในการคำนวณภาระการทำความเย็นสูงสุด

7. คำนวณค่าอัตราส่วนพื้นที่กระต่อพื้นที่ผนัง (Window to wall ratio) ระหว่าง 0-0.8

8. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม อ้างอิงจากประกาศกระทรวงพลังงานเรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552

9. ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างอ้างอิงจากพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

10. ขนาดการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ พิจารณาจากภาระการทำความเย็นสูงสุด เมื่อพิจารณาค่าความปลอดภัยเท่ากับร้อยละ 10

11. ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในติดตั้ง อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์ สำนักมาตรฐานงบประมาณ พ.ศ. 2560 ทำการศึกษาข้อมูล ณ วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2560

3.4 การคำนวณราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง

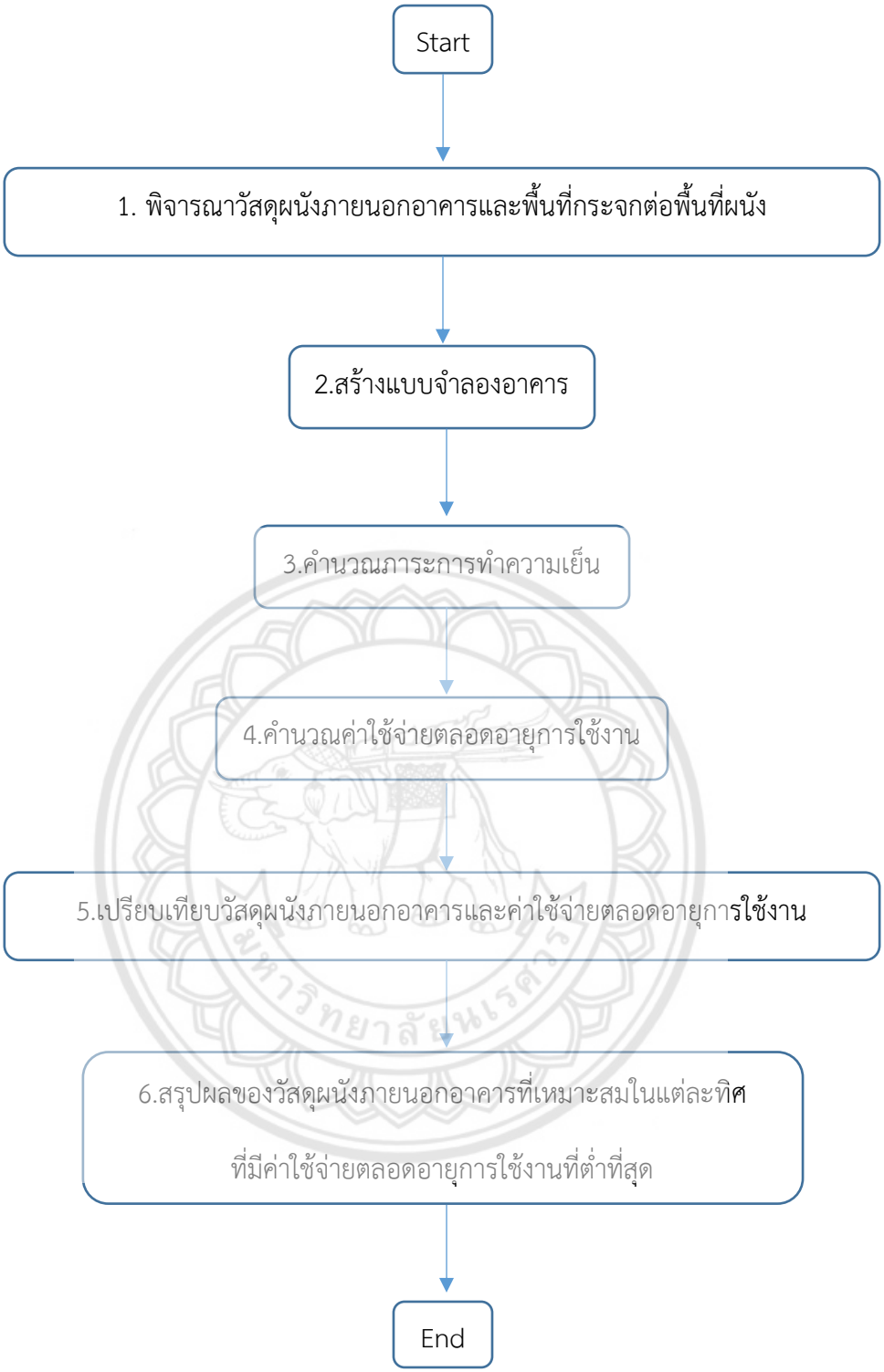
ราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง อ้างอิงข้อมูลจากบัญชีค่าวัสดุและค่าแรงงานของสำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2560 ข้อมูล ณ วันที่ 31 ตุลาคม 2560

3.5 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน

1. กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ พิจารณาจากสมบัติของเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 ที่มีประสิทธิภาพพลังงานหรือ EER ไม่น้อยกว่า 11.6 Btu/hr/W อ้างอิงข้อมูลจากเกณฑ์ระดับประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเบอร์ 5 พ.ศ. 2560 ข้อมูล ณ วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2560
2. เครื่องปรับอากาศใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี
3. อัตราการใช้งานเครื่องปรับอากาศร้อยละ (Load Factor) 75
4. อัตราค่าไฟฟ้า 3.62 บาท/kWh
5. อายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศ 15 ปี
6. คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าในรูปของ Uniform series payment
7. อัตราดอกเบี้ยอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยอัตราดอกเบี้ยเงินกู้สำหรับลูกค้ารายย่อยชั้นดี (MRR) ของธนาคารพาณิชย์ที่จดทะเบียนในประเทศ ประจำวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2560

3.6 การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

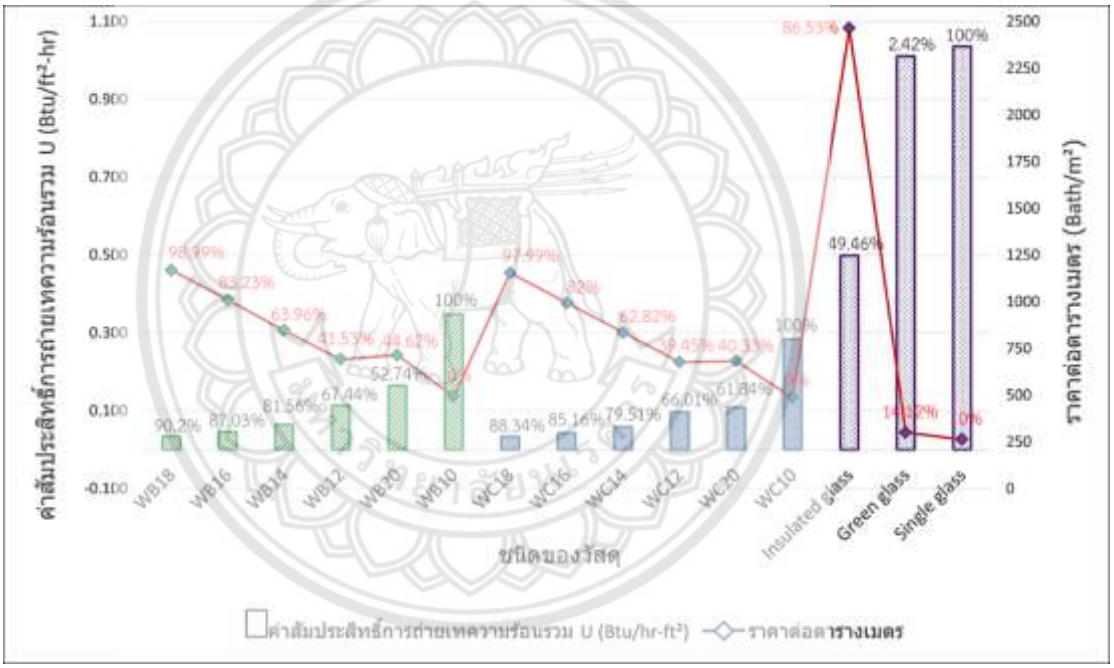
การคำนวณค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานประกอบด้วยค่าวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง และมูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี



รูปที่ 3.2 แผนภาพวิธีการดำเนินงานการศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบวัสดุผนังภายนอกอาคารที่ตั้งอยู่ในละติจูด 16 องศาเหนือ

บทที่ 4
การดำเนินงานและวิเคราะห์ผล

จากการดำเนินการคำนวณภาระการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศ ราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ราคาเครื่องปรับอากาศและค่าแรงในการติดตั้ง มูลค่าปัจจุบันสุทธิด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 15 ปี และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ได้ผลการดำเนินงานและมีการวิเคราะห์ผลการคำนวณดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและราคาต่อตารางเมตร

จากรูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของวัสดุต่างๆ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) และราคาต่อตารางเมตร ซึ่งผนังทึบจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มผนังอิฐมวลเบา (WC) และกลุ่มผนังอิฐมอญ (WB) โดยแต่ละกลุ่มจะมีชั้นวัสดุที่นำมาประกอบเป็นผนังทั้งหมด 6 ชนิดดังนี้ 1. ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว (WC10) และอิฐมอญชั้นเดียว (WB10) 2. ผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้น (WC20) และอิฐมอญ 2 ชั้น (WB20) 3. ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WC12) และอิฐ

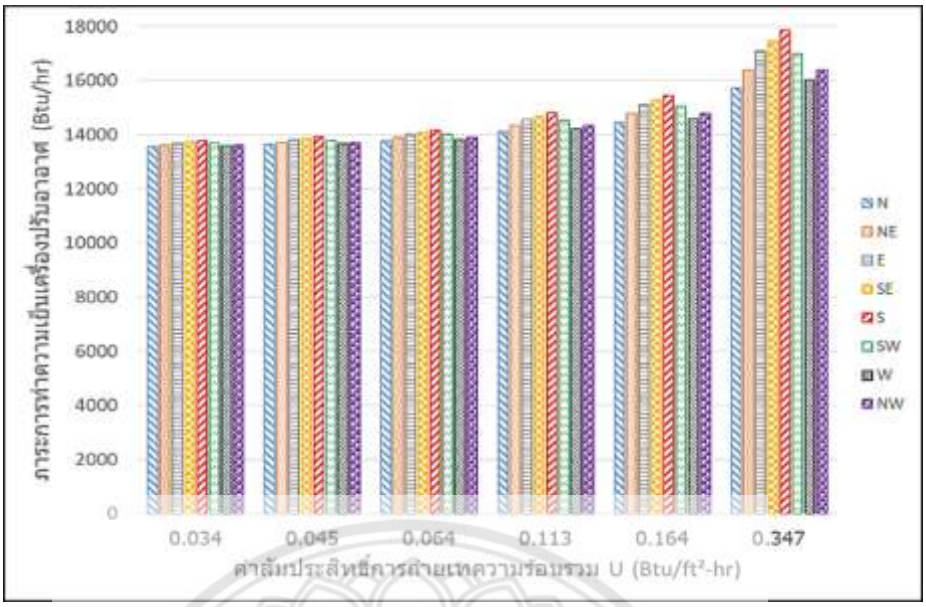
มอญบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว (WB12) 4. ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14) และอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WB14) 5. ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WC16) และอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 6 นิ้ว (WB16) 6. ผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 8 นิ้ว (WC18) และอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 8 นิ้ว (WB18) และยังมีกลุ่มผนังโปร่งแสง 3 ชนิด คือ 1. กระจกฉนวน (Insulation glass, IG) 2. กระจกเขียว (Green glass, GG) 3. กระจกใสชั้นเดียว (Single glass, SG) จากการศึกษา พบว่าในกลุ่มของผนังอิฐมอญค่า U จะมีค่าสูงกว่ากลุ่มผนังอิฐมวลเบา แต่ทั้งอิฐมอญและอิฐมวลเบาจะมีค่า U ต่ำกว่ากลุ่มของกระจก

เมื่อพิจารณาที่กลุ่มผนังอิฐมอญ พบว่า ผนังอิฐมอญชั้นเดียว จะมีค่า U สูงที่สุดหลังจากนั้นเปลี่ยนวัสดุมาเป็นผนังอิฐมอญ 2 ชั้นค่า U จะลดลงร้อยละ 52.74 เมื่อเทียบกับผนังอิฐมอญชั้นเดียว และเมื่อผนังอิฐมอญชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วค่า U ลดลงร้อยละ 67.11 ในส่วนของผนังอิฐมอญบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วค่า U ลดลงร้อยละ 81.56 แต่เมื่อเพิ่มฉนวนมากขึ้นเป็น 6 และ 8 นิ้วจะเห็นได้ว่าค่า U ลดลงน้อยมากๆ ในทางตรงกันข้ามราคาวัสดุต่อตารางเมตรจะสูงขึ้น

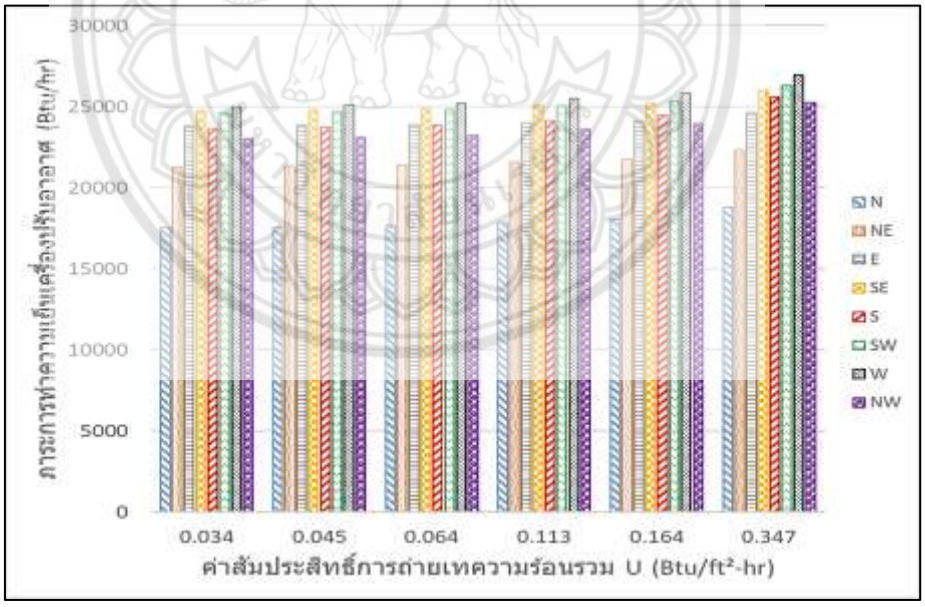
เมื่อพิจารณาที่กลุ่มผนังอิฐมวลเบา พบว่า ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว จะมีค่า U สูงที่สุดหลังจากนั้นเปลี่ยนวัสดุมาเป็นผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นค่า U จะลดลงร้อยละ 61.84 เมื่อเทียบกับผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว และเมื่อผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วค่า U ลดลงร้อยละ 66.01 ในส่วนของผนังอิฐมวลเบาบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วค่า U ลดลงร้อยละ 79.51 แต่เมื่อเพิ่มฉนวนมากขึ้นเป็น 6 และ 8 นิ้วจะเห็นได้ว่าค่า U ลดลงน้อยมาก ในทางตรงกันข้ามราคาวัสดุต่อตารางเมตรจะสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาในส่วนของผนังโปร่งแสง พบว่า กระจกใสชั้นเดียวจะมีค่า U สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกระจกเขียวและกระจกฉนวน แต่กระจกฉนวนจะมีค่า U ต่ำกว่ากระจกเขียว แต่เมื่อเทียบในส่วนของราคาวัสดุกระจกฉนวนจะมีราคาต่อตารางเมตรสูงที่สุด แต่กระจกใสชั้นเดียวและกระจกเขียวจะมีราคาต่อตารางเมตรที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาในส่วนของราคาต่อตารางเมตรของวัสดุทั้ง 3 กลุ่มจะเห็นได้ว่าราคาของผนังอิฐมวลเบาจะมีราคาต่ำกว่าผนังอิฐมอญ แต่เมื่อเปรียบเทียบในส่วนของผนังทึบเทียบกับผนังโปร่งแสงจะเห็นได้ว่าผนังโปร่งแสงจะมีราคาสูงกว่าผนังทึบ



ก.อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0



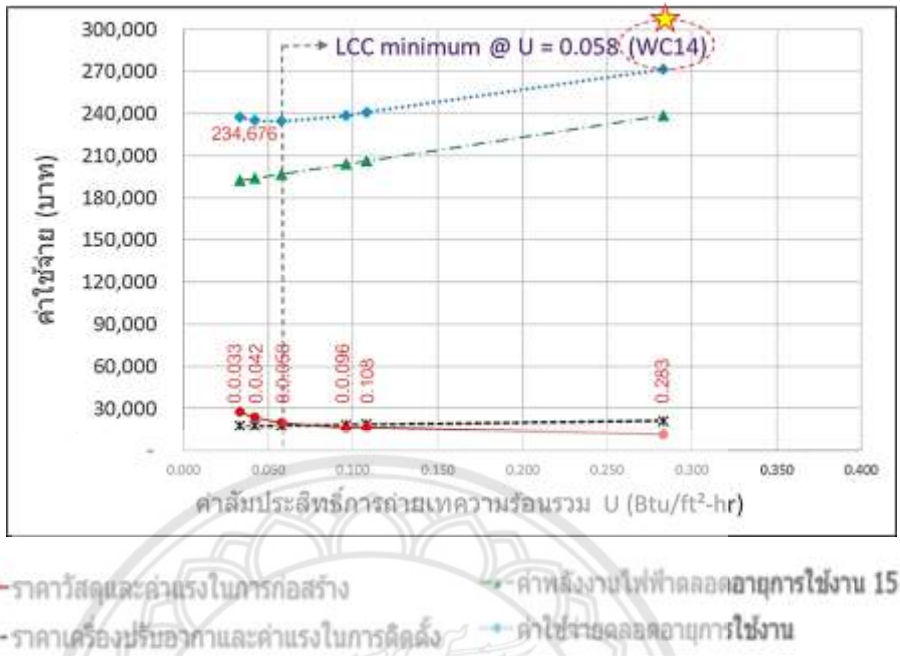
ข.อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 กราฟแท่งสีแดงหรือกราฟภาระการทำความเย็นของทิศใต้จะมีภาระการทำความเย็นสูงสุดในทุกกลุ่มผนังเนื่องจากค่า CLTD ของผนังทึบในด้านทิศใต้สูงที่สุด แต่ที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20, 40, 60 และ 80 ภาระการทำความเย็นสูงสุดจะเกิดในทิศตะวันตกในทุกกลุ่มผนังเนื่องจากภาระการทำความเย็นส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก ดังรูปที่ 4.2 ข เนื่องจากค่า CLF ในช่วงเวลาที่ใช้งานของอาคารด้านทิศตะวันตกจะมีค่าสูงที่สุด ในที่นี้จึงจะขอนำเสนอกราฟในด้านทางทิศใต้ที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด ในแต่ละพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง โดยโครงงานนี้ศึกษาผลกระทบของผนังทึบเป็นหลัก

ในส่วนของกราฟค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเนื่องจากการคำนวณมีกราฟข้อมูลค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานเป็นจำนวน 240 กราฟ จึงขออธิบายเฉพาะกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดในแต่ละอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง กราฟค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดมีดังนี้

4.1 อัตราส่วนที่พื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 0%

เมื่อพิจารณาที่ราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างของผนังชั้นเดียวผล ปรากฏว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีค่าสูงแต่มีค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างต่ำ และเมื่อทำการเพิ่มเป็นผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นจะเห็นว่า ค่า U จะลดลงร้อยละ 61.84 และค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียว และเมื่อผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วจะเห็นได้ว่าค่า U ลดลงร้อยละ 66.01 แต่เมื่อเทียบกับผนังอิฐมวลเบา 2 ชั้นจะลดลงเพียงร้อยละ 4.17 และราคาก็ใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการเพิ่มฉนวนจาก 2 นิ้วเป็น 4 นิ้วค่า U ลดลงถึงร้อยละ 79.51 เมื่อเทียบกับบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วค่า U ลดลงเพียงร้อยละ 13.5 ในส่วนของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วมีราคาสูงกว่า แต่เมื่อเพิ่มฉนวนจาก 4 นิ้วเป็น 6 นิ้วและ 8 นิ้ว พบว่า อัตราการลดลงของค่า U น้อยมากแต่กับมีราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างที่สูงขึ้นมาก

เมื่อพิจารณาในส่วนของราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งจะเห็นว่าจะมีลักษณะของเส้นกราฟตรงกันข้ามกับเส้นกราฟของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง เมื่อติดตั้งผนังอิฐมวลเบา

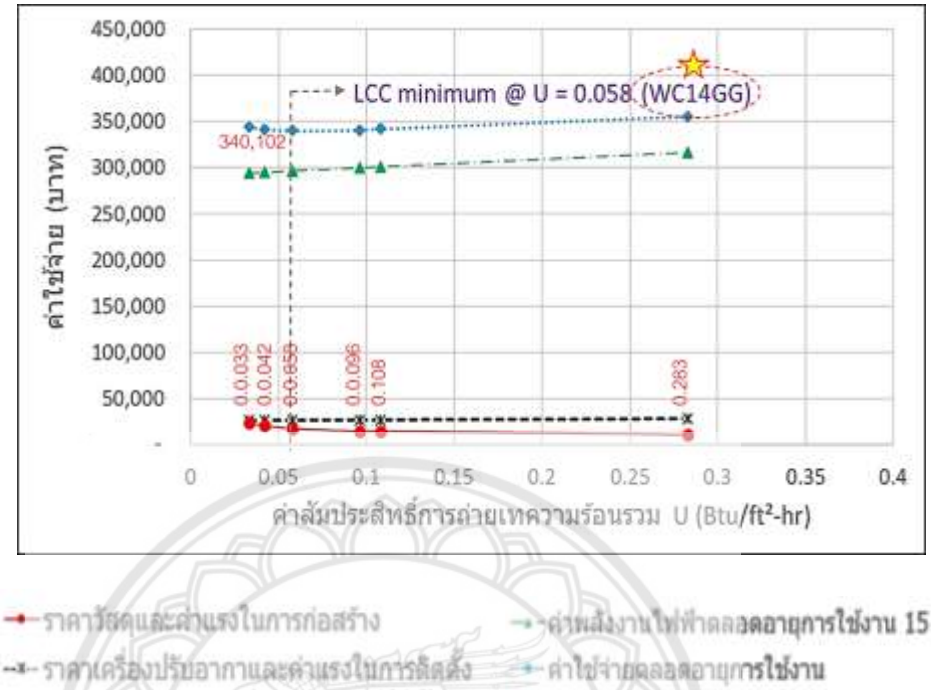
ชั้นเดียวจะมี U สูงส่งผลให้ภาระการทำความเย็นภายในห้องสูง ทำให้ต้องเลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศสูง แต่พอเพิ่มผนังเป็นผนังอิฐมวลเบาสองชั้นทำให้ค่า U ลดลง จึงส่งผลให้ภาระการทำความเย็นลดลงทำให้เลือกเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็กลง เมื่อเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กลงราคาของเครื่องปรับอากาศก็จะลดลงตามไปด้วย เช่นเดียวกันกับผนังอิฐมวลเบาที่ก่อด้วยผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2, 4, 6, และ 8 นิ้ว ซึ่งมีการลดลงของค่า U มากขึ้น ส่งผลให้ภาระการทำความเย็นภายในห้องมีค่าต่ำลง จึงทำให้ขนาดของเครื่องปรับอากาศเล็กลง ดังนั้น ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งจะลดลงเช่นกัน

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปีจะเห็นได้ว่า ถ้าเครื่องปรับอากาศมีขนาดเล็กการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะต่ำ และเมื่อเครื่องปรับอากาศมีขนาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากผนังที่มีค่า U สูงขึ้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก็จะเพิ่มสูงขึ้น

ในส่วนของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะเกิดจาก ผลรวมของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง ค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง และค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี จะเห็นว่าผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสูงที่สุด แต่พอเพิ่มค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะลดลง แต่พอเพิ่มฉนวนเกิน 4 นิ้วขึ้นไปจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าสูง แต่ค่า U ลดลงน้อยมากเมื่อเทียบกับราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดคือ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14)

ในอีก 7 ทิศที่เหลือวัสดุผนังภายนอกอาคารที่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดคือ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14)

4.2 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 20%

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 มีแนวโน้มเดียวกันกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 แต่จะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่ห่างกันมากขึ้น เพราะพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังสูงขึ้น อิทธิพลทางด้านภาระการทำความเย็นของผนังทึบเริ่มลดน้อยลง แต่จะเพิ่มที่ผนังโปร่งแสงแทน และค่า U ของผนังโปร่งแสงมากกว่าผนังทึบแสง ดังนั้น ภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 และราคาของผนังโปร่งแสงก็มีราคาต่ำกว่าผนังทึบแสง ดังนั้น จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟ

