บทที่ 4

การทดสอบ และวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุที่เหมาะสมเพื่อการใช้งาน

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

เป็นอันดับแรกสำหรับขั้นตอนการพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสามารถใช้งานได้จริง นำมาปรับปรุงผนังของอาคาร เพราะวัสดุแต่ละชนิดคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะตัว รวมไปถึงด้านราคา และลักษณะวิธีการนำไปใช้กับอาคาร

ดังนั้น การหาวัสดุเพื่อการปรับปรุงผนังอาคารเพื่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร สามารถจัดระเบียบขั้นตอนการพิจารณาเลือกวัสดุออกมาได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกายภาพ
2. การเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
3. การเปรียบเทียบราคาต้นทุน
4. ความเหมาะสมในทางปฏิบัติ และการใช้งานติดตั้งจริง

จากรายละเอียดขั้นตอนการเลือกวัสดุที่เหมาะสมมาใช้งานดังกล่าว เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการเข้าใจสามารถจำแนกเปรียบเทียบวัสดุแต่ละประเภท ได้ดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

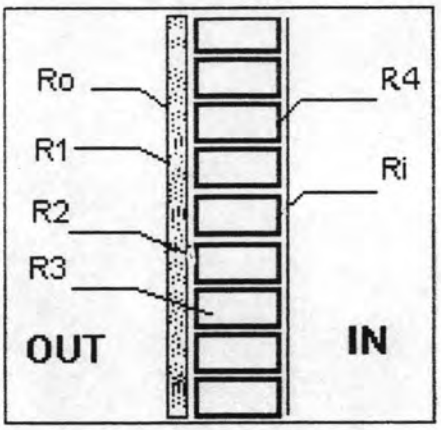
คุณสมบัติ	ฉนวน P.E. FOAM	ฉนวน P.U. FOAM	ฉนวน P.S.Foam	ฉนวนใยแก้ว FIBRE GLASS)
1. โครงสร้างเซล (Cell Structure)	เซลปิด (Closed Cell)	เซลกึ่งเปิด - ปิด (Semi-Closed Cell)	เซลปิด (Close Cell)	เซลเปิด (Open Cell)
2. ความหนาแน่น (Density)	33 – 45 kg./m3	32 - 35 kg./m^3	16 - 32 kg./m3	19 - 32 kg./m3
3. ค่าการนำความร้อน