เมื่อพิจารณาในส่วนของราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งจะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่ห่างกันมากขึ้น เป็นเพราะภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังโปร่งแสง ซึ่งภาระการทำความเย็นที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 นี้จะสูงกว่าภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่

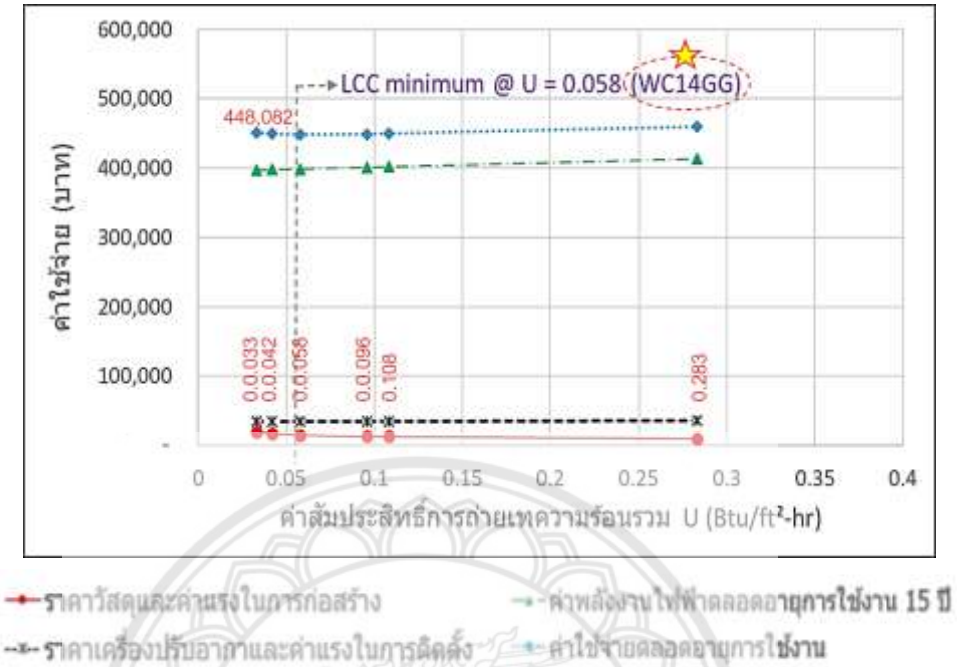
ผนังร้อยละ 0 ดังนั้น จึงส่งผลโดยตรงกับขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างจะลดต่ำลงเนื่องจากราคากระจกมีราคาต่ำกว่าราคาผนังทึบแสง จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟ

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปีจะเห็นได้ว่า ถ้าเครื่องปรับอากาศมีขนาดเล็กการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะต่ำ และเมื่อเครื่องปรับอากาศมีขนาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากภาระการทำความเย็นมาจากผนังโปร่งแสง ซึ่งสูงกว่าภาระการทำความเย็นผ่านผนังทึบ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก็จะเพิ่มสูงขึ้น

ในส่วนของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะเกิดจาก ผลรวมของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง ค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง และค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี จะเห็นว่าผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสูงที่สุด แต่พอเพิ่มค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะลดลง แต่เพิ่มฉนวนเกิน 4 นิ้วขึ้นไปจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าสูง แต่ค่า U ลดลงน้อยมากเมื่อเทียบกับราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดคือ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระจกเขียว(WC14GG)

ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด ในทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วกระจกเขียว (WC12GG) ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระจกเขียว (WC14GG)

4.3 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 40%

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ร้อยละผนัง 40 มีแนวโน้มเดียวกันกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 แต่จะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่ห่างกันมากขึ้นมากกว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 เพราะพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังสูงมากขึ้น ยิ่งอิทธิพลทางด้านภาระการทำความเย็นของผนังทึบเริ่มลดน้อยลง แต่จะเพิ่มที่ผนังโปร่งแสงแทน และค่า U ของผนังโปร่งแสงมากกว่าผนังทึบแสง ดังนั้น ภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 และราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างก็จะลดลงเพราะพื้นที่ของผนังทึบน้อยลงและราคาของกระจกต่ำกว่าผนังทึบ ดังนั้น จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟมากขึ้นกว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20

เมื่อพิจารณาในส่วนของราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งจะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่ห่างกันมากขึ้น

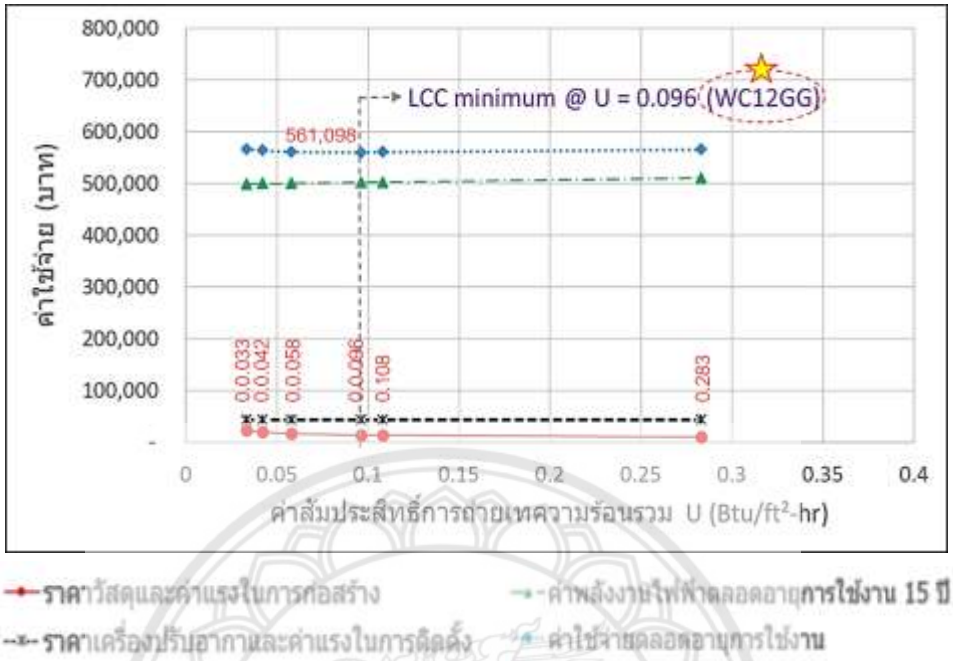
เป็นเพราะภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังโปร่งแสง ซึ่งภาระการทำความเย็นที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 นี้จะสูงกว่าภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20 ดังนั้น จึงส่งผลโดยตรงกับขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างจะลดต่ำลง เนื่องจากราคากระจกมีราคาต่ำกว่าราคาผนังทึบแสง จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟ

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปีจะเห็นได้ว่า ถ้าเครื่องปรับอากาศมีขนาดเล็กการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะต่ำ และเมื่อเครื่องปรับอากาศมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากภาระการทำความเย็นมาจากผนังโปร่งแสง ซึ่งสูงกว่าภาระการทำความเย็นผ่านผนังทึบ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก็จะเพิ่มสูงขึ้น

ในส่วนของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะเกิดจาก ผลรวมของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง ค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง และค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี จะเห็นว่าผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสูงที่สุด แต่พอเพิ่มค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะลดลง แต่พอเพิ่มฉนวนเกิน 4 นิ้วขึ้นไปจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าสูง แต่ค่า U ลดลงน้อยมากเมื่อเทียบกับราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดคือ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระเขียว (WC14GG)

ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด ในทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วกระจกเขียว (WC12GG) ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระจกเขียว (WC14GG)

4.4 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 60%

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 มีแนวโน้มเดียวกันกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 แต่จะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่ห่างกันมากขึ้นมากกว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 เพราะอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมีค่าสูงขึ้น ยิ่งอิทธิพลทางด้านภาระการทำความเย็นของผนังทึบเริ่มลดน้อยลง แต่จะเพิ่มที่ผนังโปร่งแสงแทน และค่า U ของผนังโปร่งแสงมากกว่าผนังทึบแสง ดังนั้น ภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 และราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างก็จะลดลงเพราะพื้นที่ของผนังทึบน้อยลงและราคาของกระจกต่ำกว่าผนังทึบ ดังนั้น จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟมากขึ้นกว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40

เมื่อพิจารณาในส่วนของราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งจะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่ห่างกันมากขึ้น

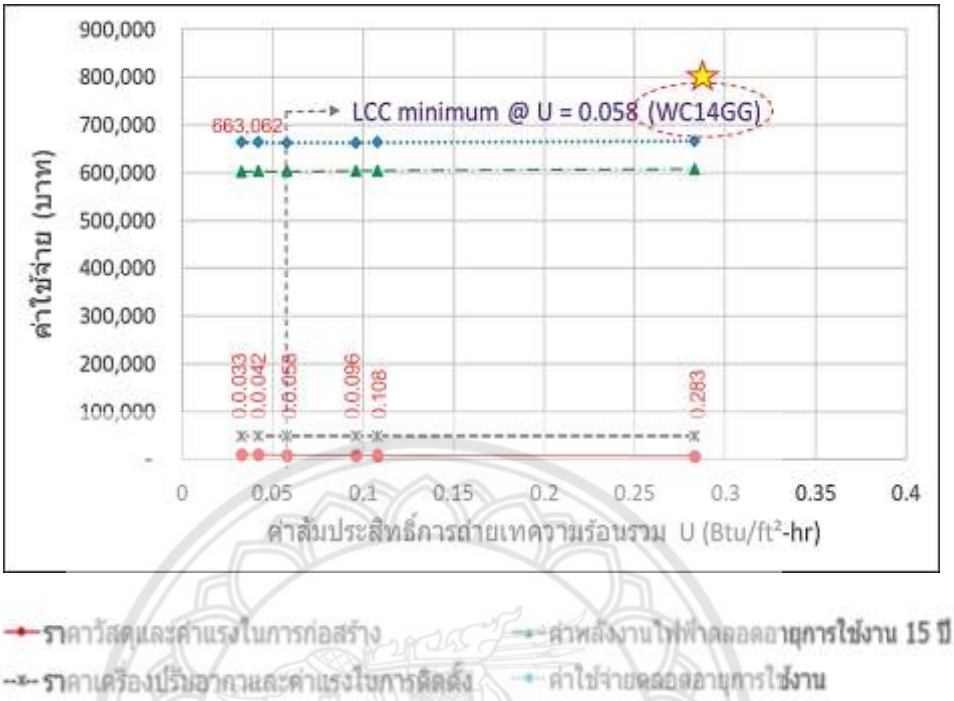
เป็นเพราะภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังโปร่งแสง ซึ่งภาระการทำความเย็นที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 นี้จะสูงกว่าภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 ดังนั้น จึงส่งผลโดยตรงกับขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างจะลดต่ำลง เนื่องจากราคากระจกมีราคาต่ำกว่าราคาผนังทึบแสง จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟ

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปีจะเห็นได้ว่า ถ้าเครื่องปรับอากาศมีขนาดเล็กการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะต่ำ และเมื่อเครื่องปรับอากาศมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากภาระการทำความเย็นมาจากผนังโปร่งแสง ซึ่งสูงกว่าภาระการทำความเย็นผ่านผนังทึบ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก็จะเพิ่มสูงขึ้น

ในส่วนของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะเกิดจาก ผลรวมของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง ค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง และค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี จะเห็นว่าผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสูงที่สุด แต่พอเพิ่มค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะลดลง แต่พอเพิ่มฉนวนเกิน 2 นิ้วขึ้นไปจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าสูง แต่ค่า U ลดลงน้อยมากเมื่อเทียบกับราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดคือ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว เมื่อเปรียบกับพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทึบร้อยละ 40 พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดจากผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระจกเขียว (WC14GG) ลดลงเป็นเป็นผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วกระจกเขียว (WC12GG) เพราะว่าผนังโปร่งแสงจะส่งผลมากกว่าผนังทึบ ดังนั้น ผนังทึบจึงเกิดผลน้อยมาก

ในอีก 7 ทิศที่เหลือวัสดุผนังภายนอกอาคารที่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดคือ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วกระจกเขียว (WC12GG)

4.5 อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 80



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และค่าใช้จ่ายของทิศใต้ WWR = 80%

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 80 มีแนวโน้มเดียวกันกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 แต่จะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่มากกว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 เพราะอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังสูงมากขึ้นยิ่งอิทธิพลทางด้านภาระการทำความเย็นของผนังทึบเริ่มลดน้อยลง แต่จะเพิ่มที่ผนังโปร่งแสงแทน และค่า U ของผนังโปร่งแสงมากกว่าผนังทึบแสง ดังนั้น ภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 80 จะสูงกว่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 และราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างก็จะลดลงเพราะพื้นที่ของผนังทึบน้อยลงและราคาของกระจกต่ำกว่าผนังทึบ ดังนั้น จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟมากขึ้นกว่าอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60

เมื่อพิจารณาในส่วนของราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งจะเห็นว่าเริ่มมีช่วงของราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งที่ห่างกันมากขึ้น เป็นเพราะภาระการทำความเย็นที่เกิดจากผนังโปร่งแสง ซึ่งภาระการทำความเย็นที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 80 นี้จะสูงกว่าภาระการทำความเย็นของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 ดังนั้น จึงส่งผลโดยตรงกับขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งสูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างจะลดต่ำลง เนื่องจากราคากระจกมีราคาต่ำกว่าราคาผนังทึบแสง จึงเป็นผลให้เกิดช่วงห่างของเงินในกราฟ

เมื่อพิจารณาในส่วนของค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปีจะเห็นได้ว่า ถ้าเครื่องปรับอากาศมีขนาดเล็กการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะต่ำ และเมื่อเครื่องปรับอากาศมีขนาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากภาระการทำความเย็นมาจากผนังโปร่งแสง ซึ่งสูงกว่าภาระการทำความเย็นผ่านผนังทึบ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานก็จะเพิ่มสูงขึ้น

ในส่วนของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะเกิดจาก ผลรวมของค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง ค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง และค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี จะเห็นว่าผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสูงที่สุด แต่พอเพิ่มค่าความเป็นฉนวนมากขึ้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานจะลดลง แต่พอเพิ่มฉนวนเกิน 4 นิ้วขึ้นไปจะเห็นว่าค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เกิดจากค่าวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าสูง แต่ค่า U ลดลงน้อยมากเมื่อเทียบกับราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง จึงไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดคือ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว เมื่อเปรียบกับพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทึบร้อยละ 60 พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดจากผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว แต่เพิ่มขึ้นเป็นเป็นผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วเพราะว่าเมื่อบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วภาระการทำความเย็นจะมากกว่าบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว แต่ราคาวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้าง ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วจะมีค่าสูงกว่าบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว และเมื่อคิดที่ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน พบว่า การบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วคุ้มค่ากว่าการบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว ทั้งนี้สามารถเลือกใช้วัสดุผนังภายนอกอาคารได้หลายชนิดเพราะค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานห่างกันน้อยมากๆ แต่ไม่รวมผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวซึ่งมีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานสูงที่สุด

ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุด ในทิศเหนือ ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทิศตะวันออกและทิศตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วกระจกเขียว (WC12GG) ในทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระจกเขียว (WC14GG)

บทที่ 5
บทสรุป

ในการศึกษาวัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศกรณีศึกษาจังหวัดพิษณุโลก ผลจากการวิเคราะห์สรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง

ราคาวัสดุกรอบอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างมีค่าแปรผันตรงกับค่าความเป็นฉนวน และแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของวัสดุกรอบอาคาร คือการบุฉนวนใยแก้วจะช่วยให้ป้องกันความร้อนจากภายนอกอาคารได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามการบุฉนวนใยแก้วจะทำให้ราคาวัสดุกรอบอาคารเพิ่มสูงขึ้น

5.2 ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง

ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้งจะแปรผกผันกับราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง คือถ้าราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้างต่ำ ค่า U จะมีค่าสูงทำให้ภาระการทำความเย็นที่ต้องกำจัดสูงตามไปด้วย ดังนั้น การกำจัดภาระการทำความเย็นเหล่านี้จึงจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ จึงส่งผลให้ราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้งมีค่าสูง

5.3 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี จะแปรผันตรงกับราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง คือการที่มีภาระการทำความเย็นที่ต้องกำจัดเป็นจำนวนมาก จึงต้องใช้เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่หรือต้องการเครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมาก เมื่อเครื่องปรับอากาศมีขนาดใหญ่หรือว่ามีเครื่องปรับอากาศหลายเครื่องจะส่งผลโดยตรงกับค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

5.4 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมาจากผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้ง 3 ชนิดคือ ราคาวัสดุผนังภายนอกอาคารและค่าแรงในการก่อสร้าง ค่าเครื่องปรับอากาศพร้อมค่าแรงในการติดตั้ง และค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของเครื่องปรับอากาศตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี

5.5 สรุปผลการศึกษาวัสดุผนังภายนอกอาคารที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ กรณีศึกษาจังหวัดพิษณุโลก

1. เมื่อบุฉนวนใยแก้ว ค่า U ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

2. เมื่อเพิ่มความหนาของฉนวนใยแก้วเกินค่าที่เหมาะสม ค่า U ลดลงน้อยมาก แต่ค่าใช้จ่ายของวัสดุและค่าแรงในการก่อสร้างกับมีค่าเพิ่มมากขึ้น

3. ภาระการทำความเย็นที่มีค่าสูงที่สุดเกิดขึ้นในทิศใต้และภาระการทำความเย็นต่ำสุดเกิดขึ้นในทิศเหนือ

4. เมื่ออัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมีค่ามาก ภาระการทำความเย็นส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ผนังโปร่งแสง

5. เมื่ออัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังมีค่ามาก ค่า SC ของกระจกจะมีผลต่อภาระการทำความเย็นอย่างมาก ส่วนค่า U กระจกแทบไม่ส่งผลต่อภาระการทำความเย็น

6. ผนังทึบและผนังโปร่งแสงที่มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดส่วนใหญ่จะเป็นผนังอิฐมวลเบาและกระจกเขียว

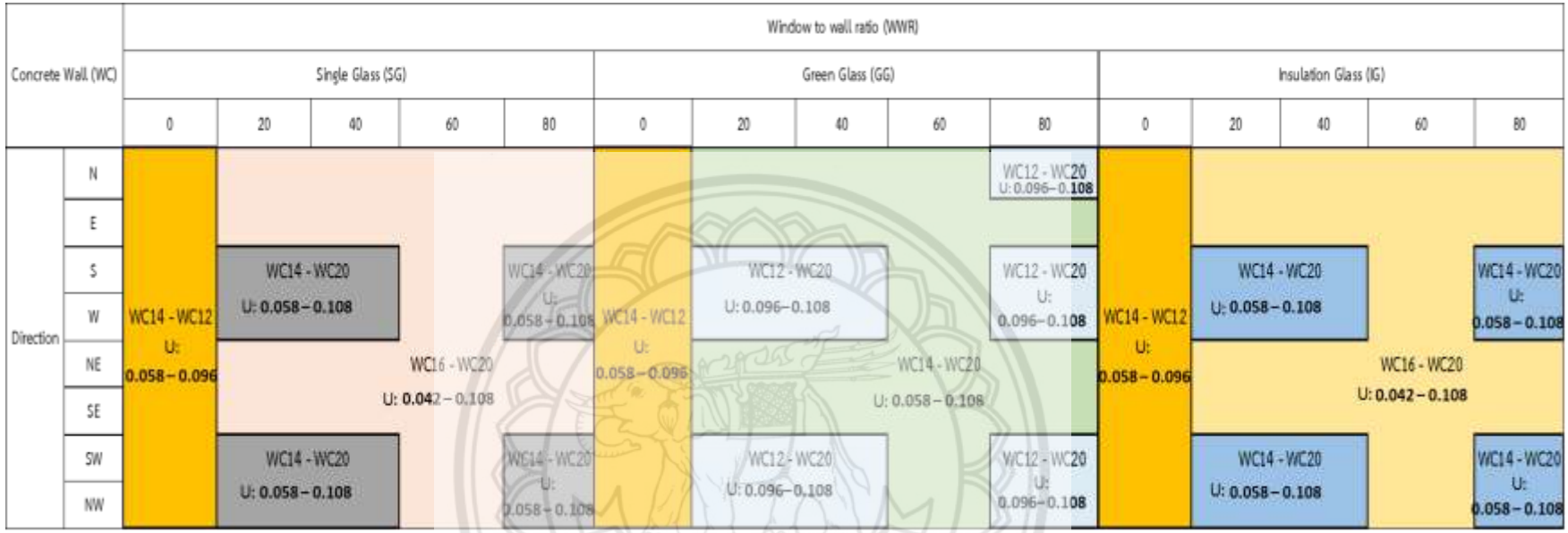
7. ผนังแต่ละด้านรับภาระการทำความเย็นไม่เท่ากัน ดังนั้น ผนังแต่ละด้านจึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้วัสดุเหมือนกันทุกด้าน

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงวัสดุผนังภายนอกอาคารค่าที่มีใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดในแต่ละทิศ

Minimum Life Cycle Cost		Window to wall ratio				
		0	20	40	60	80
Direction	N	WC14	WC14GG			WC14GG
	E					
	S					
	W					
	NE		WC12GG			
	SE					
	SW		WC14GG			WC14GG
	NW					

จากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าในแต่ละทิศทางวัสดุผนังภายนอกอาคารชนิดใดที่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีค่าต่ำที่สุด โดยเมื่อพิจารณาทั้ง 8 ทิศ พบว่า ที่อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 (ผนังทึบ) ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WC14) และในส่วนของอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20, 40, และ 80 ในทิศใต้ ทิศตะวันตก ทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ได้แก่ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระจกเขียว (WC14GG) แต่สำหรับอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังในทิศทางอื่นๆ ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วกระจกเขียว (WC12GG) ให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีค่าต่ำที่สุด

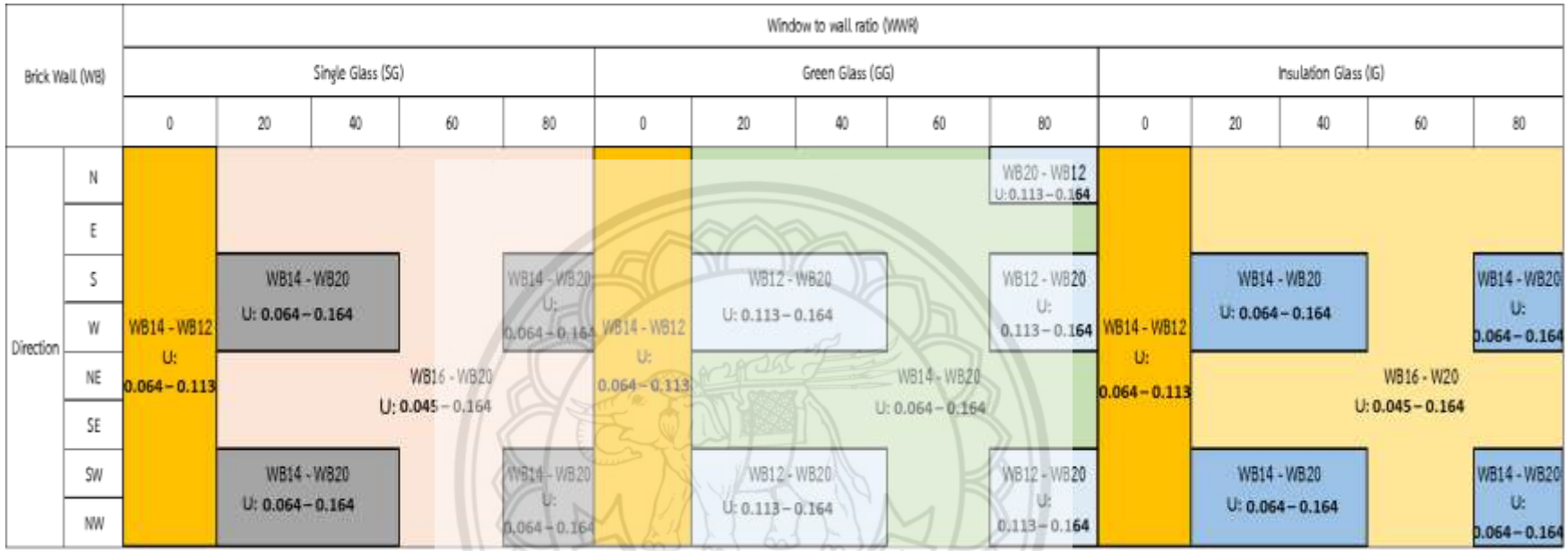
ตารางที่ 5.2 แสดงทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุของผนังอิฐมวลเบากับกระจกชนิดต่างๆ ในทิศทางและอัตราพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่แตกต่างกัน



หมายเหตุ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีหน่วยคือ Btu/hr-ft^2

จากตารางที่ 5.2 แสดงการเลือกใช้ผนังอิฐมวลเบา สำหรับอาคารสำนักงาน เมื่อพิจารณาใช้ร่วมกับกระจก 3 ชนิดในทิศทางและอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่แตกต่างกันตามความต้องการของเจ้าของอาคารหรือผู้ที่ออกแบบควรมีการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของวัสดุผนังทึบภายนอกอาคารอยู่ในช่วงที่กำหนด

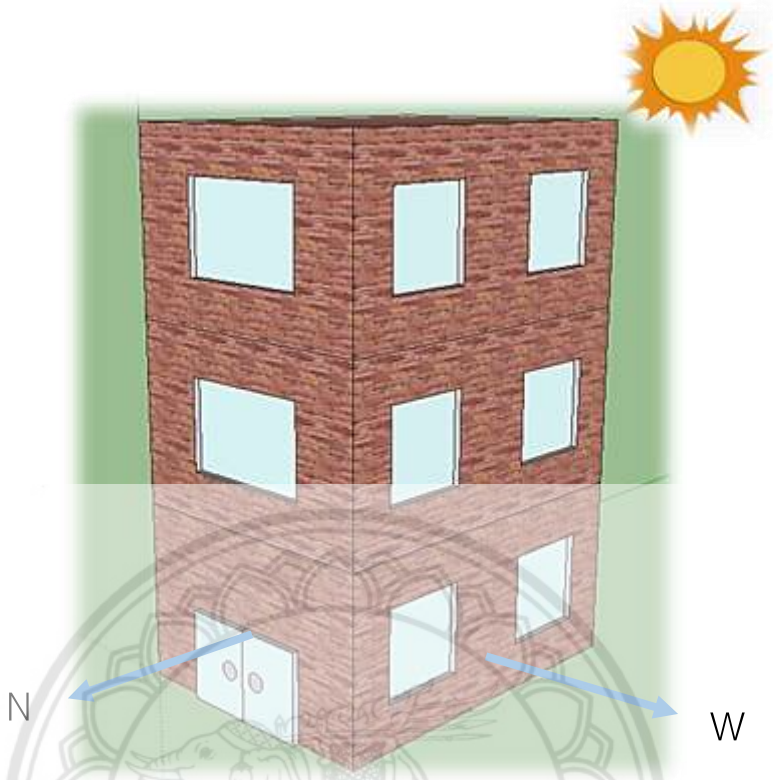
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุของผนังอิฐมอญกับกระจกชนิดต่างๆ ในทิศทางและอัตราพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่แตกต่างกัน



หมายเหตุ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีหน่วยคือ Btu/hr-ft^2

จากตารางที่ 5.3 แสดงการเลือกใช้ผนังอิฐมอญ สำหรับอาคารสำนักงาน เมื่อพิจารณาใช้ร่วมกับกระจก 3 ชนิดในทิศทางและอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่แตกต่างกันตามความต้องการของเจ้าของอาคารหรือผู้ที่ออกแบบควรมีการเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของวัสดุผนังทึบภายนอกอาคารอยู่ในช่วงที่กำหนด

5.6 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ตารางที่ 5.2 -5.3



รูปที่ 5.4 โมเดลอาคารสำนักงานตัวอย่าง

จากรูปที่ 5.4 แสดงโมเดลอาคารสำนักงาน ซึ่งจะพิจารณาที่ชั้น 2 เนื่องจากเงื่อนไขของโครงงานจะไม่คิดภาระการทำความเย็นที่มาจากฝ้าเพดาน และพื้นห้อง (ชั้นบนและชั้นล่างปรับอากาศ) โดยผนังทางด้านทิศเหนือ มีอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60 ผนังด้านทิศตะวันตกและทิศใต้มีอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0 หรือผนังทึบ ผนังด้านทิศตะวันออกมีอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40 จากการประยุกต์ใช้ตาราง ต้องการใช้ผนังอิฐมอญและใช้กระใสชั้นเดียว โดยผนังที่ทำให้ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำที่สุดได้แก่ ผนังอิฐมอญชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว (WB14) ในทิศตะวันออกและทิศใต้ ผนังอิฐมอญชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วกระจกใสชั้นเดียว (WB12SG) ในด้านทิศเหนือ และผนังอิฐมอญชั้นเดียวบุฉนวนใยแก้ว 4 นิ้วกระจกใสชั้นเดียว (WB14SG) ในด้านทิศตะวันตก

ข้อเสนอแนะ

1. สามารถประยุกต์เลือกใช้วัสดุผนังภายนอกอาคาร โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนด โดยจะพิจารณาจากผลต่างของค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่อยู่ในช่วง ± 5% แสดงดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในทิศทางและอัตราพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังที่แตกต่างกัน

U-Recommend (Btu/ft²-hr)		Window to wall ratio (WWR)				
		0	20	40	60	80
Direction	N	U: 0.042 - 0.108 WC16 – WC20	U: 0.058 - 0.096 WC14 – WC12			U: 0.058 - 0.096 WC14 – WC12
	E					
	S					
	W					
	NE			U: 0.058 - 0.108 WC14 – WC20		
	SE					
	SW		U: 0.058 - 0.096 WC14 – WC12			U: 0.058 - 0.096 WC14 – WC12
	NW					

หมายเหตุ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) มีหน่วยคือ Btu/hr-ft^2

2. พิจารณากลุ่มอาคารที่ใช้งาน 12 ชั่วโมง ได้แก่ ศูนย์การค้า โรงมหรสพ อาคารชุมนุมคน สถานบริการ

3. พิจารณากลุ่มอาคารที่ใช้งาน 24 ชั่วโมง ได้แก่ สถานพยาบาล โรงแรม อาคาชุด

4. ศึกษาและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfercoefficient :U) และค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer :Q) ผ่านหลังคา

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ.2561. (22 มีนาคม 2561). **ประกาศสำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า**. แจ้งปรับการเผยแพร่ราคาวัสดุก่อสร้างในส่วนกลาง รายการเหล็กเส้นกลมผิวข้ออ้อย ประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2561. จาก http://www.price.moc.go.th/price/struct/index_new.asp

นัฐวัฒน์ พิมพ์สารี. และคณะ (2560). **ศึกษาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานกับการตัดสินใจออกแบบกรอบอาคาร Start up and Innovation มหาวิทยาลัยนเรศวร**. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

กรมบัญชีกลาง กระทรวงการคลัง พ.ศ.2560. (ตุลาคม 2560**). แนวทาง วิธีปฏิบัติและรายละเอียดประกอบการถอดแบบคำนวณราคากลางงานก่อสร้าง**.จาก https://www.yotathai.com/

ธนาคารแห่งประเทศไทย. (30 ตุลาคม 2560). **อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ**. สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2560, จาก https://www.bot.or.th/thai/statistics/_layouts/application/interest_rate/in_rate.aspx

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (1 มกราคม 2560). **โครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 เครื่องปรับอากาศ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2560, จาก http://labelno5.egatco.th/new58/?p=1411

อาซาฮี พ.ศ 2561. (พฤศจิกายน 2560) **ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของวัสดุ** สืบค้นเมื่อวันที่ 30 ตุลาคม จาก https://www.agc-flatglass.co.th/

ASHARE. (2560). **Description of 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals**. สืบค้นเมื่อ 28 ตุลาคม 2560 จาก https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook

มัลลิกา ปู่เพ็ชร์ และ เจนจิรา ขุนทอง. (2559). **การศึกษาแนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน กรณีศึกษาอาคารสถานศึกษา**. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1. 1(1), 358-366.

กระทรวงพลังงาน. (2552). **หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบการใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่างๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552**. จาก https://www.thaienergyauditor.org/16713290/download

พันธุดา พุฒิไพโรจน์. (2551). **การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานในการปรับอากาศระหว่างการใช้ผนังอิฐมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น**. บทความวิชาการชุดที่ 13 สมาคมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. 1(13), 42-45.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของแบบจำลองวัสดุผนังภายนอกอาคาร

ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุผนังภายนอกอาคาร

ลำดับ	วัสดุ	k (W/m-K)	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg-K)	SC	SHGC
1	ผนัง/คอนกรีต					
	(1) อิฐมอญไม่ฉาบ	0.473	1600	0.96	-	-
	(2) อิฐมอญฉาบปูน 2 หน้า	1.102	1700	0.96	-	-
	(3) ปูนฉาบ	0.72	1860	0.80	-	-
2	ฉนวนใยแก้ว					
	(1) ความหนาแน่น 10 kg/m^3	0.04	10	-	-	-
	(2) ความหนาแน่น 12 kg/m^3	0.042	12	-	-	-
	(3) ความหนาแน่น 16 kg/m^3	0.038	16	-	-	-
	(4) ความหนาแน่น 24 kg/m^3	0.035	24	-	-	-
3	กระจก					-
	(1) กระจกใส	0.96	2500	0.88	0.39	-
	(2) กระจก 2 ชั้น	0.78	0.6	0.88	0.35	-
4	วัสดุมุงหลังคา/ดาดฟ้า					-
	(ก) กระเบื้องหลังคาคอนกรีต	0.99	2400	0.79	-	-
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนเล็ก	0.38	1700	1.00	-	-
	(ค) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนใหญ่	0.44	2000	1.00	-	-
	(ง) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินลอนคู่	0.40	2000	1.00	-	-
	(จ) วัสดุหลังคาแอสฟลต	0.42	1500	1.51	-	-
	(ฉ) กระเบื้องปูดาดฟ้ามวลเบา	0.34	930	1.88	-	-
	(ช) กระเบื้องใยแก้วโปรงแสงเรียบ	0.21	1340	1.88	-	-
	(ซ) กระเบื้องใยแก้วโปรงแสงลอนใหญ่	0.18	1700	1.88	-	-
	(ฌ) กระเบื้องลูกฟูกโปรงแสง	0.16	1340	1.88	-	-
	(ญ) กระเบื้องใยแก้วลอนคู่สีขาวขุ่น	0.21	1500	1.88	-	-
5	วัสดุปูพื้น/ผนัง					
	(ก) ไลโนเลียม (พรมน้ำมัน)	0.227	1200	1.26	-	-
	(ข) กระเบื้องยาง	0.573	1900	1.26	-	-
	(ค) กระเบื้องเซรามิค	0.338	2100	1.80	-	-
	(ง) หินอ่อน	1.250	2700	1.80	-	-
	(จ) หินแกรนิต	1.276	2600	1.79	-	-
	(ฉ) หินกาบ	0.290	2640	1.96	-	-
	(ช) หินทราย	0.721	2440	1.96	-	-
	(ซ) ไม้ปาร์เก้	0.167	600	0.96	-	-
6	ผนังอิฐ/คอนกรีต					
	(ก) อิฐมอญไม่ฉาบ	0.473	1600	0.79	-	-
	(ข) อิฐมอญฉาบปูนสองหน้า	1.102	1700	0.79	-	-
	(ค) อิฐฉาบปูน	0.807	1760	0.84	-	-
	(ง) คอนกรีตบล็อกกลวง 80 มม. ไม่ฉาบ	0.546	2210	0.92	-	-
	(จ) คอนกรีตสแลบ	1.442	2400	0.92	-	-
	(ฉ) ปูนฉาบ (ซีเมนต์-ผสมทราย)	0.720	1860	0.84	-	-

ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุผนังภายนอกอาคาร (ต่อ)

ลำดับ	วัสดุ	k (W/m-K)	ρ (kg/m^3)	C_p (kJ/kg-K)	SC	SHGC
7	คอนกรีตมวลเบา					-
	(ก) 620 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.18	620	0.84	-	-
	(ข) 700 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	2.10	700	0.84	-	-
	(ค) 960 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.30	960	0.84	-	-
	(ง) 1120 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.35	1120	0.84	-	-
	(จ) 1280 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.48	1280	0.84	-	-
	(ฉ) ปูนฉาบสำหรับคอนกรีตมวลเบา	0.33	1200	0.84	-	-
8	วัสดุทำฝาเพดาน/ผนัง					
	(ก) แผ่นยิปซั่ม	0.282	800	1.09	-	-
	(ข) กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ	0.397	1700	1.00	-	-
	(ค) ไม้อัด	0.213	900	1.21	-	-
	(ง) แผ่นไฟเบอร์ (fiber board)	0.052	264	1.30	-	-
	(จ) เซลโลกรีตชนิดธรรมดา	0.106	500	1.30	-	-
	(ฉ) เซลโลกรีตชนิดโฟม	0.068	300	1.30	-	-
	(ช) แผ่นไฟเบอร์ชานอ้อย	0.052	250	1.26	-	-
	(ซ) แผ่นไม้ก๊อก	0.042	144	2.01	-	-
	(ฌ) พลาสเตอร์ฉาบยิปซั่ม	0.230	720	1.09	-	-
9	ฉนวนใยแก้ว (ไฟเบอร์กลาส)					
	(ก) ความหนาแน่น 10 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.046	10	0.96	-	-
	(ข) ความหนาแน่น 12 กิโลกรัม/ลูกบาศกเมตร	0.042	12	0.96	-	-
	(ค) ความหนาแน่น 16 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.038	16	0.96	-	-
	(ง) ความหนาแน่น 24 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.035	24	0.96	-	-
	(จ) ความหนาแน่น 32-48 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.033	32-48	0.96	-	-
	(ฉ) ความหนาแน่น 56-69 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.031	46-69	0.96	-	-
10	ฉนวนชนิดโฟมโพลีสไตรีน แบบขยายตัว					
	(ก) ความหนาแน่น 9 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.047	9	1.21	-	-
	(ข) ความหนาแน่น16 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.037	16	1.21	-	-
	(ค) ความหนาแน่น 20 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.036	20	1.21	-	-
	(ง) ความหนาแน่น 24-32 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	0.035	24-32	1.21	-	-
11	โฟมโพลเอทิลีน	0.029	45	1.21	-	-
12	โฟมโพลิยูรีเทน	0.023-0.026	24-40	1.59	-	-
11	ไม้					
	(ไม้เนื้อแข็ง)	0.22	800.00	1.30	-	-
	(ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	0.22	600.00	1.30	-	-
	(ค)ไม้เนื้ออ่อน	0.13	500.00	1.30	-	-
	(ง)ไม้อัดชิพบอร์ด	0.14	800.00	1.30	-	-
13	กระดาษอัด	0.086	400	1.38	-	-
14	แผ่นกระจก					
	(ก) กระจกใส	0.960	2500	0.88	-	-
	(ข) กระจกสชา	0.913	2500	0.88	-	-
	(ค) กระจกสะท้อนแสง	0.931	2500	0.88	-	-
	(ง) กระจกเงา	0.853	2500	0.88	-	-
15	โลหะ					
	ก) โลหะผสมของอลูมิเนียมแบบธรรมดา	211.00	2672	0.90	-	-
	(ข)ทองแดง	388.00	8784	0.39	-	-
	(ค)เหล็กกล้า	47.60	7840	0.50	-	-

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 ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศที่อยู่ภายในผนังอาคาร

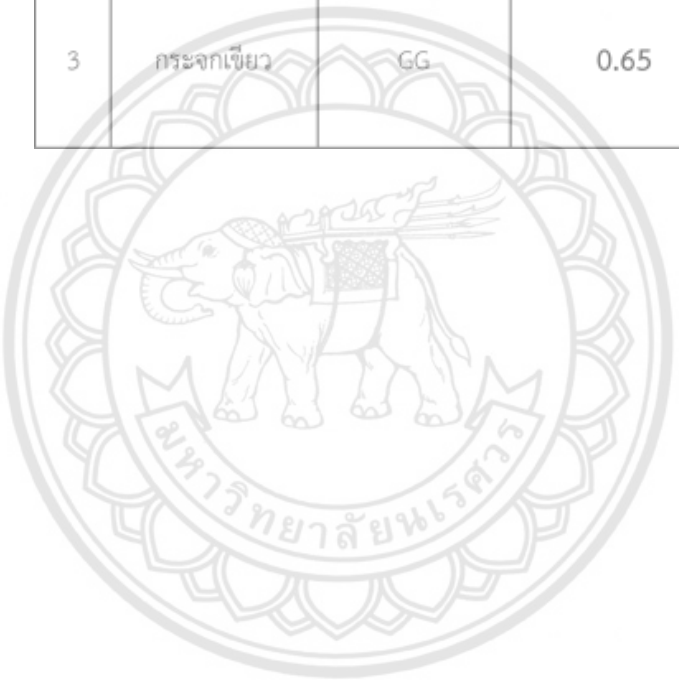
ชนิดของผิววัสดุที่ใช้ทำผนัง	ค่าความต้านทานความร้อนของช่องว่างอากาศ ตามความหนาของช่องว่างอากาศ (m^2-K/W)		
	5 มิลลิเมตร	20 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีสูง	0.11	0.148	0.16
กรณีที่พื้นผิวผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีต่ำ	0.25	0.578	0.606

ตารางที่ ก.4 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.5 ค่าสัมประสิทธิ์การบังเงาของวัสดุ

ลำดับ	ชนิด	สัญลักษณ์	SC (W/m-C)
1	กระจกใส	SG	**0.96**
2	กระจกฉนวน	IG	**0.82**
3	กระจกเขียว	GG	0.65



ภาคผนวก ข

การคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

กฎกระทรวงกำหนดประเภทหรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน หลักเกณฑ์และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552

หน้า ๕
เล่ม ๑๒๖ ตอนที่ ๑๒ ก ราชกิจจานุเบกษา ๒๐ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๒

กฎกระทรวง

กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการ
ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
พ.ศ. ๒๕๕๒

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๖ วรรคสอง และมาตรา ๑๔ แห่งพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. ๒๕๓๕ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๐ อันเป็นกฎหมายที่มีบทบัญญัติบางประการเกี่ยวกับการจำกัดสิทธิและเสรีภาพของบุคคล ซึ่งมาตรา ๒๕ ประกอบกับมาตรา ๓๓ 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 สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	๑๘
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	๑๒

ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ (Solar heat gain factor; SHGF) (Btu/hr-ft2)

16°N Latitude.										
Mth	N	NNE/ NNW	NE/NW	ENE/ WNW	E/W	ESE/ WSW	SE/SW	SSE/ SSW	S	HOR
Jan.	30	30	55	147	210	244	251	223	199	248
Feb.	33	33	96	180	231	247	233	188	154	275
Mar.	35	53	140	205	239	235	197	138	93	291
Apr.	39	99	172	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.2 Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces, (Btu/hr)

Rates of heat gain from occupanted space, BTU/h					
Degree of activity	**Typical application**	**Total heat**	**Total heat adjust**	**sensible heat**	**Latent Heat**
Seat at rest	Theater, movie	390	330	225	105
Seat , very light work writing	offices,hotele,apartment	450	400	245	155
seated,eating	Restaurant	490	550	275	105
Standing,light work or walking slowly	Retail store, bank	550	450	250	200
Light bech work	Factory	200	750	330	420
Waling, 3mi/h light machine work	Factory	1000	1000	375	105
bowling	Bowling alley	1500	1450	580	800
moderate	Dance hall	900	850	305	545
Heavy work, heavy machine work, lifting	Factory	1600	1600	635	965
Heavy work, athleties	Gymnasium	2000	1800	710	1090

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าผลต่างอุณหภูมิของภาระทำความเย็น (CLTD) สำหรับการคำนวณภาระการทำความเย็นจากผนังที่ได้รับแดด Group E wall

North lattitude / CLTD wall facing	Solatime,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	34	29	32	34	33	31	29	26	23	20	17
SW.	22	18	15	12	10	8	6	5	5	6	7	9	12	18	24	32	38	43	45	44	40	35	30	26
W.	25	21	17	14	11	9	7	6	6	6	7	9	11	14	20	27	36	43	49	49	45	40	34	29
NW.	20	17	14	11	9	7	4	5	5	5	6	8	10	13	16	20	26	32	37	38	36	32	28	24

ตารางที่ ข.4 CLTD for conduction through Glass

CLTD for conduction through Glass																								
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
CLTD	1	0	-1	-2	-2	-2	-2	0	2	4	7	9	12	13	14	14	13	12	10	8	6	4	3	2

ตารางที่ ข.5 Cooling Load Factor (CLF) ของผนังโปร่งแสง

Direction	Solar time																						
	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	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
N	0.08	0.07	0.09	0.06	0.07	0.73	0.66	0.65	0.73	0.80	0.86	0.89	0.89	0.86	0.82	0.75	0.78	0.91	0.24	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10
NE	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.56	0.76	0.74	0.58	0.37	0.29	0.27	0.26	0.24	0.22	0.20	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03
E	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.47	0.72	0.80	0.76	0.62	0.41	0.27	0.24	0.22	0.20	0.17	0.14	0.11	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03
SE	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.30	0.57	0.74	0.81	0.79	0.68	0.49	0.33	0.28	0.28	0.22	0.18	0.13	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04
S	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.09	0.16	0.23	0.38	0.58	0.75	0.83	0.80	0.68	0.50	0.35	0.27	0.19	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
SW	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.11	0.14	0.16	0.19	0.22	0.38	0.59	0.57	0.83	0.81	0.69	0.45	0.16	0.12	0.10	0.09	0.07	0.06
W	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.31	0.53	0.72	0.82	0.81	0.61	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
NW	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.11	0.14	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.30	0.52	0.74	0.82	0.69	0.16	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06

ตารางที่ ข.6 ค่าปรับแก้ละติจูดและเดือน (CLTD Correction for Latitude and Month : LM)

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

ภาคผนวก ค

ราคาวัสดุกรอบอาคารค่าแรงในการก่อสร้างและราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้ง

ตารางที่ ค.1 ราคาและค่าแรงของวัสดุก่อสร้างกรอบอาคาร

วัสดุ	ความหนา (mm)	ราคาวัสดุ (บาท/m^2)	ราคาค่าแรงในการก่อสร้าง (บาท/m^2)	ราคารวม (บาท/m^2)
อิฐมอญ	70	131	89	220
อิฐมวลเบา	75	140	56	196
ยิปซั่มบอร์ด	12	100	69	169
ฉนวนใยแก้ว 2 นิ้ว	50	122	37	159
ฉนวนใยแก้ว 4 นิ้ว	100	244	73	317
ปูนฉาบด้านนอกอิฐมวลเบา	15	56	82	138
ปูนฉาบด้านในอิฐมวลเบา	15	56	96	152
ปูนฉาบด้านนอกอิฐมอญ	15	48	82	130
ปูนฉาบด้านในอิฐมอญ	15	48	95	143
กระจกใสชั้นเดียว	6	155	107	262
กระจกเขียวชั้นเดียว	6	192	107	299
กระจกฉนวน 2 ชั้น	12	2250	214	2464

ที่มา : สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า กระทรวงพาณิชย์ พ.ศ.2561

ตารางที่ ค.2 สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเครื่องปรับอากาศกับราคพร้อติดตั้ง

ขนาดเครื่องทำความเย็น	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเครื่องปรับอากาศ(x) กับราคาพร้อมติดตั้ง(Y)
9000 - 20000	Y=1.091x + 2500
21000 - 35000	Y=1.103x + 3000
36000 - 39000	Y=1.12x + 3500
40000 - 60000	Y=1.034x + 5000

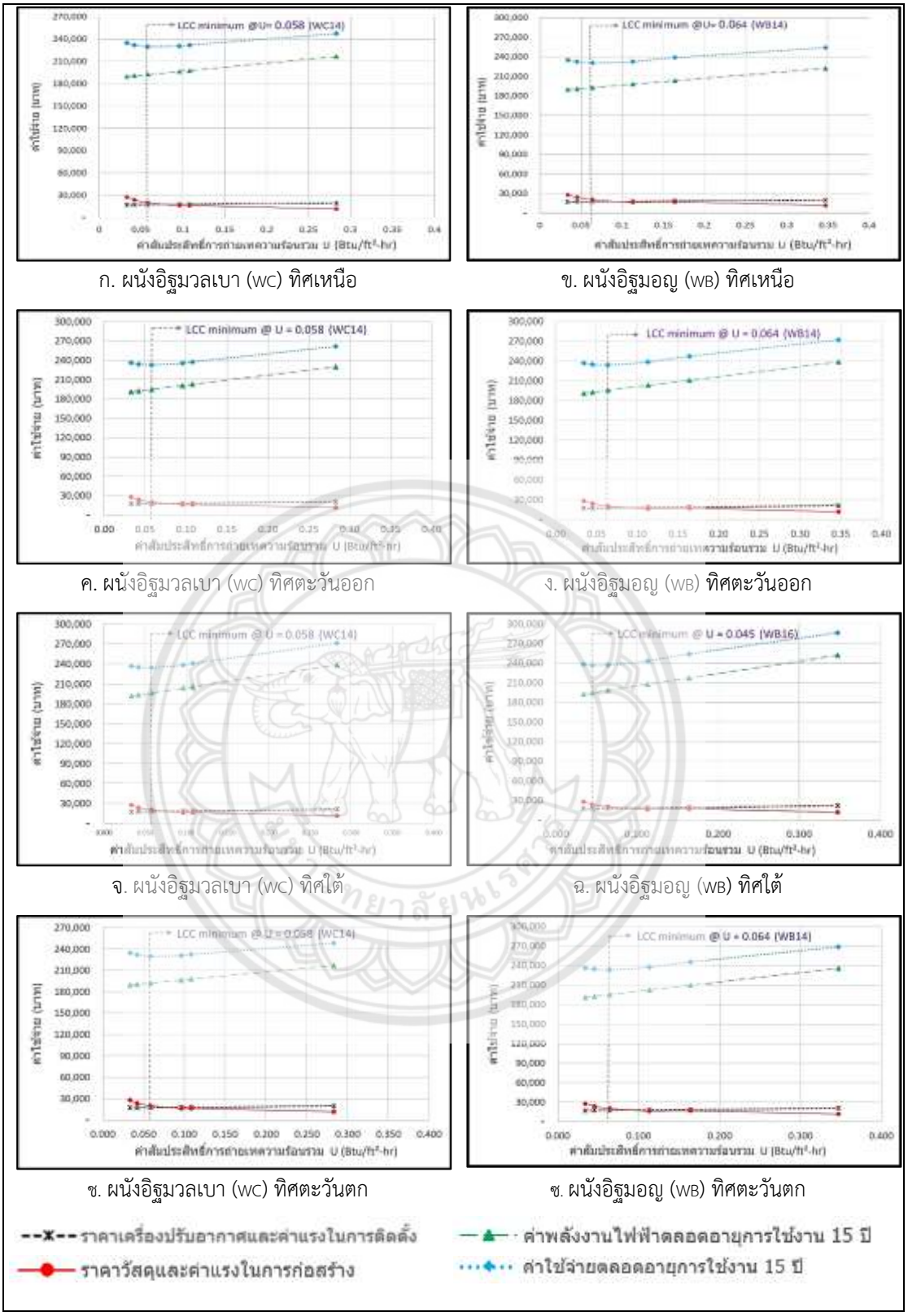
หมายเหตุ ให้ Y = ax + b โดยให้ Y คือราคาเครื่องปรับอากาศพร้อมติดตั้ง และ x คือของขนาดเครื่องปรับอากาศ

ภาคผนวก ง

กราฟค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานที่ต่ำที่สุดของผนังภายนอกอาคารทุกทิศทางและอัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนัง

อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 0

(WWR = 0%)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศเหนือ

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศเหนือ

ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศตะวันออก

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศตะวันออก

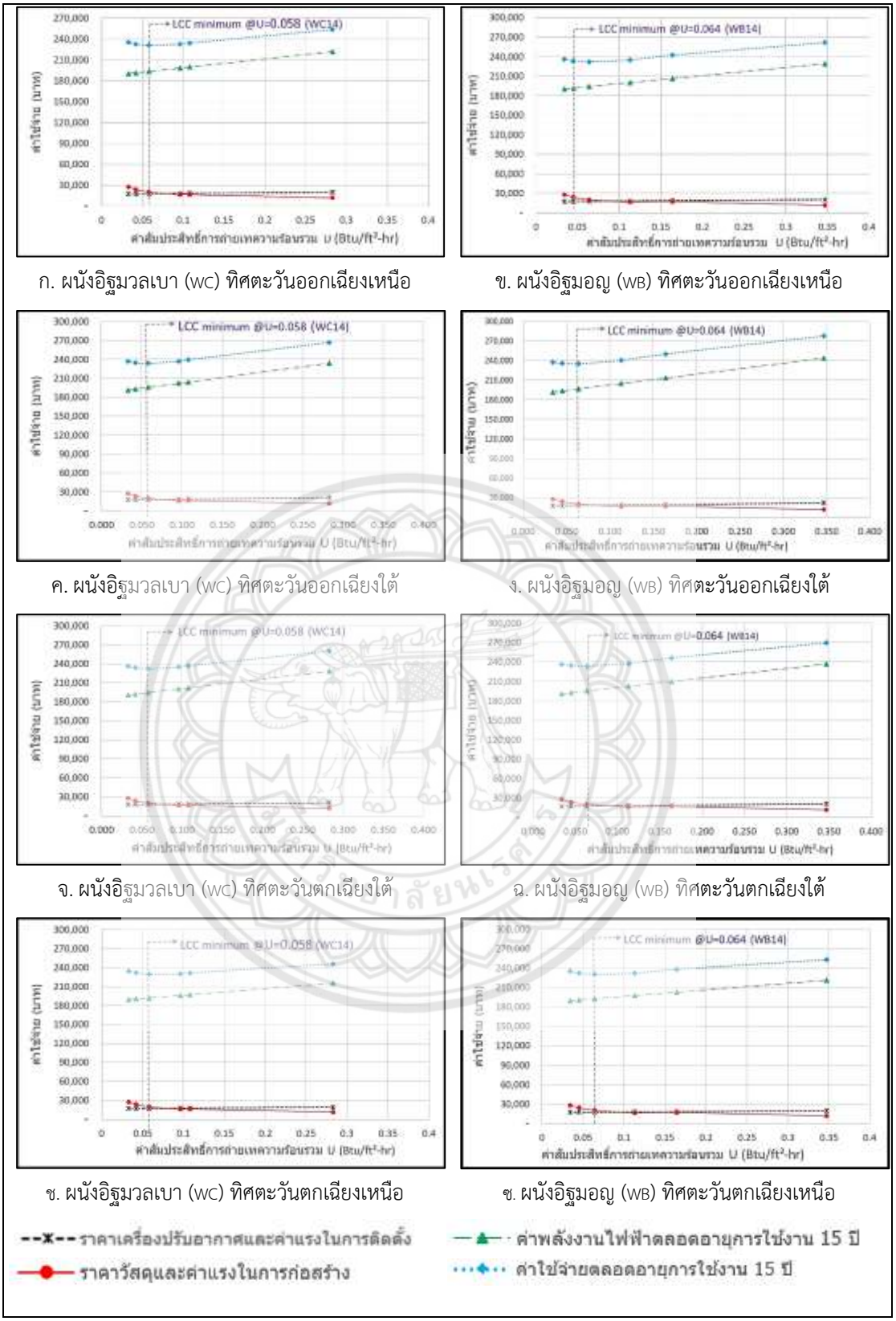
จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศใต้

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศใต้

ช. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศตะวันตก

ซ. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศตะวันตก

รูปที่ ง.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกัน (WWR= 0)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศตะวันออกเฉียงใต้

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศตะวันออกเฉียงใต้

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศตะวันตกเฉียงใต้

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศตะวันตกเฉียงใต้

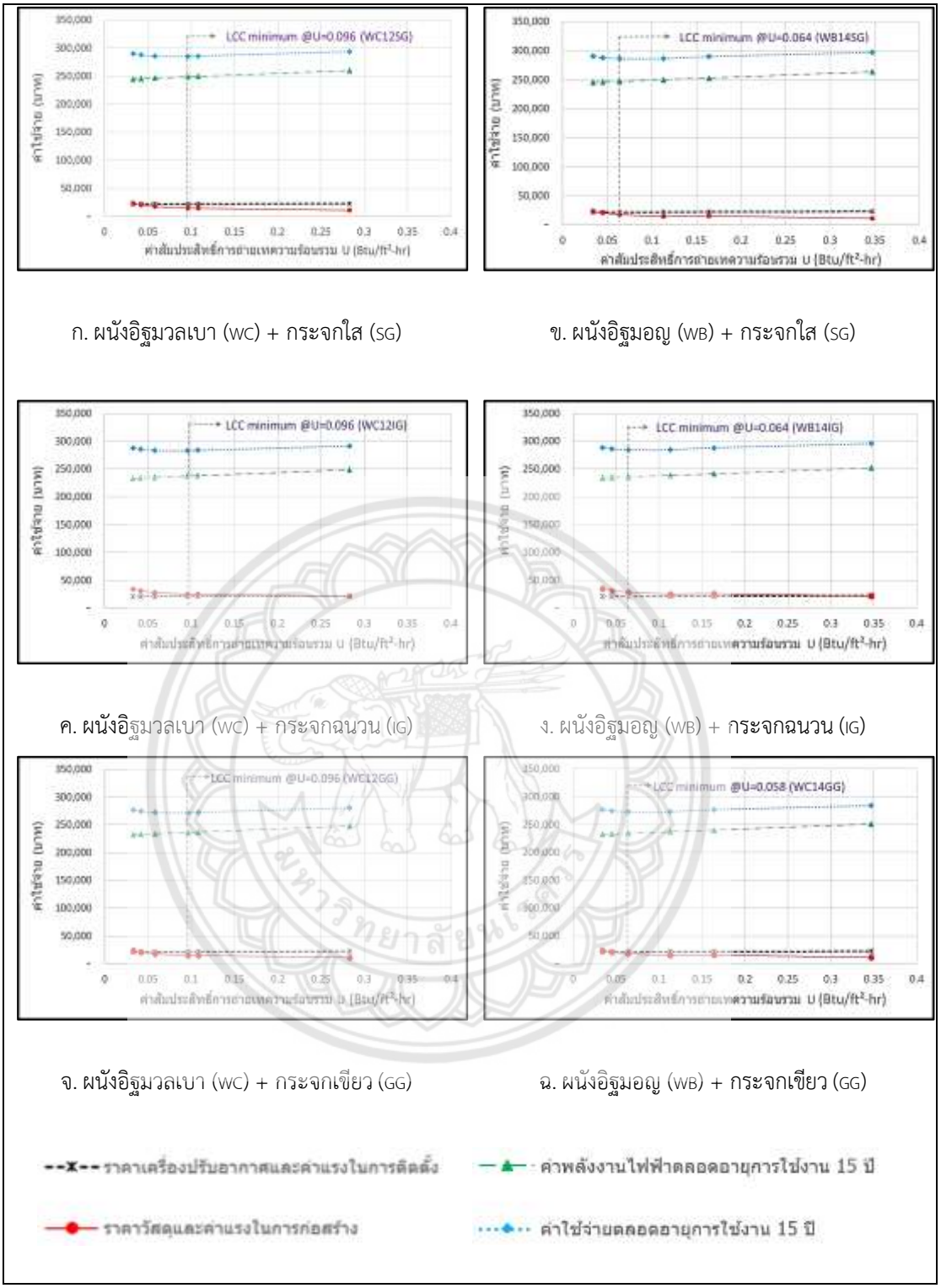
ช. ผนังอิฐมวลเบา (WC) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

ซ. ผนังอิฐมอญ (WB) ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ

รูปที่ ง.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกัน (WWR= 0)

อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 20

(WWR = 20%)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

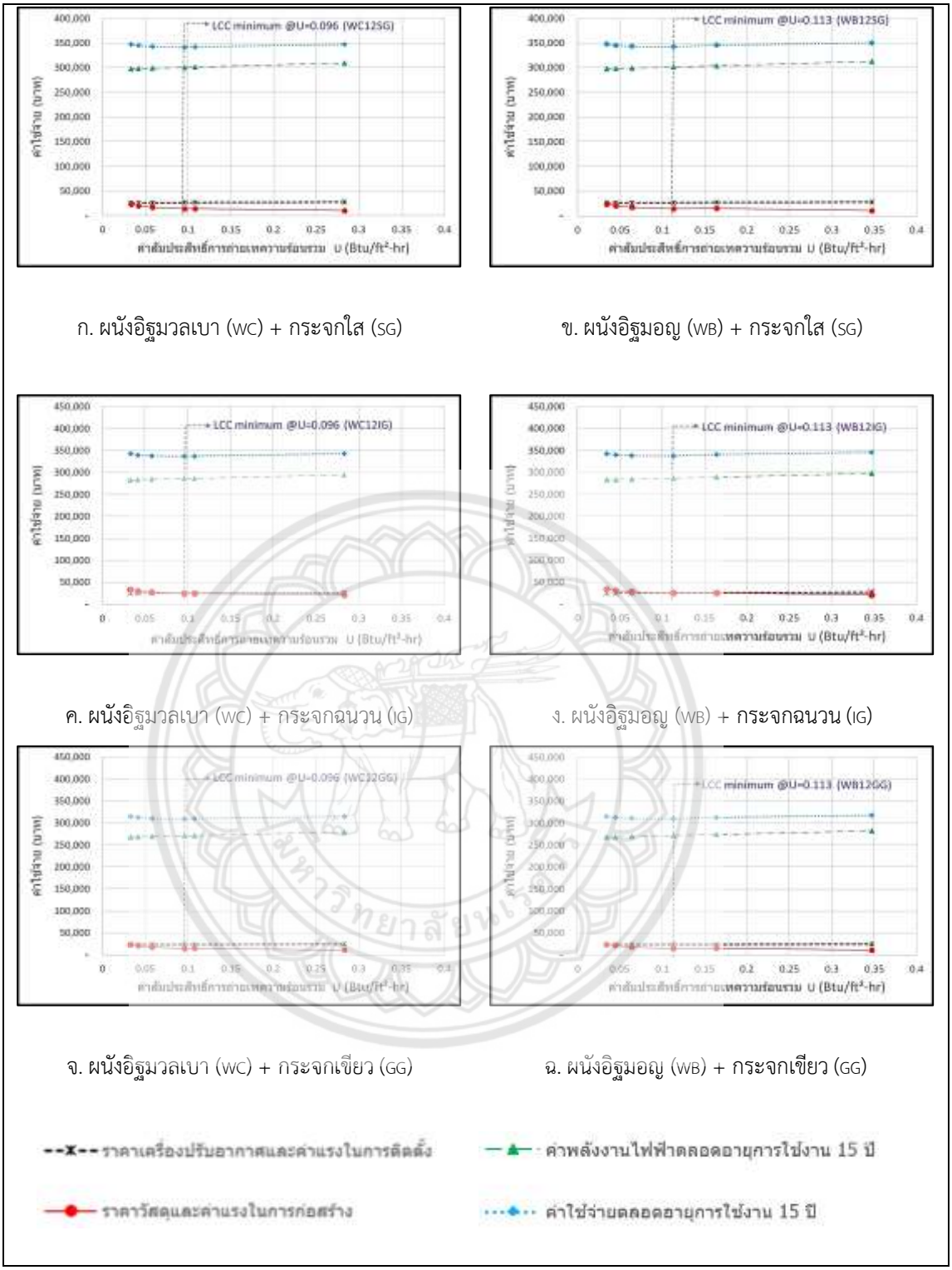
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศเหนือ (WWR= 20)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

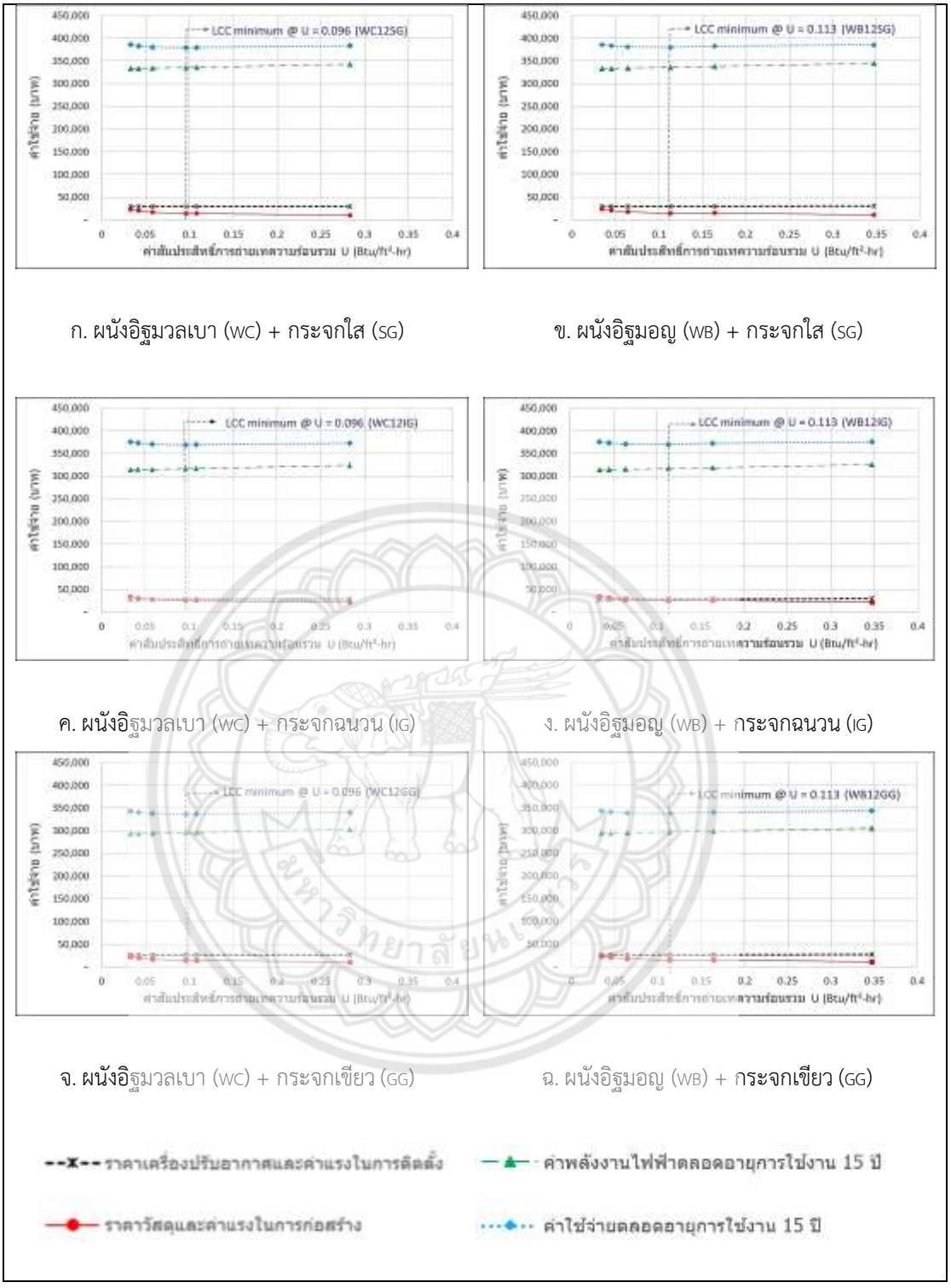
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (WWR= 20)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

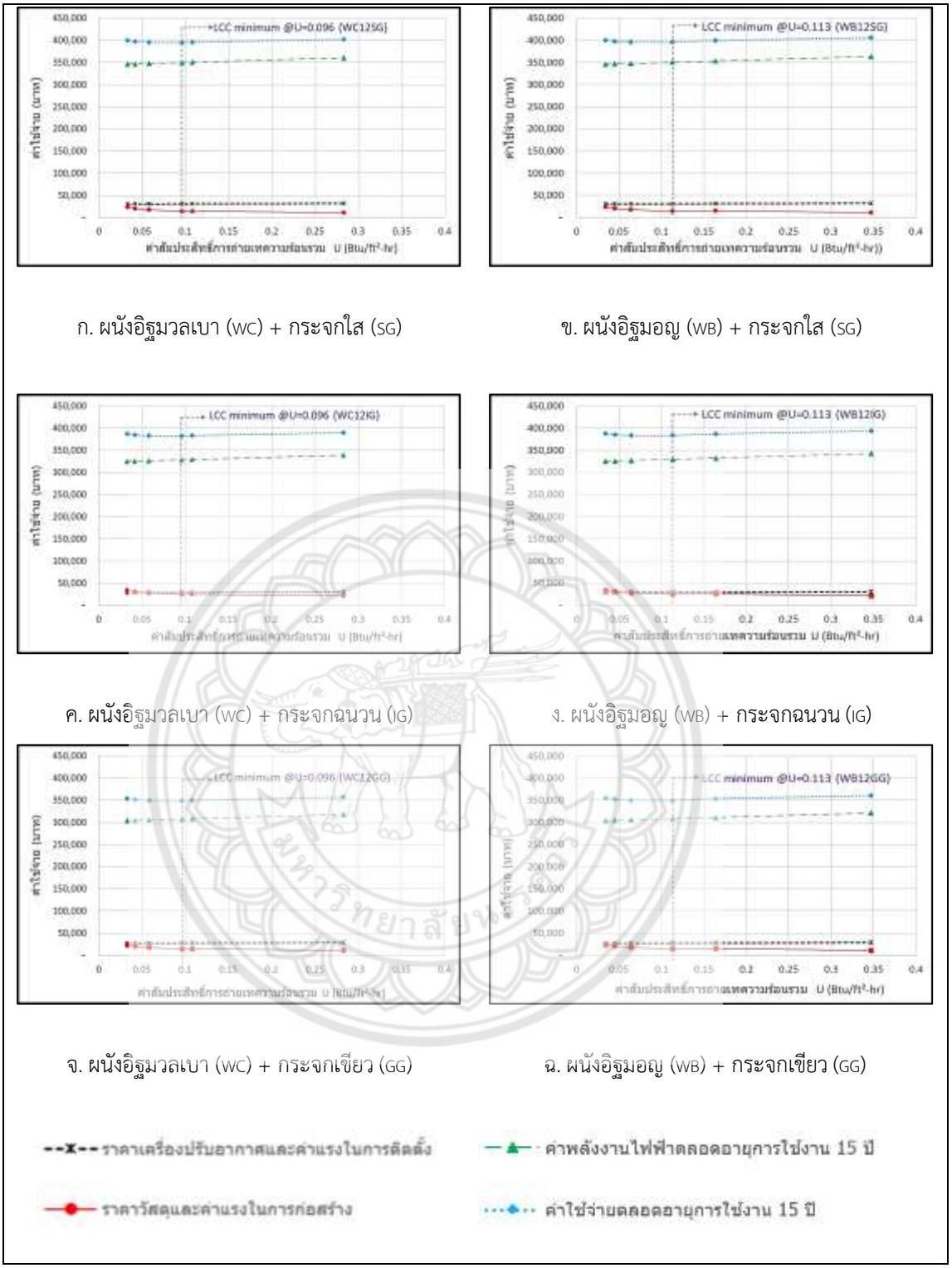
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออก (WWR= 20)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

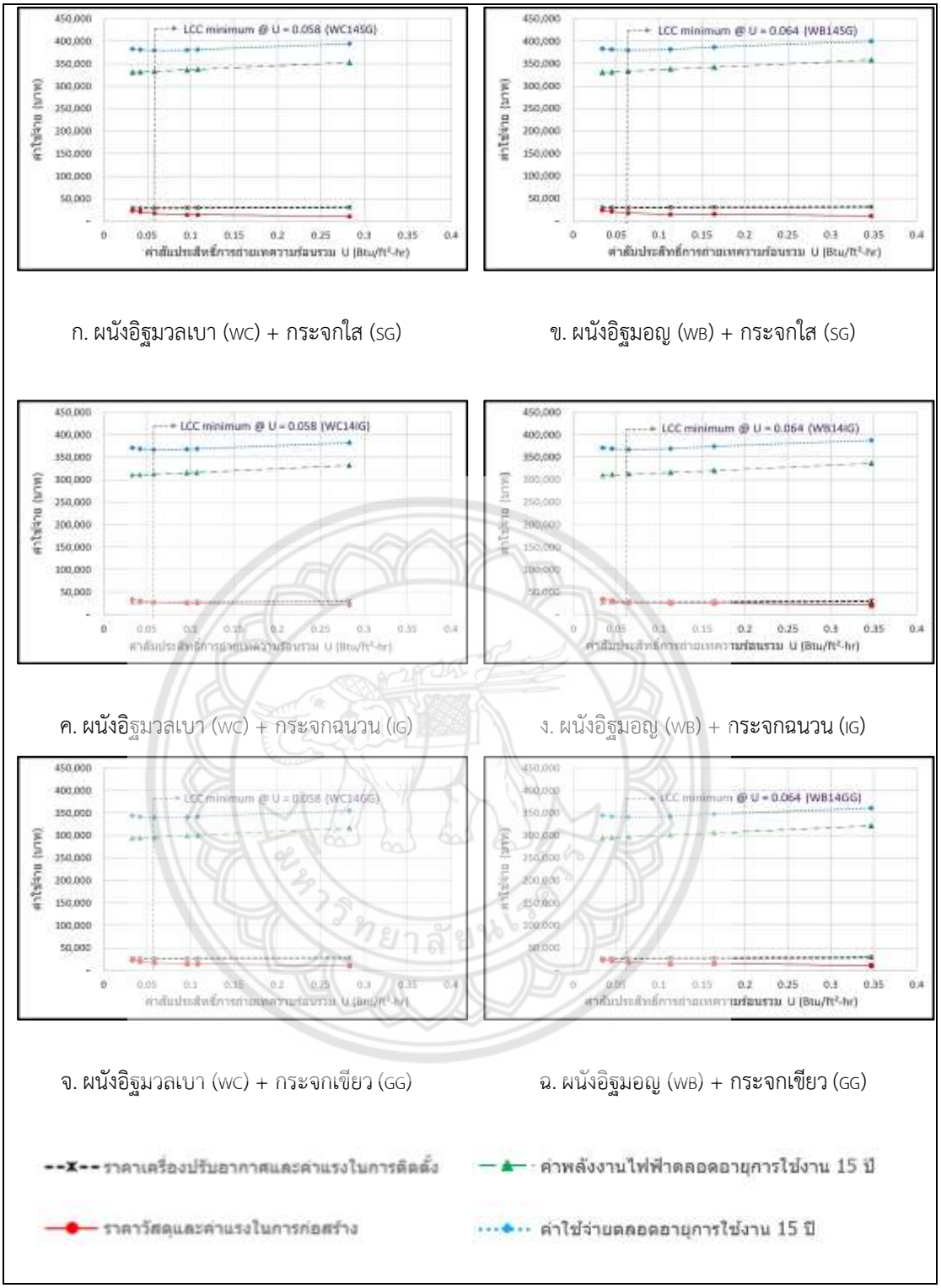
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

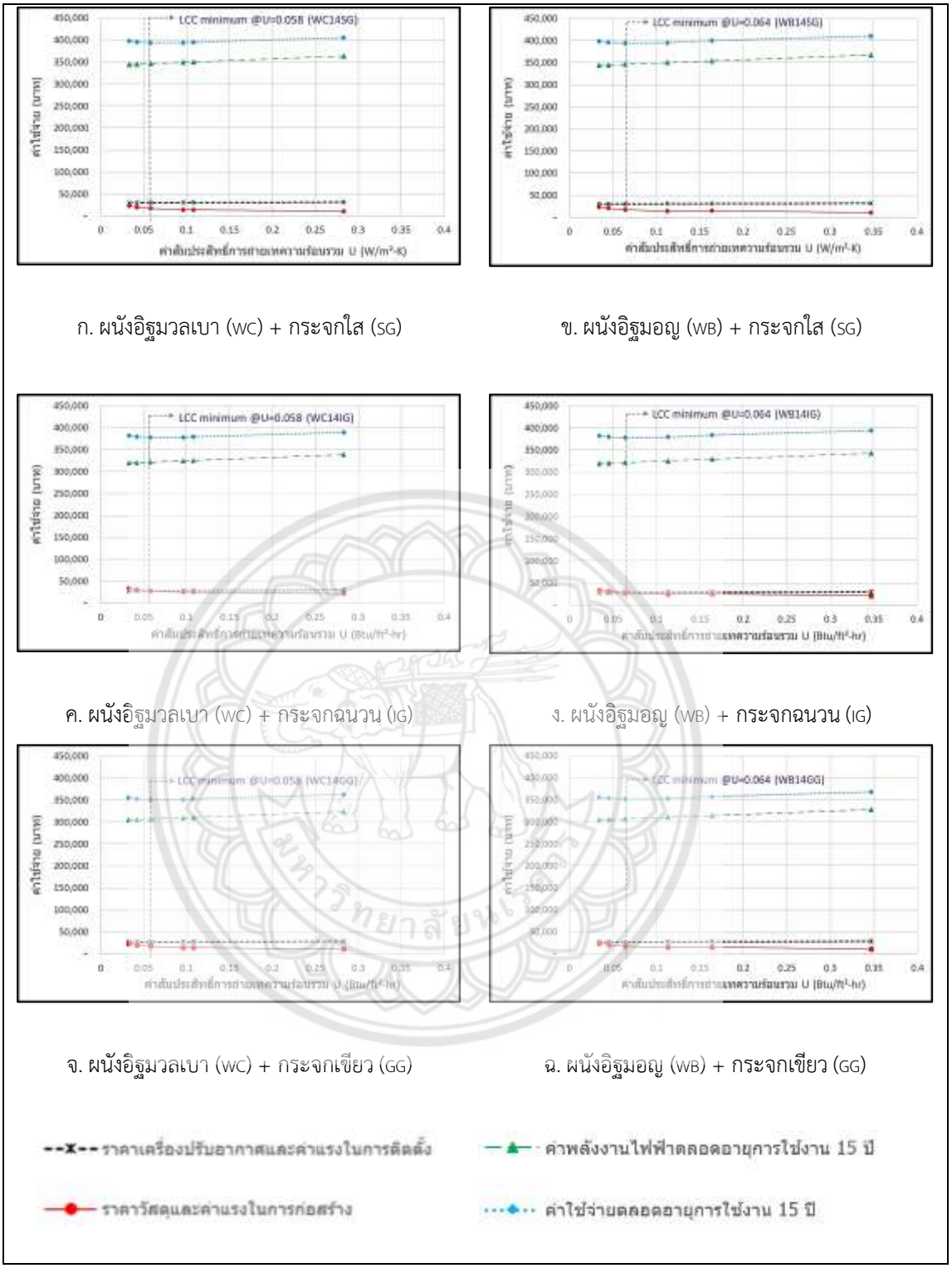
จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (WWR= 20)



รูปที่ ง.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศใต้ (WWR= 20)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

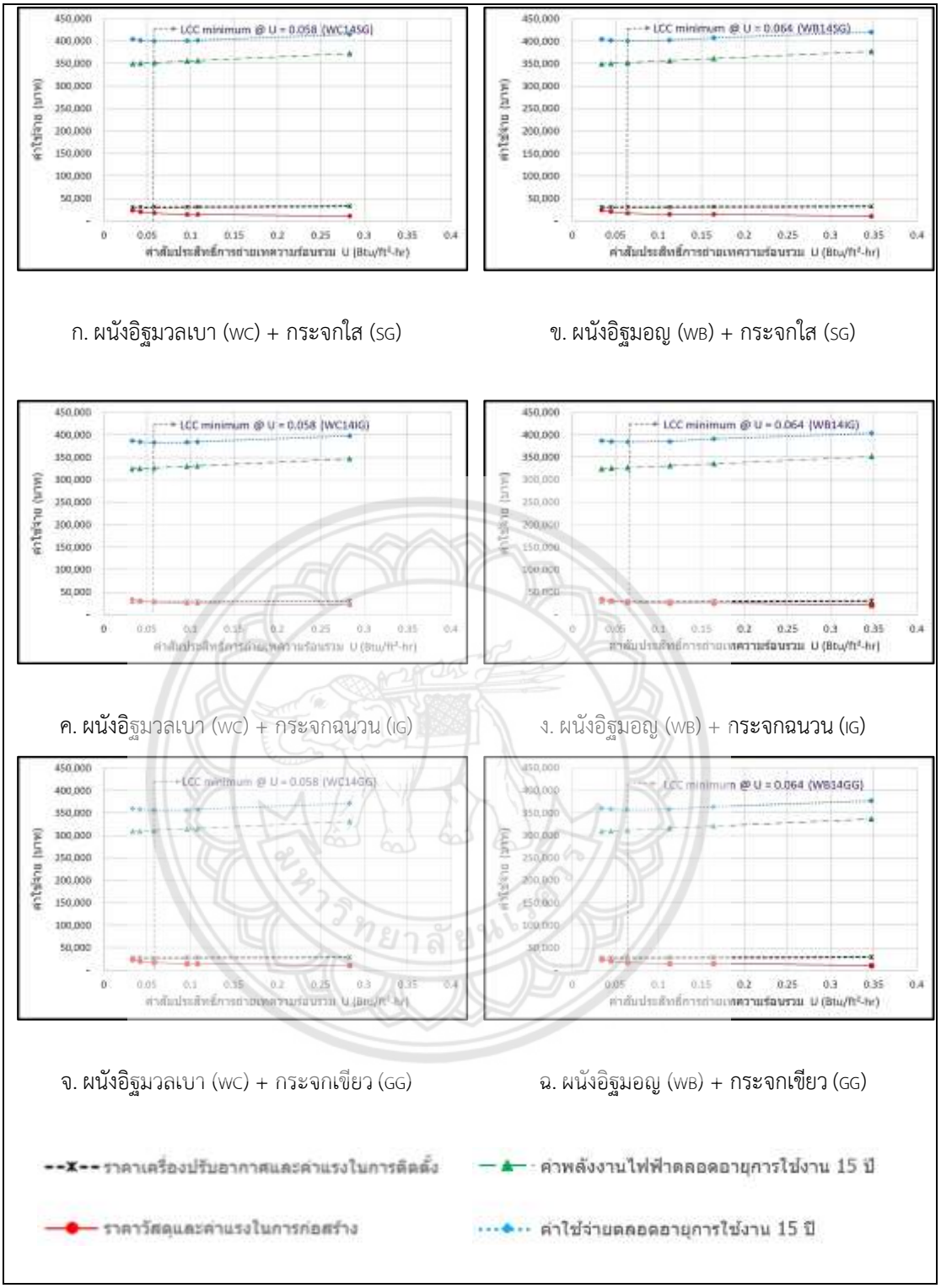
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WWR= 20)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

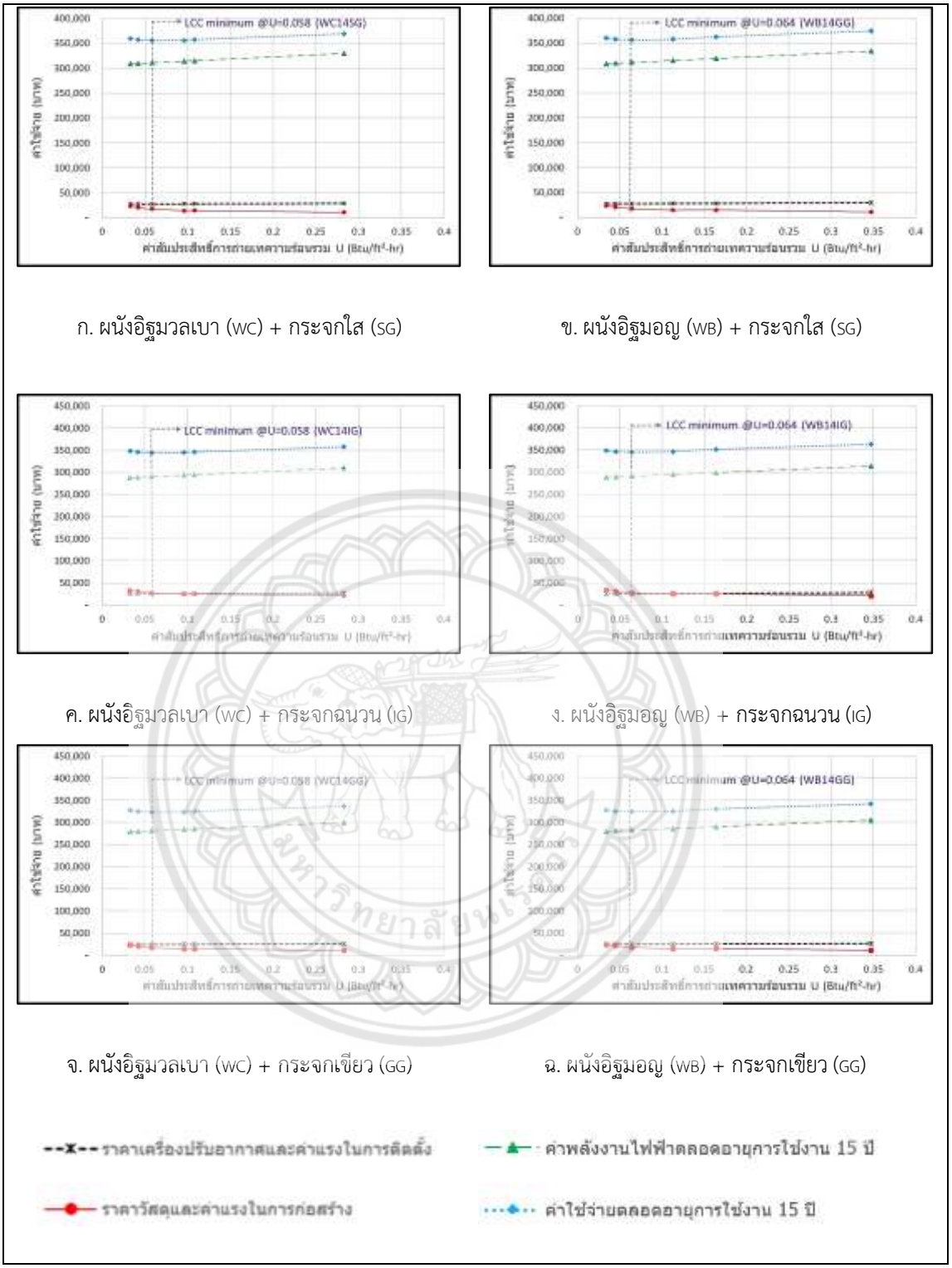
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตก (WWR= 20)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

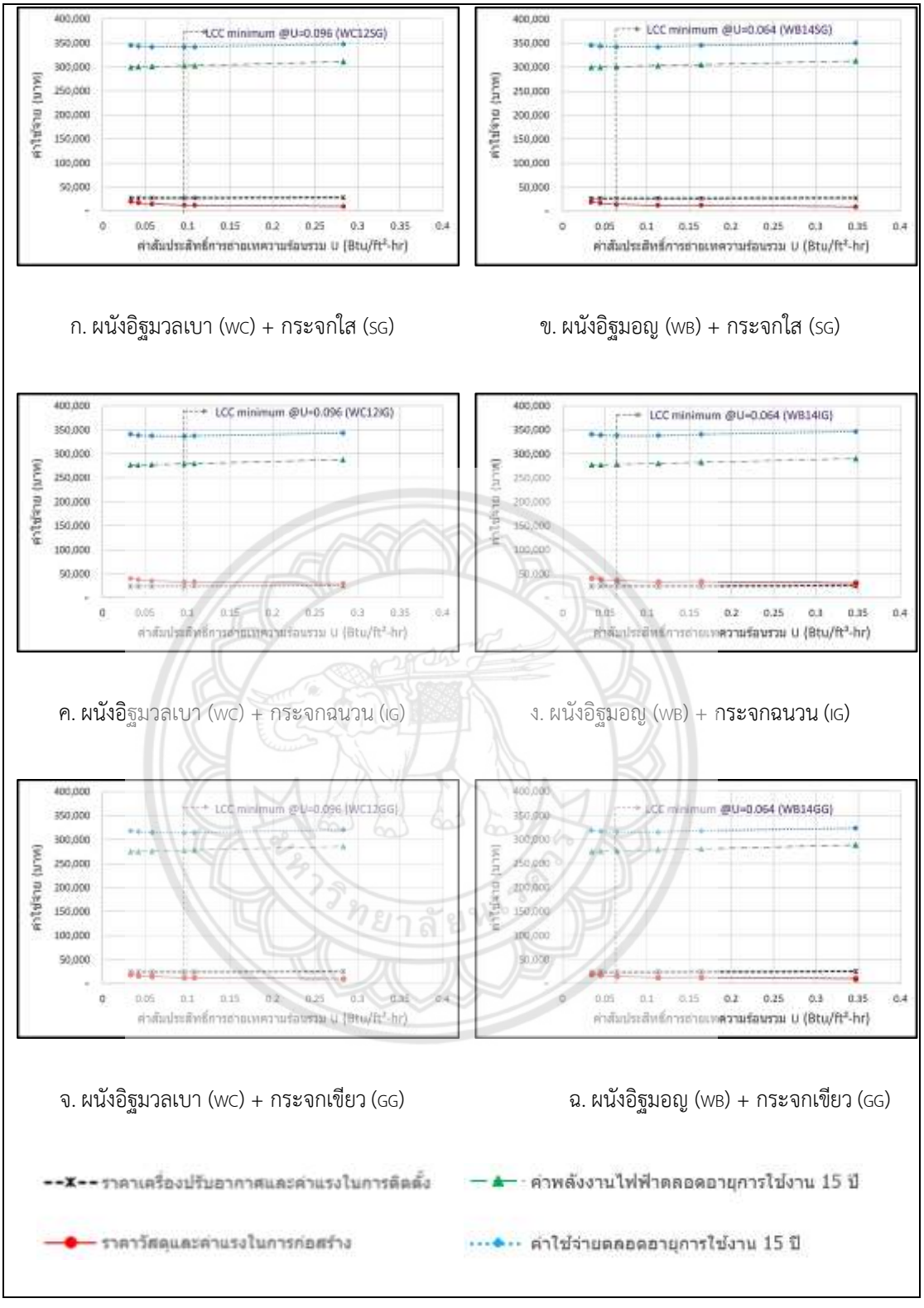
จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WWR= 20)

อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 40

(WWR = 40%)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

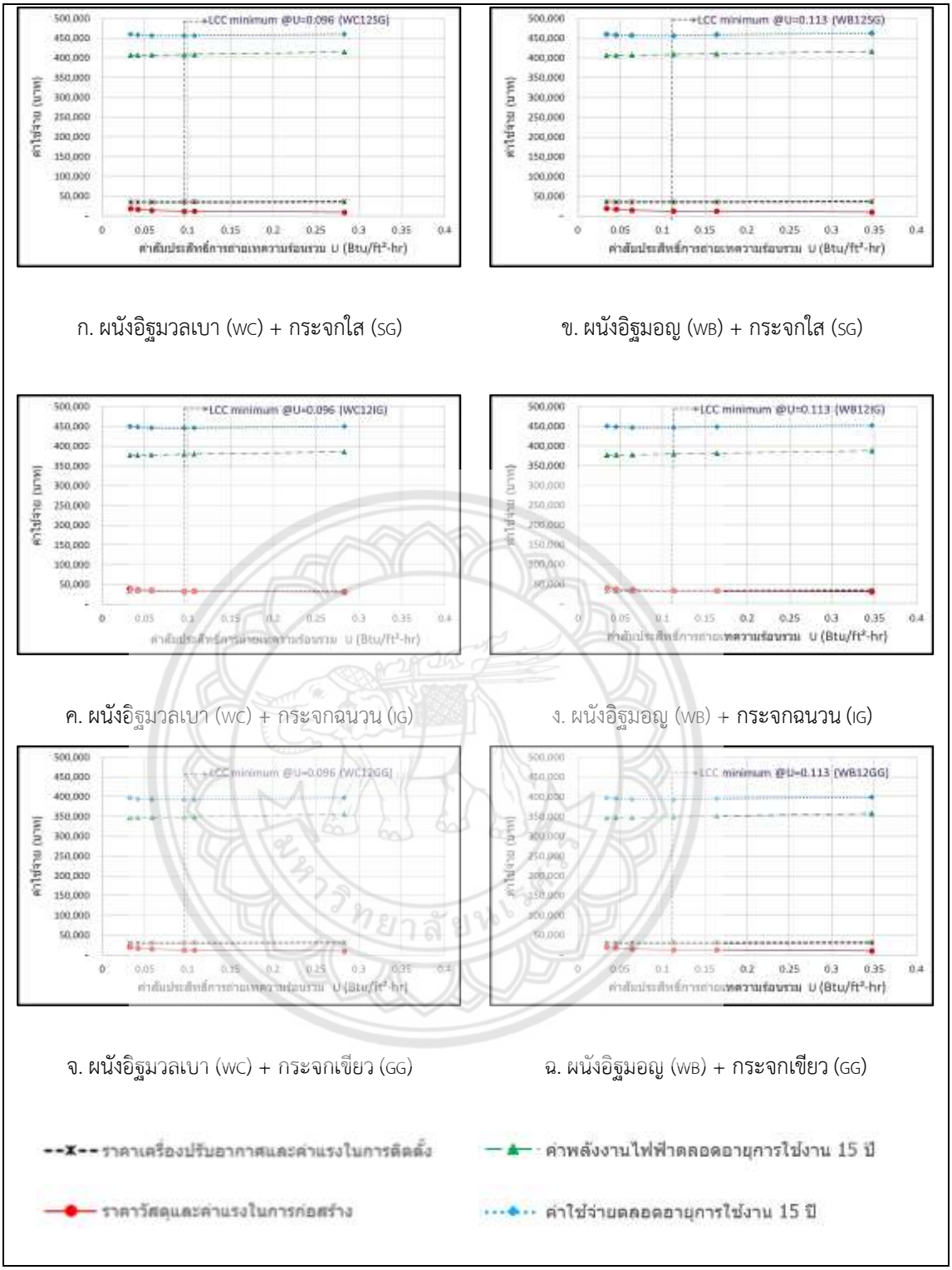
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศเหนือ (WWR= 40)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

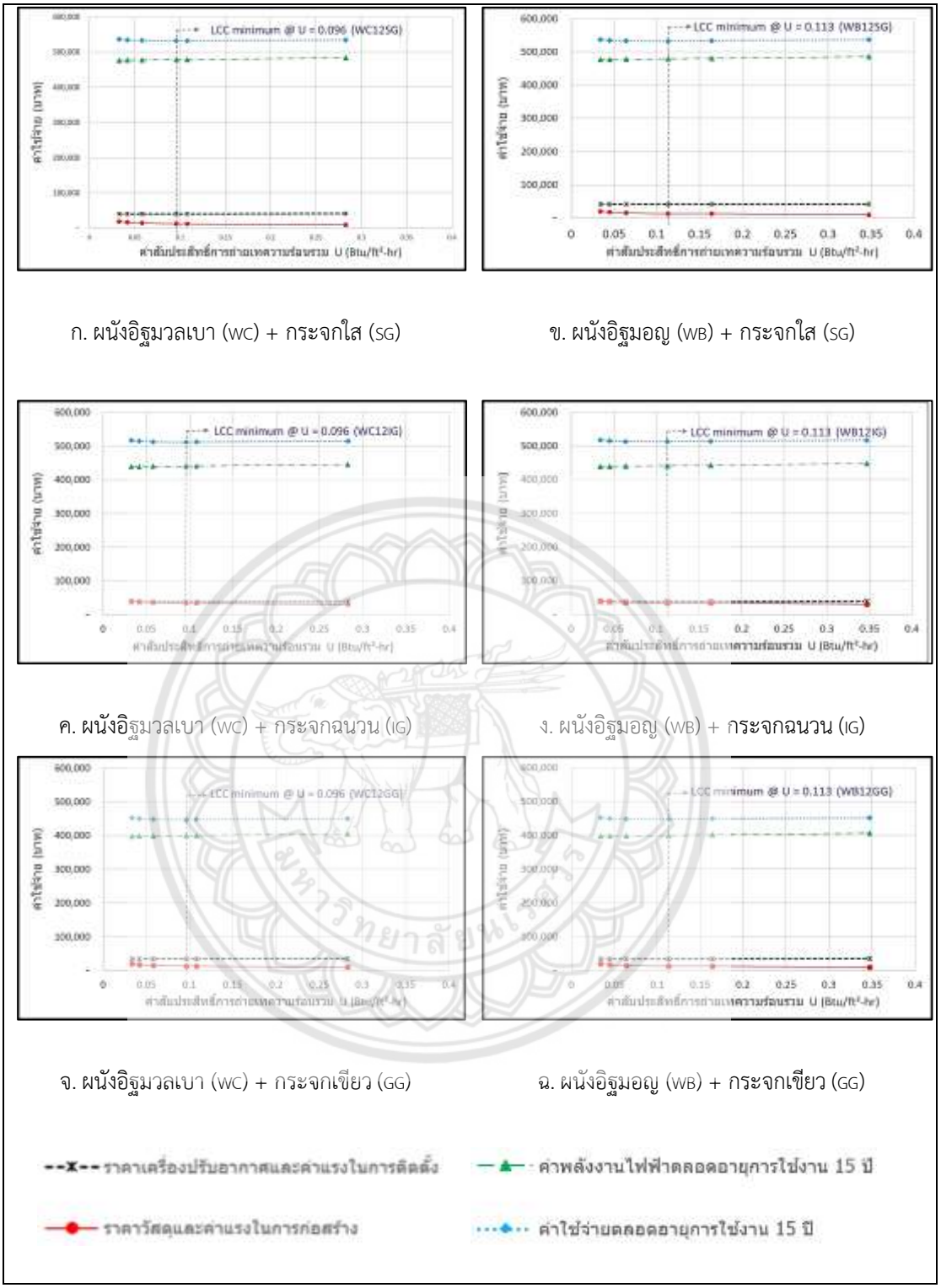
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (WWR= 40)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

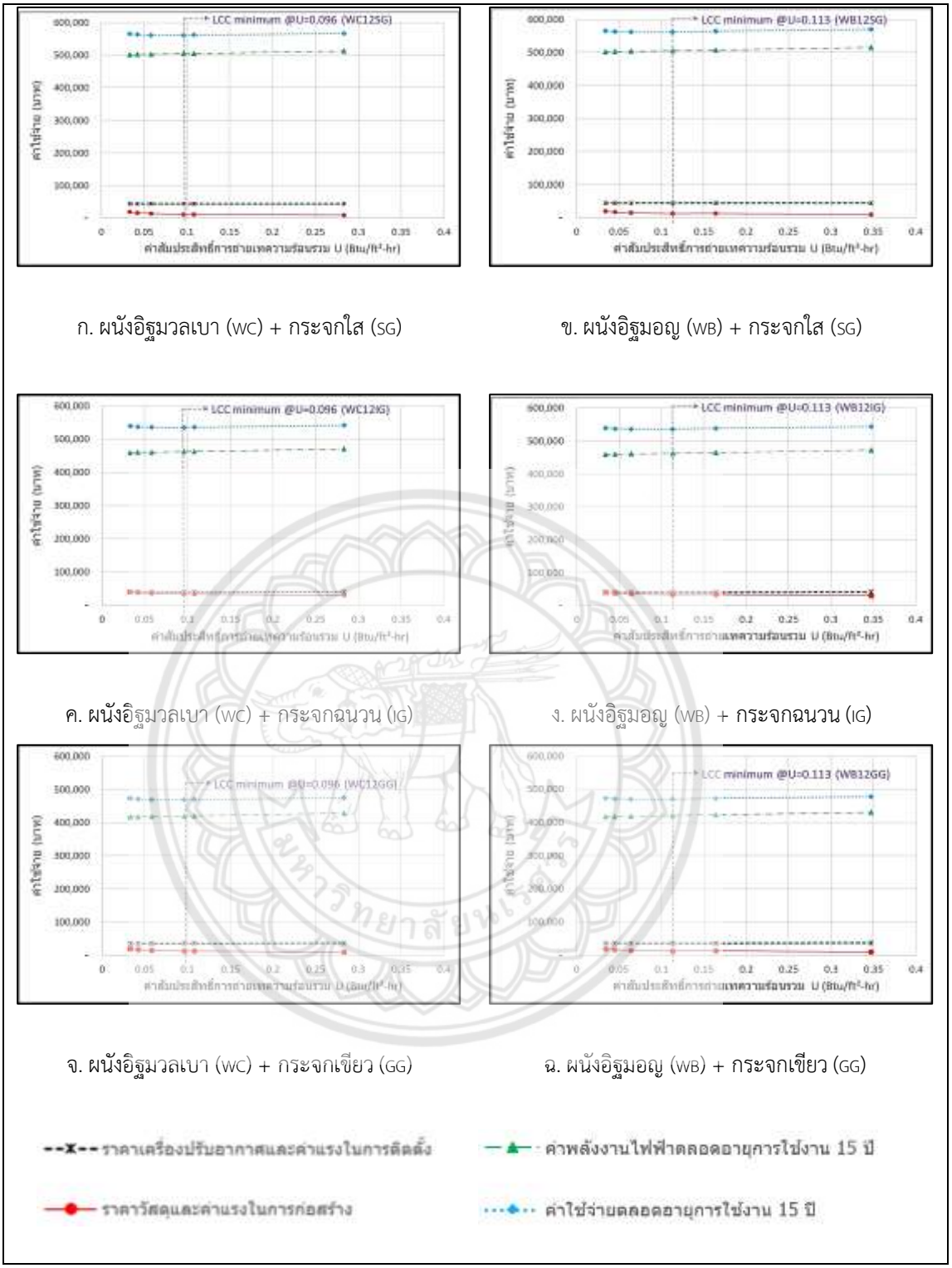
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออก (WWR= 40)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

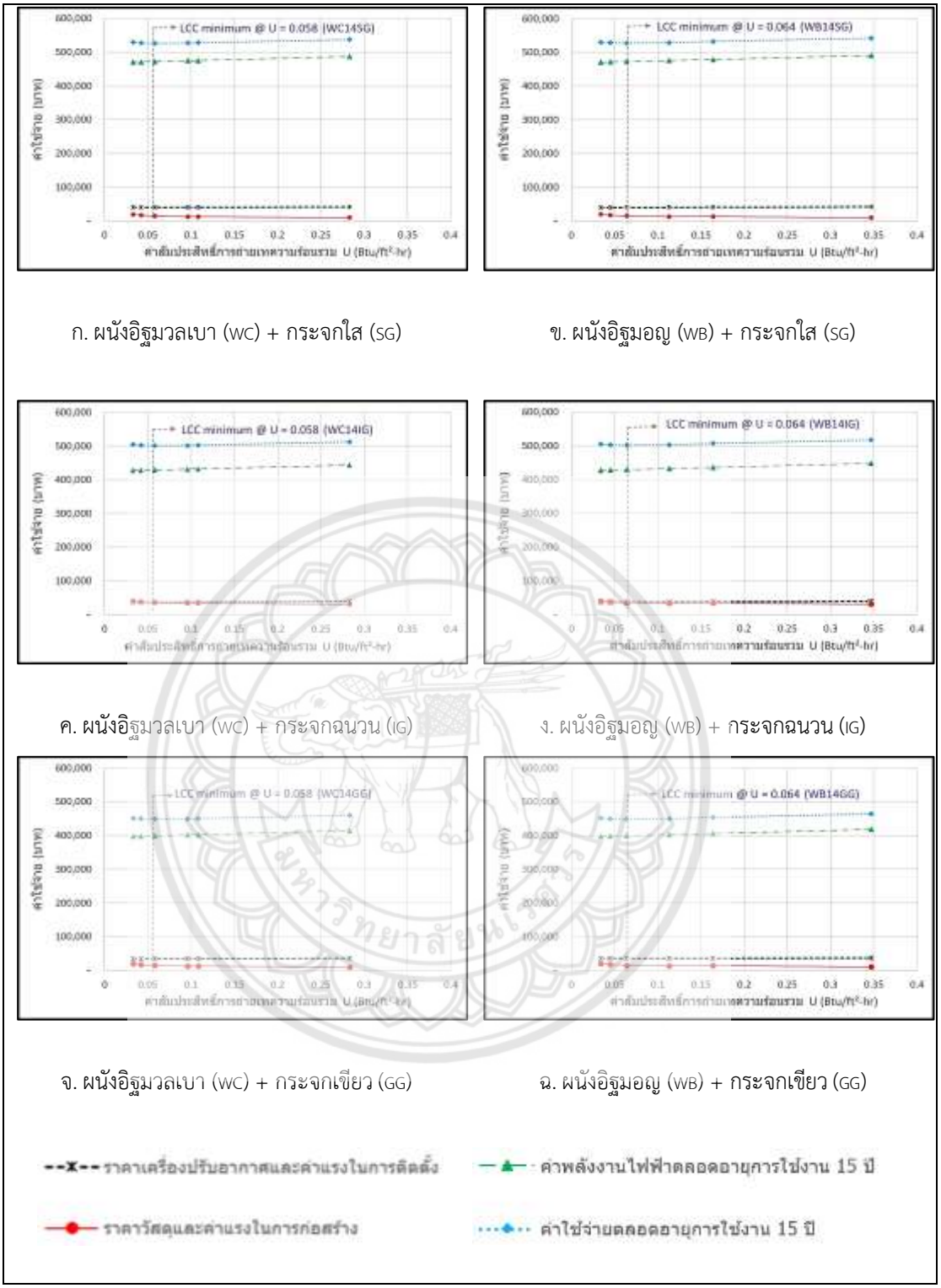
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (WWR= 40)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

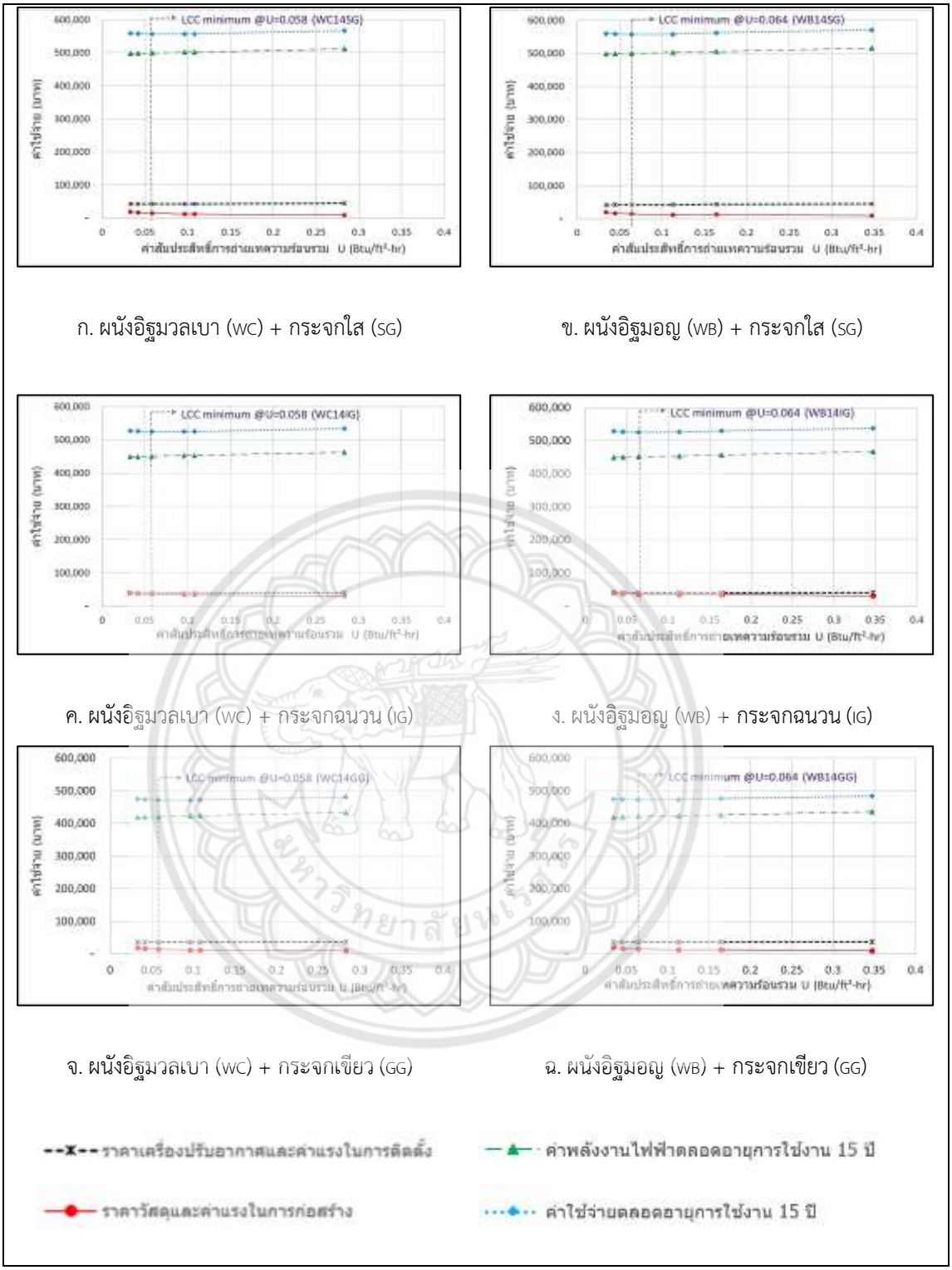
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศใต้ (WWR= 40)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

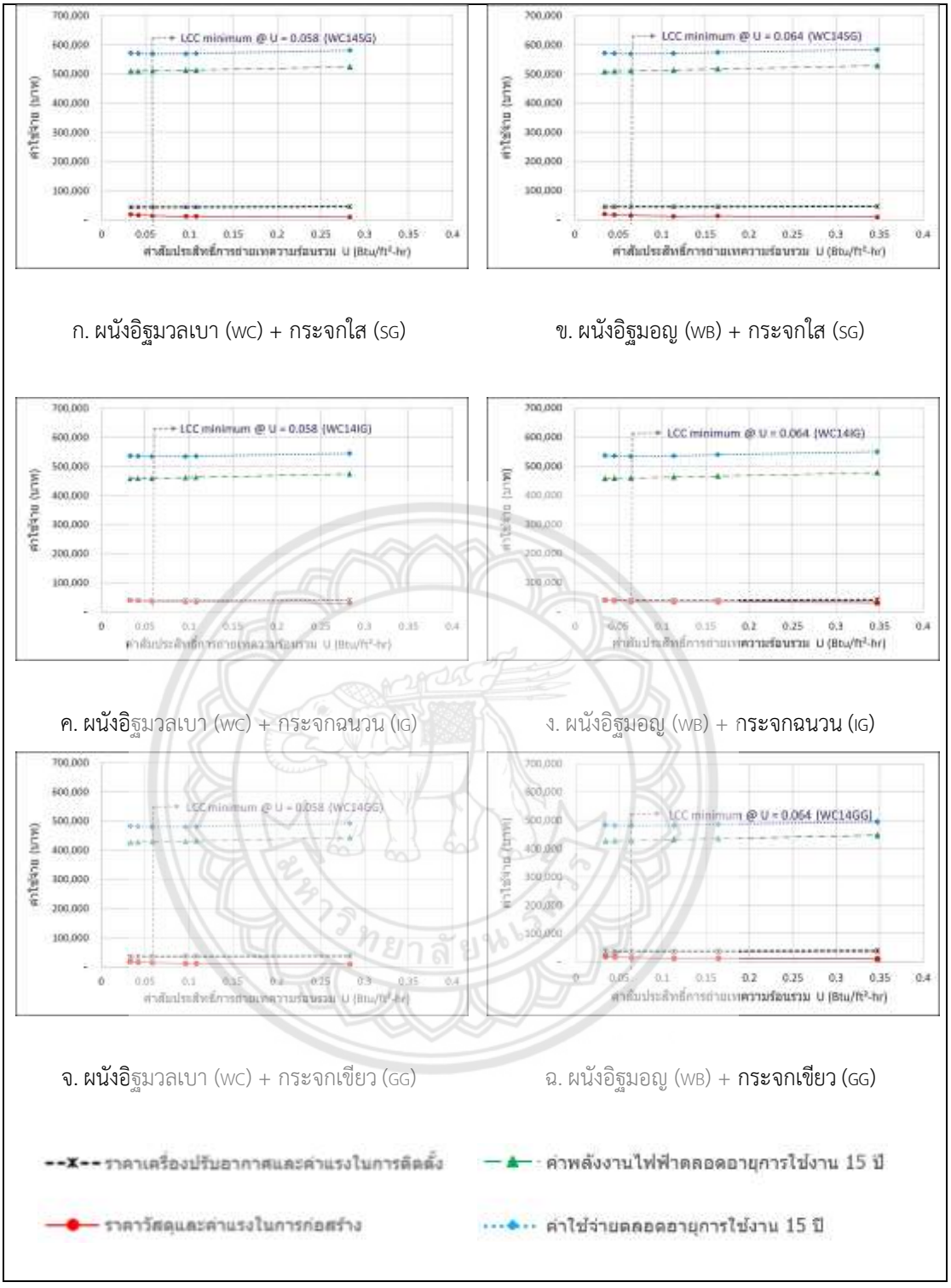
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WWR= 40)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

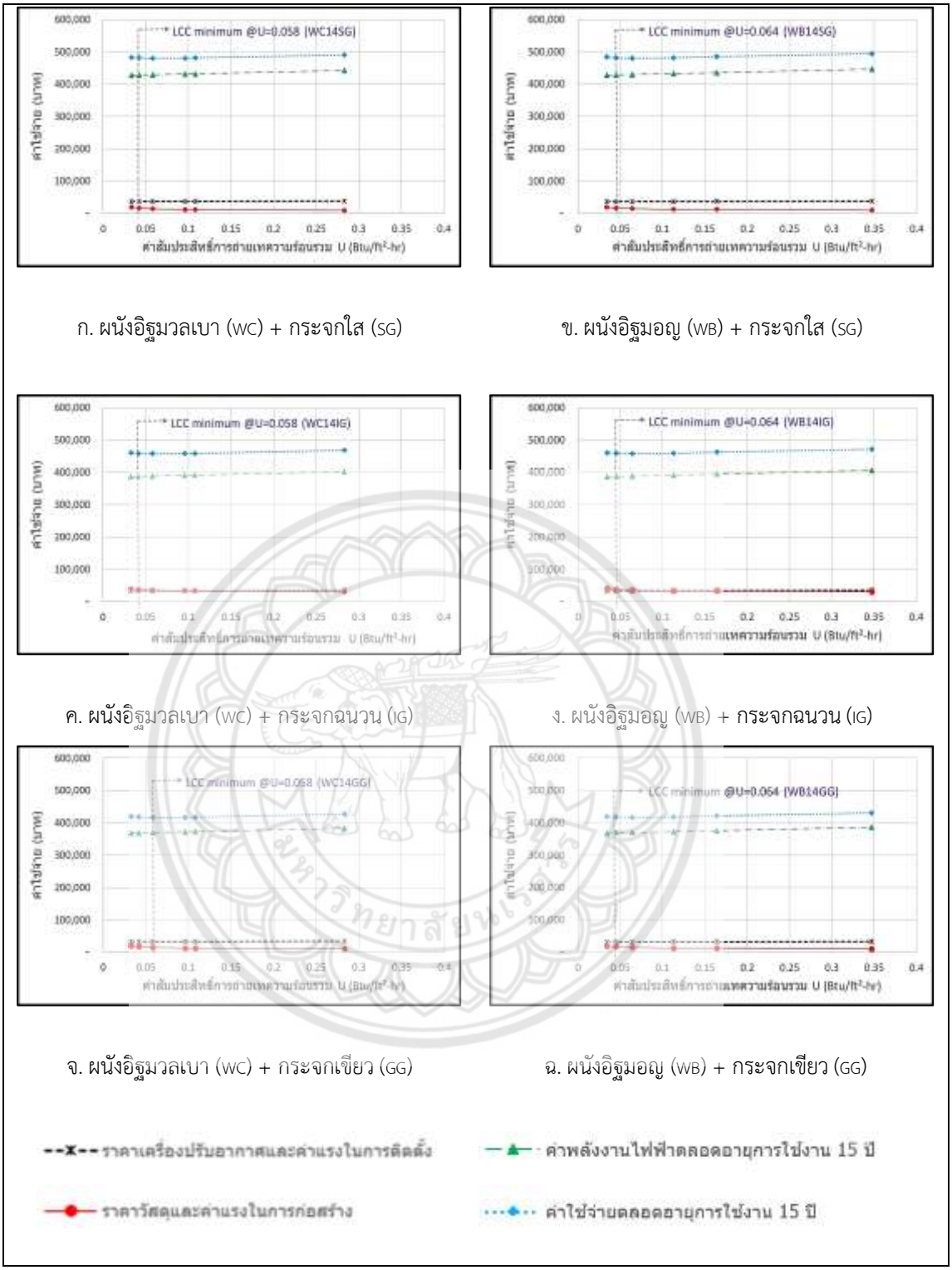
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตก (WWR= 40)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

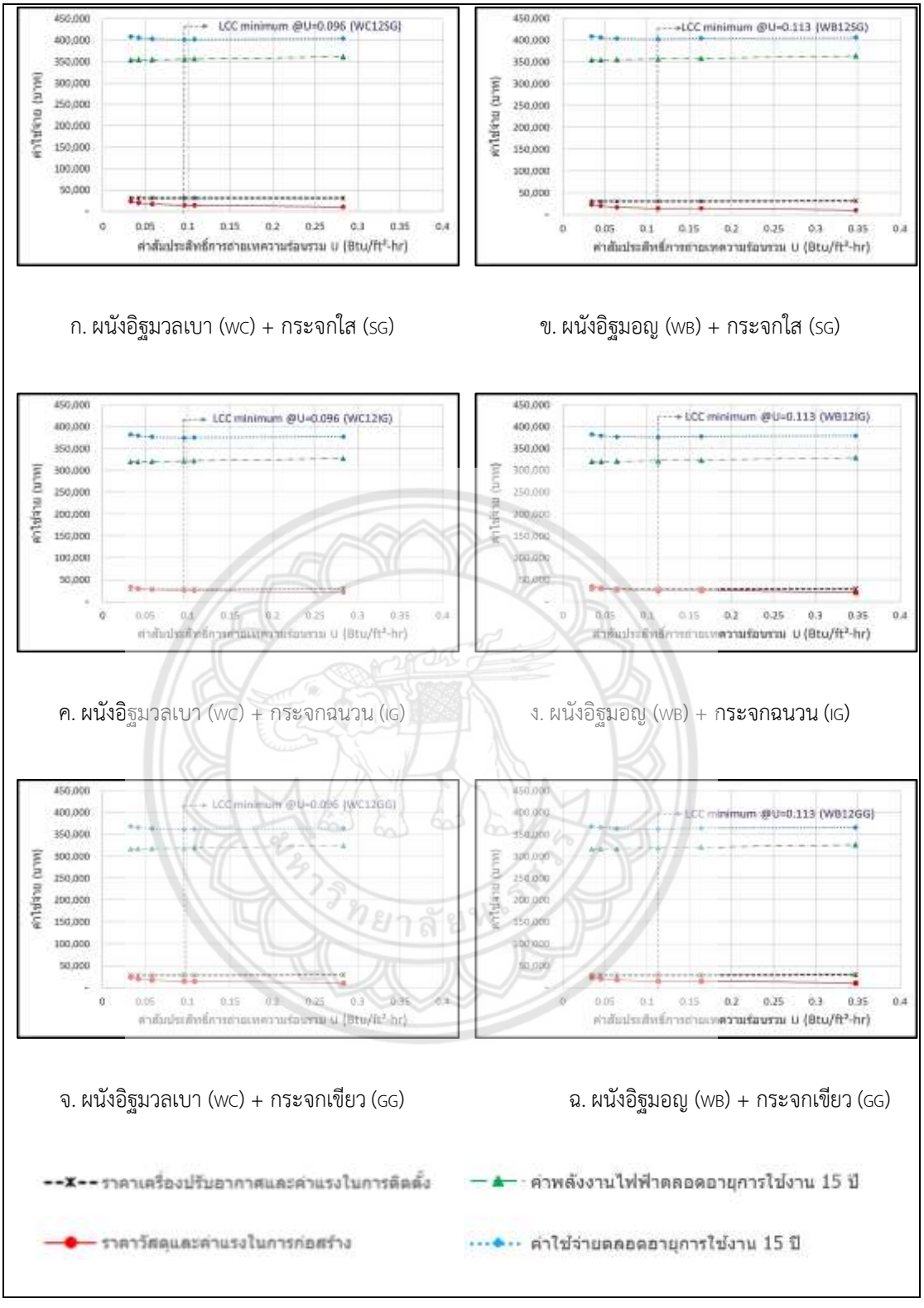
จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WWR= 40)

อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 60

(WWR = 60%)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

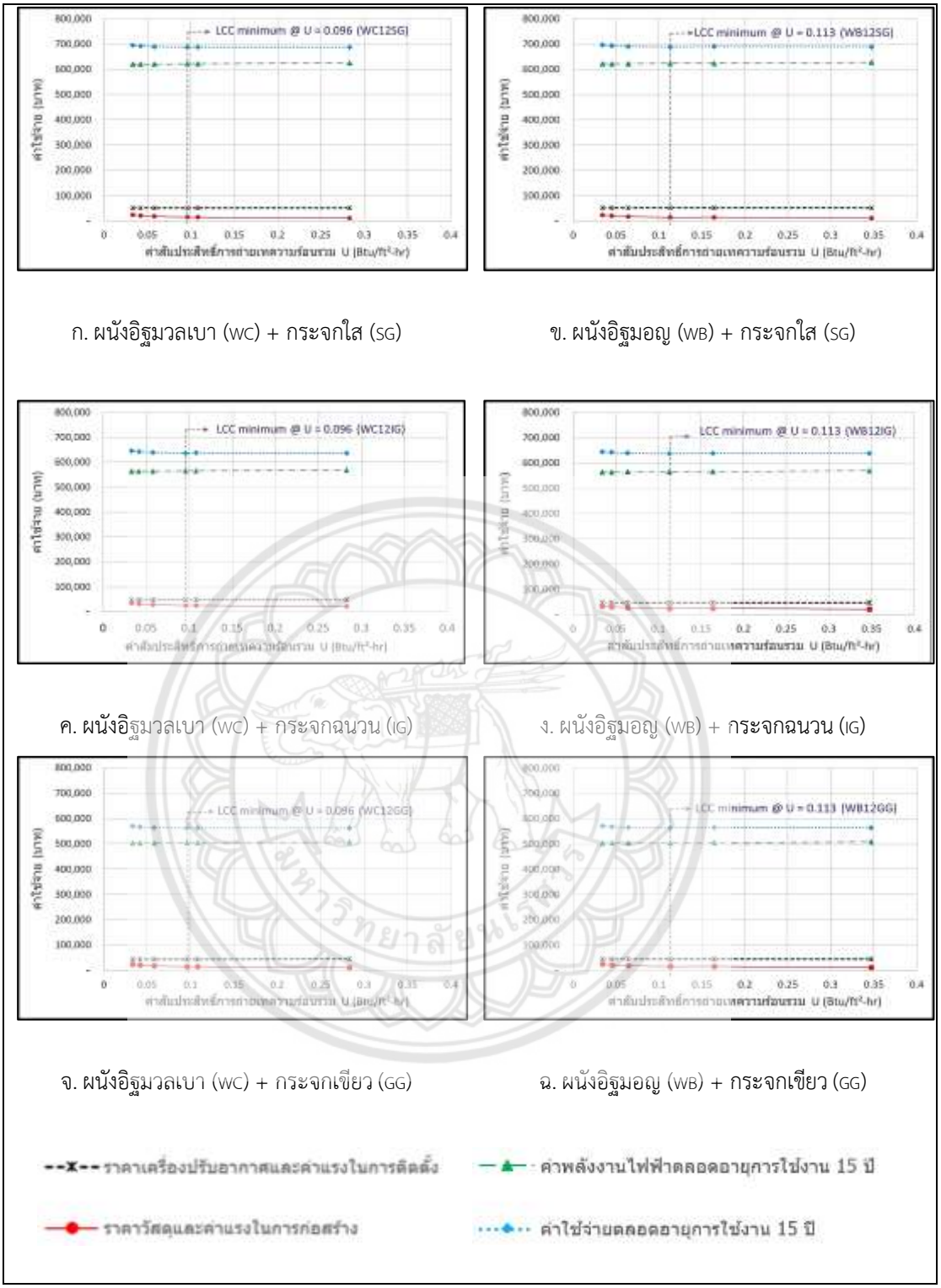
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศเหนือ (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

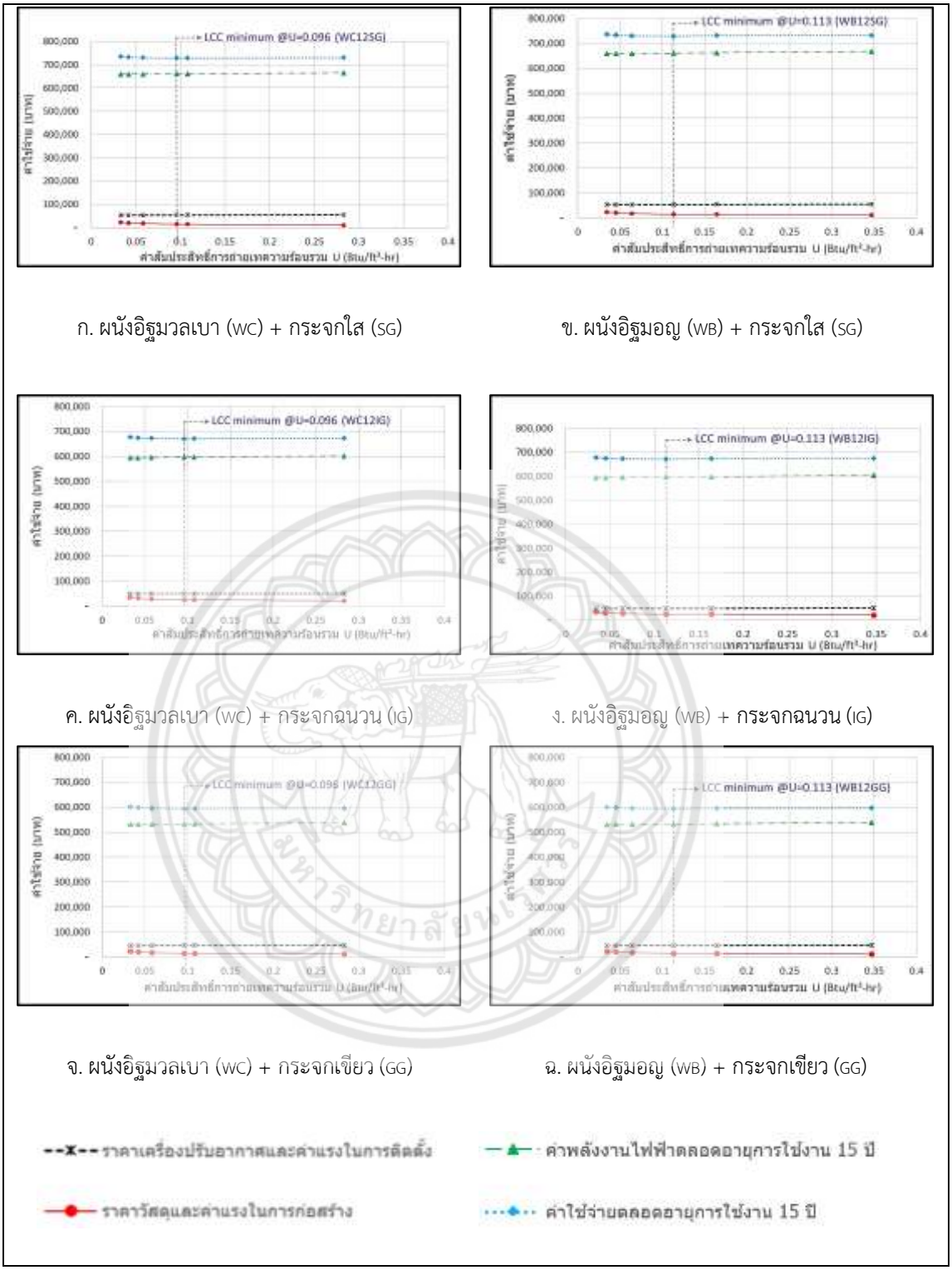
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออก (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

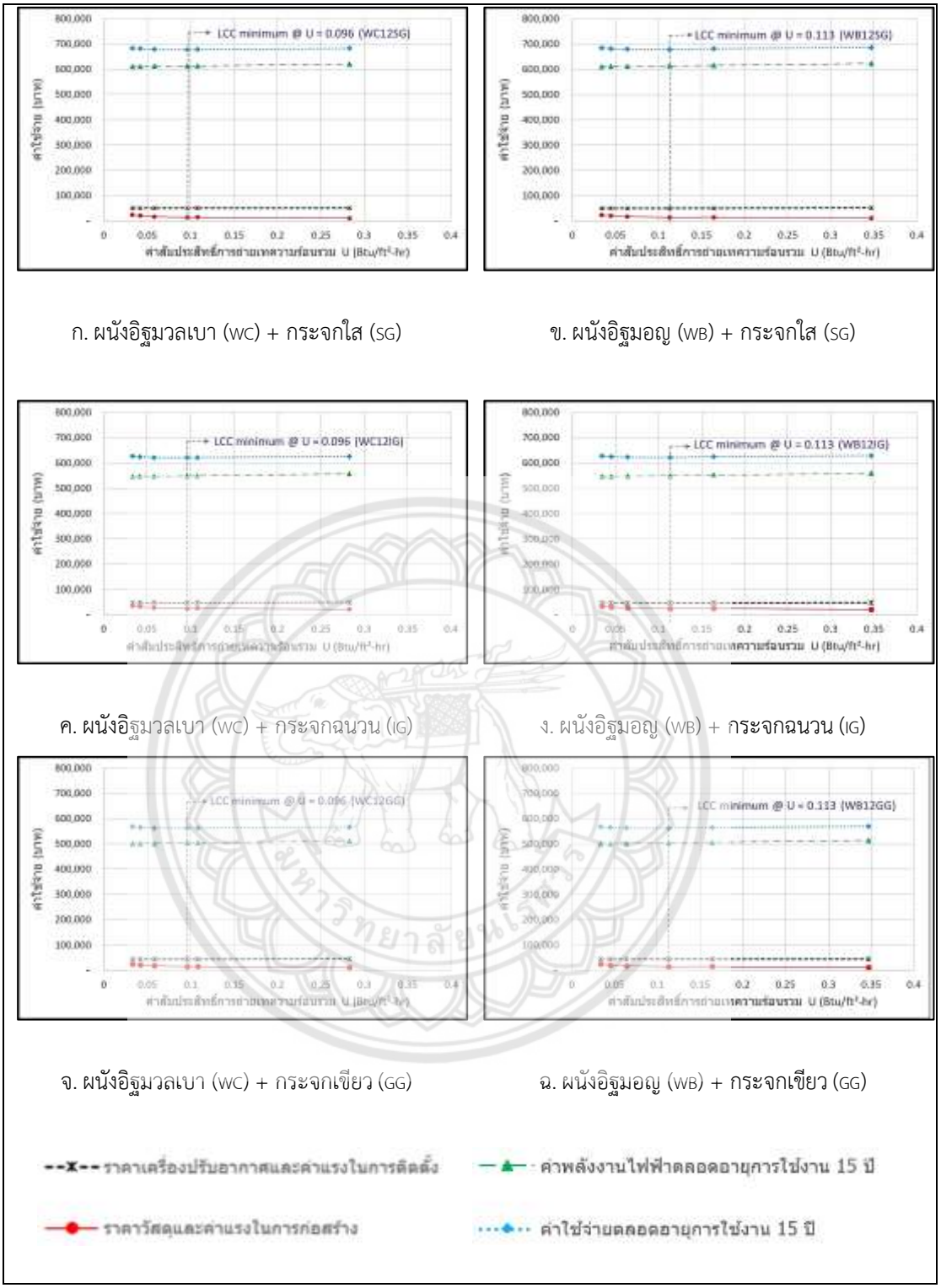
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

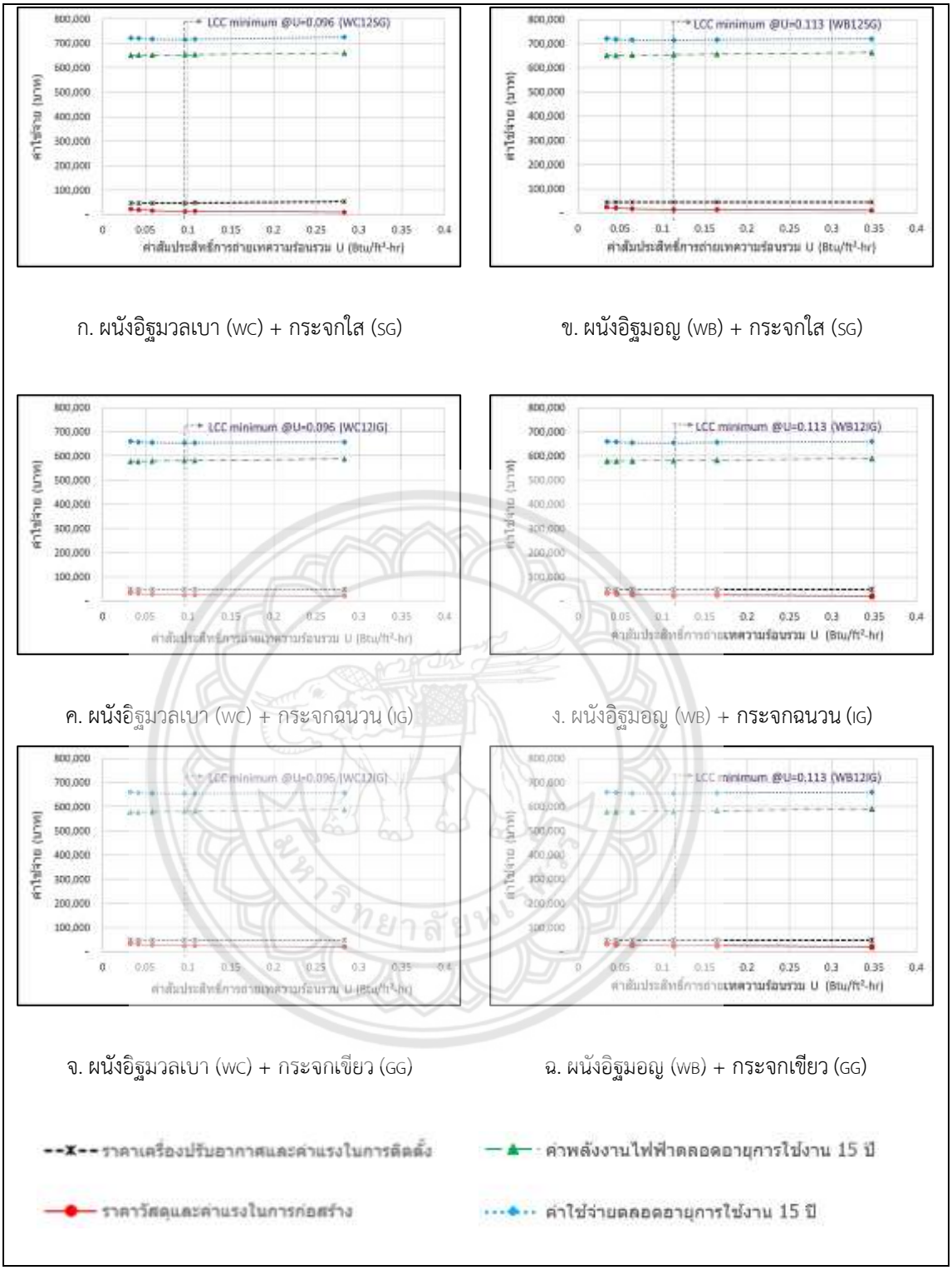
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศใต้ (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

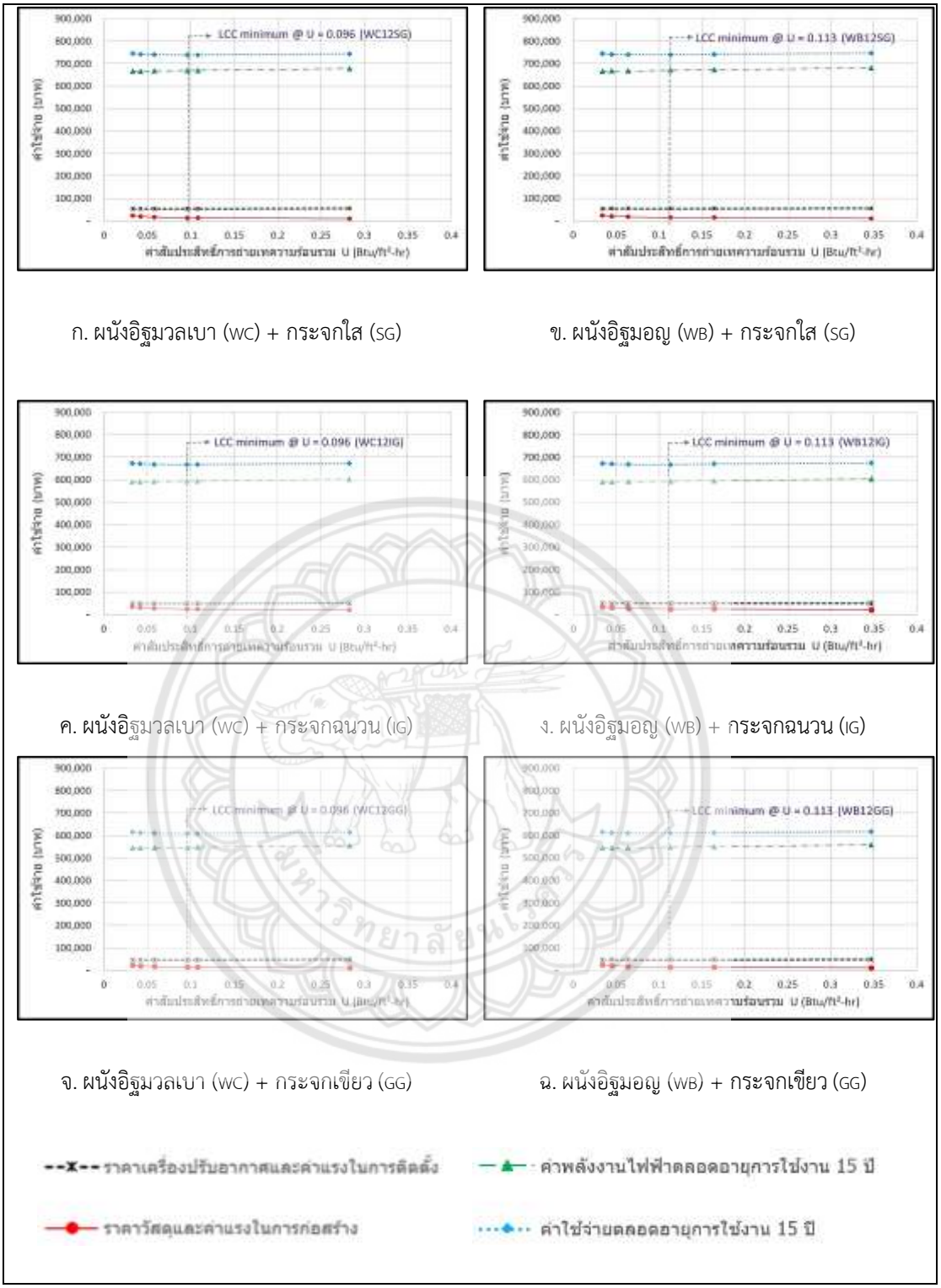
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

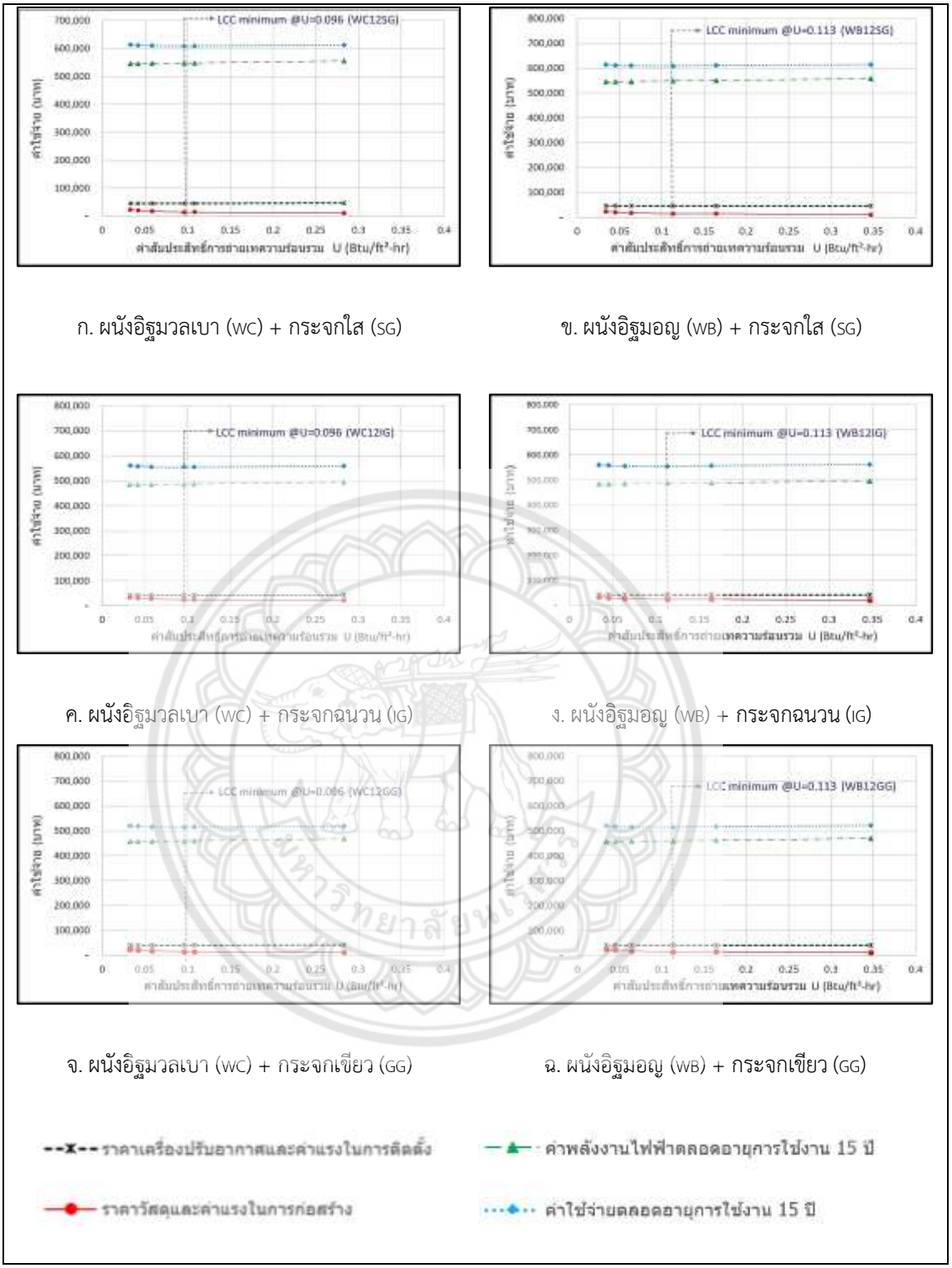
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตก (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

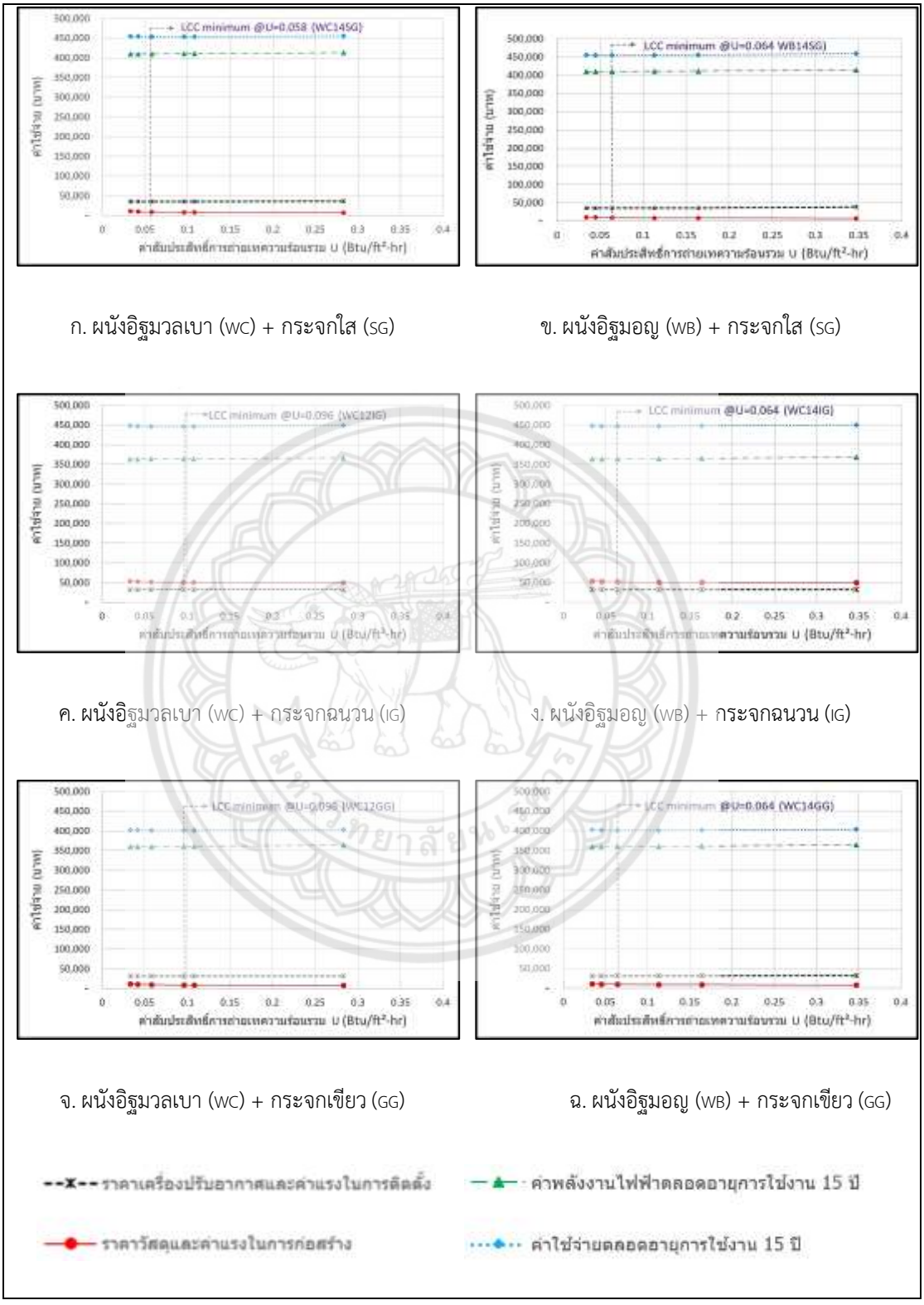
จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WWR= 60)

อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังร้อยละ 80

(WWR = 80%)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

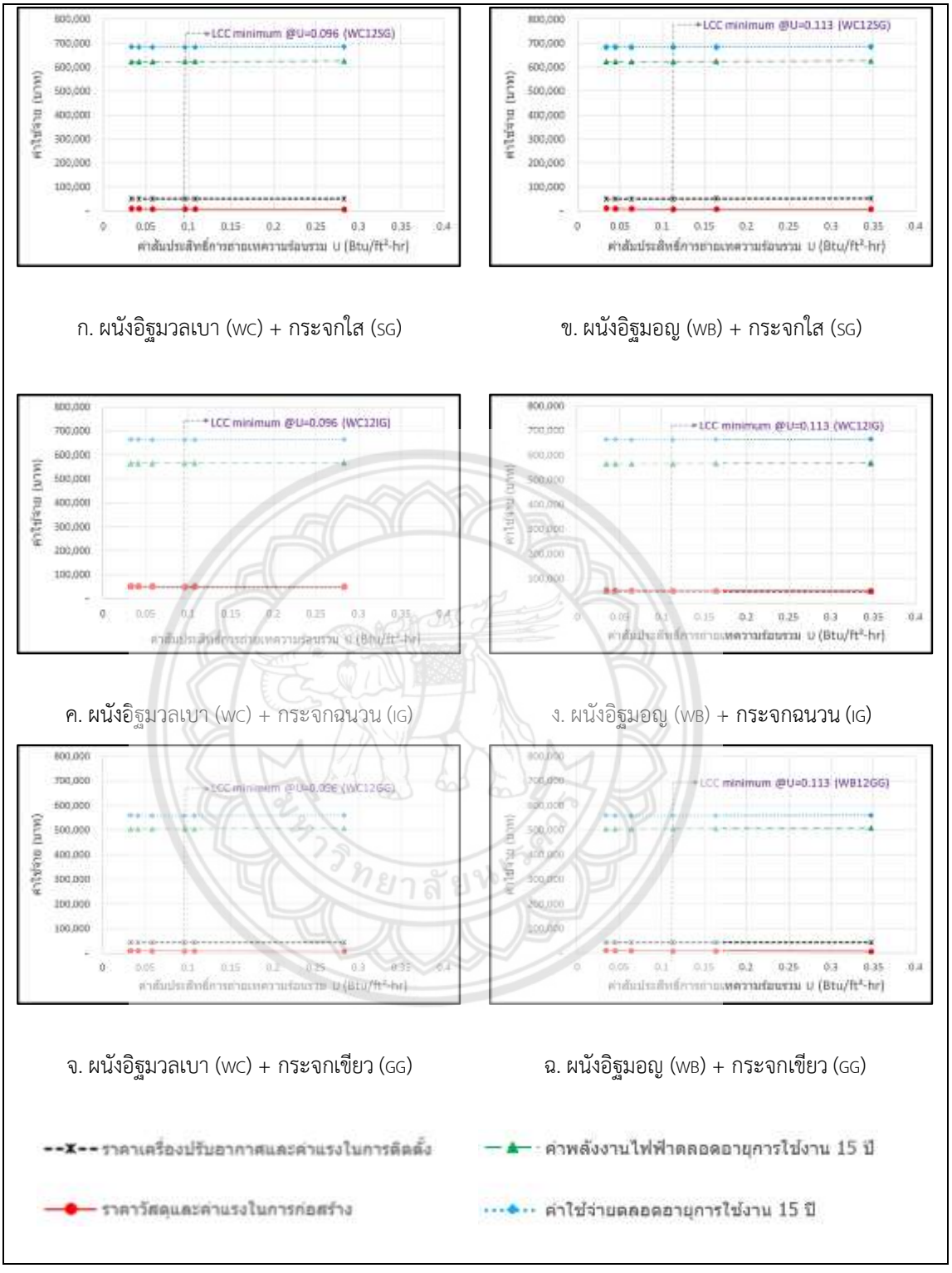
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศเหนือ (WWR= 20)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

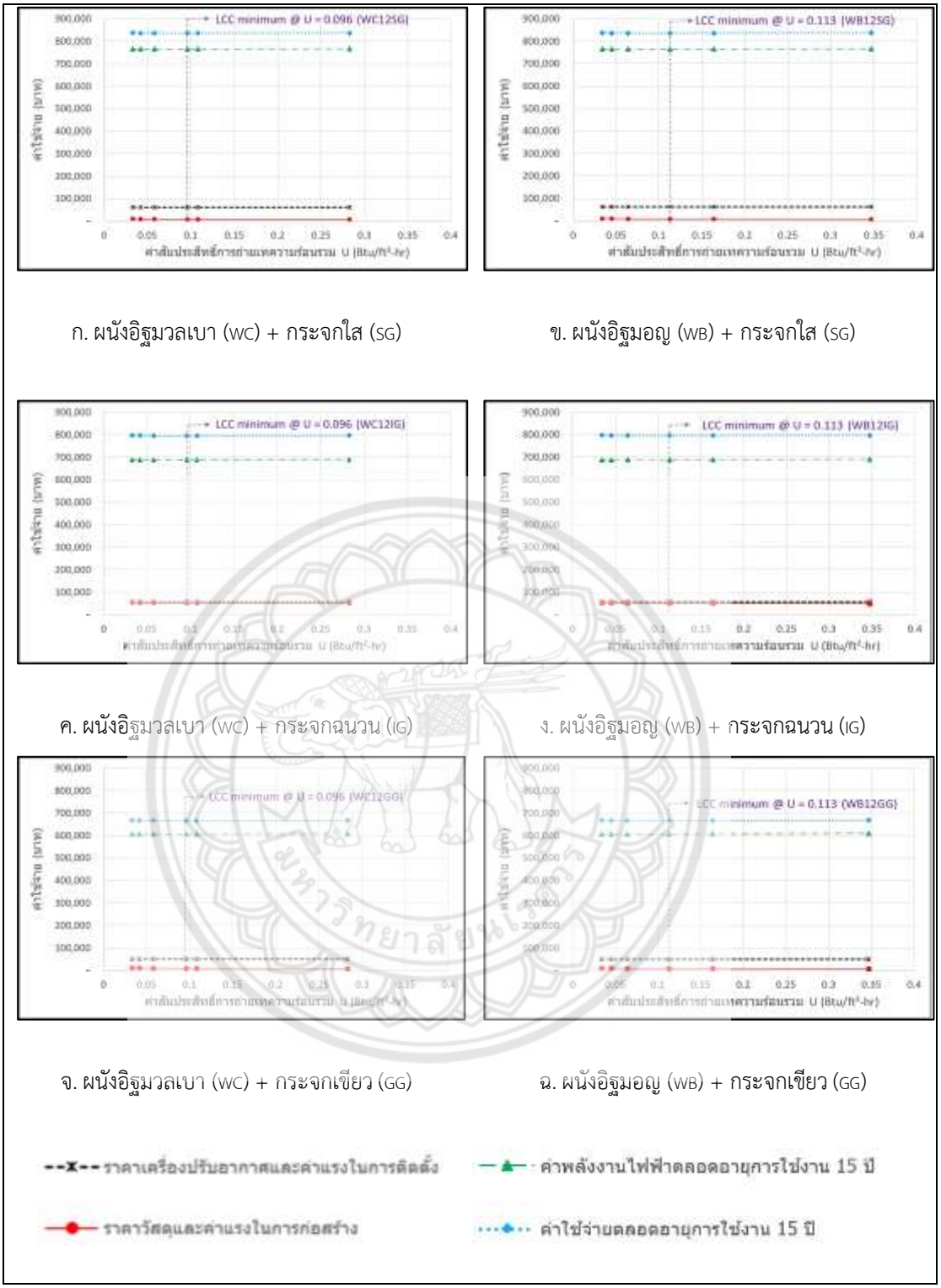
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (WWR= 80)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

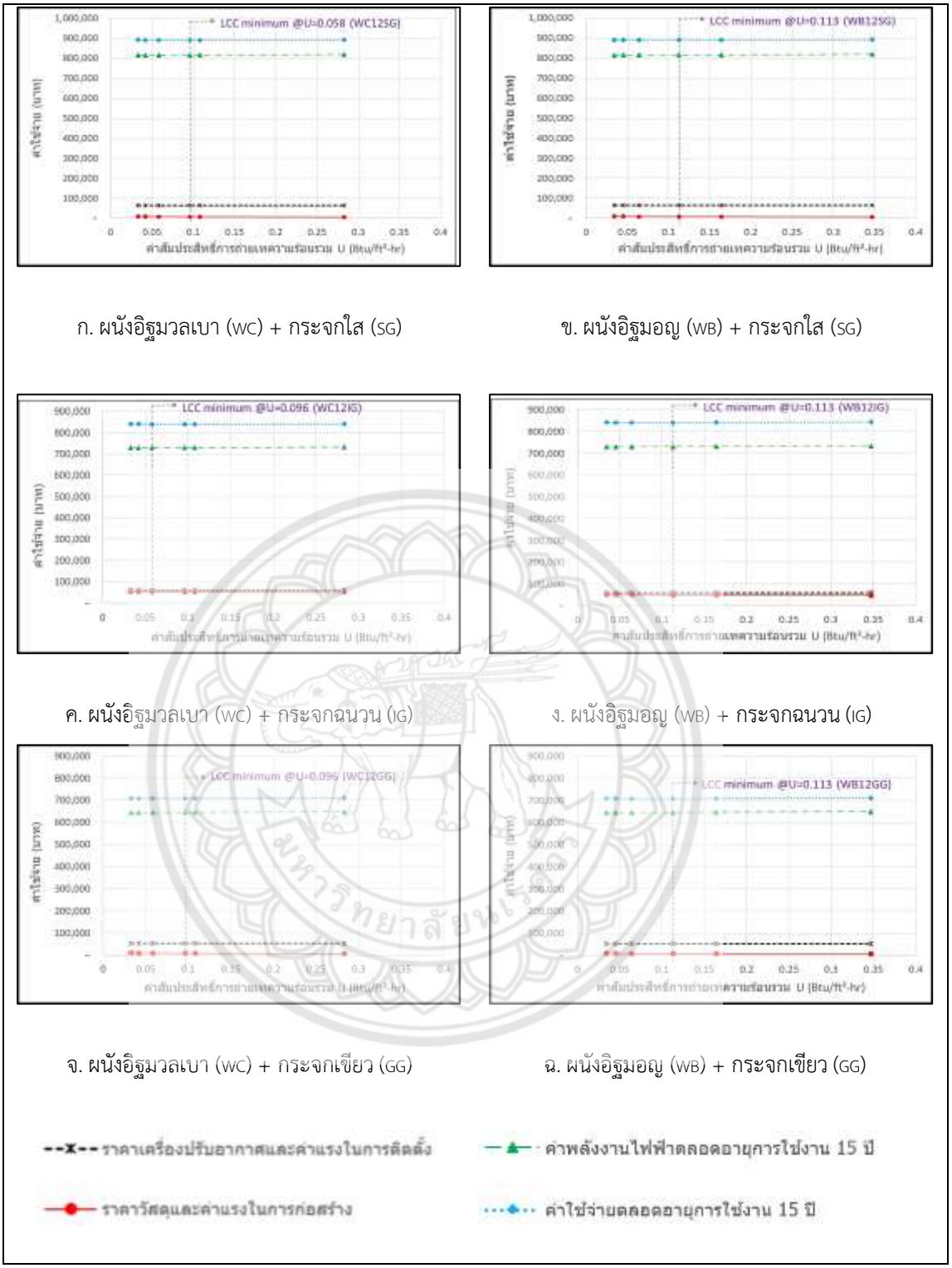
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

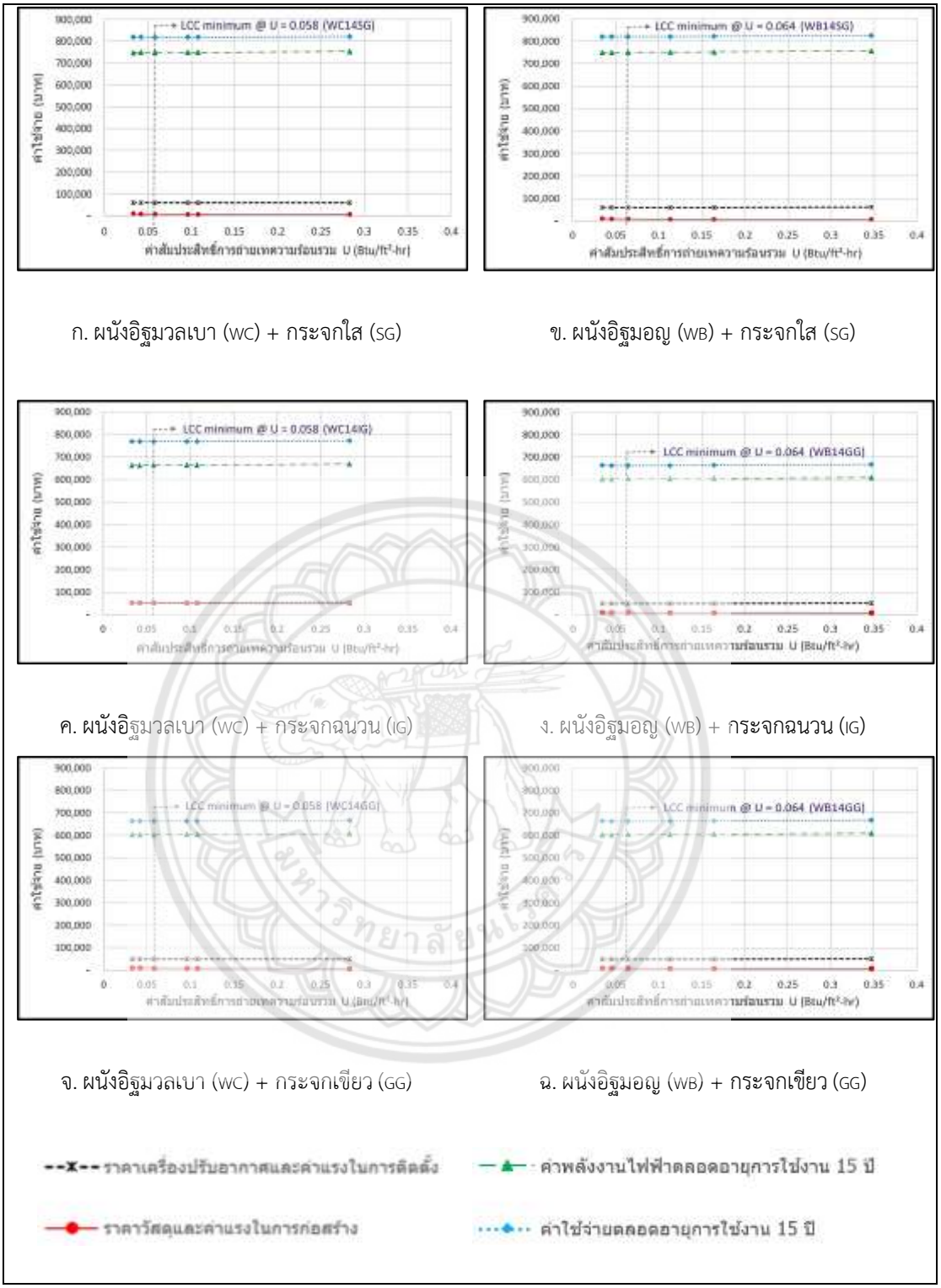
จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออก (WWR= 80)



รูปที่ ง.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

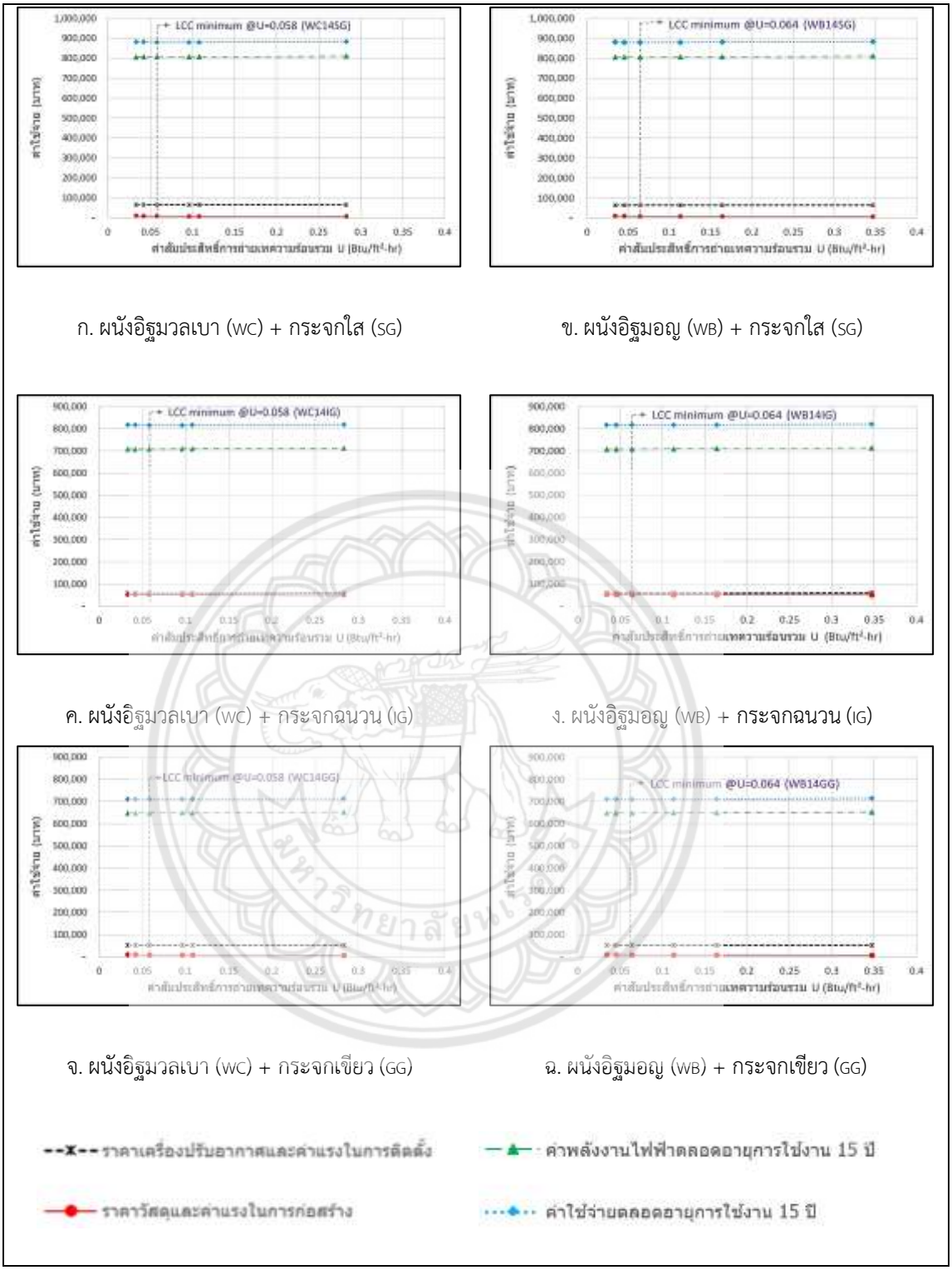
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศใต้ (WWR= 80)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

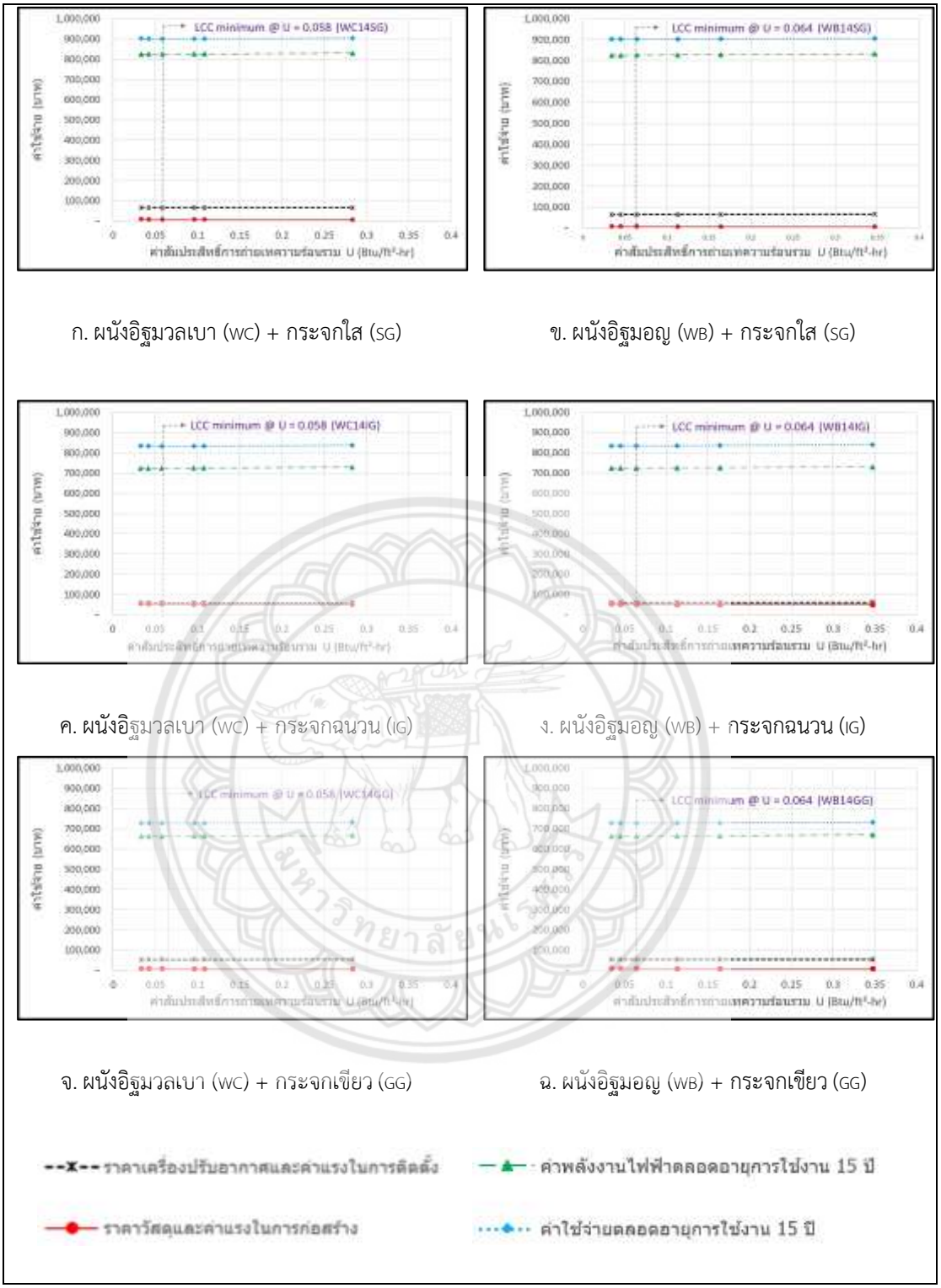
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ (WWR= 60)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

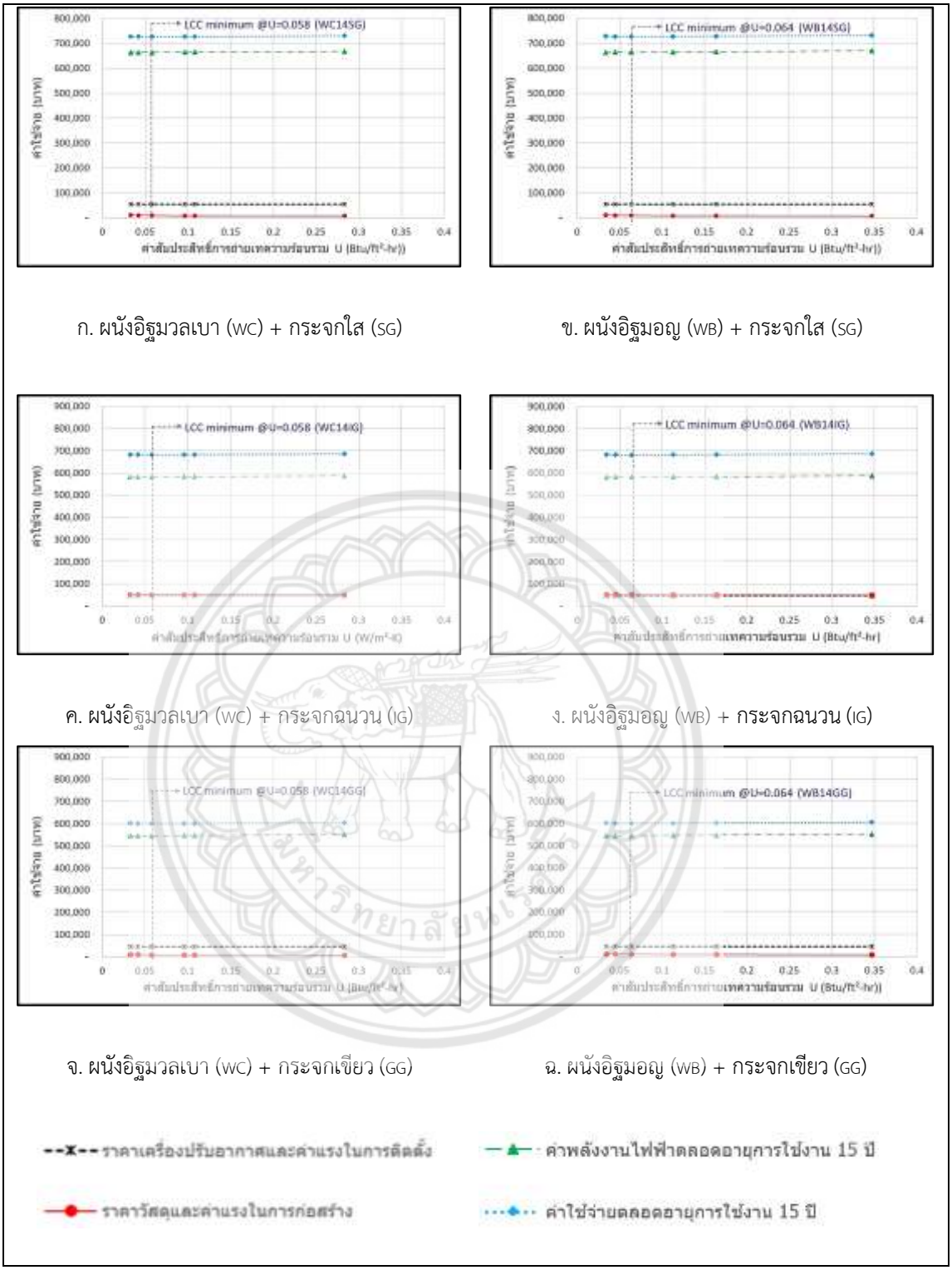
ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตก (WWR= 80)



ก. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกใส (SG)

ข. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกใส (SG)

ค. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกฉนวน (IG)

ง. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกฉนวน (IG)

จ. ผนังอิฐมวลเบา (WC) + กระจกเขียว (GG)

ฉ. ผนังอิฐมอญ (WB) + กระจกเขียว (GG)

รูปที่ ง.33 กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม U และค่าใช้จ่ายต่างๆ ของผนังที่มีชั้นวัสดุแตกต่างกันด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (WWR= 80)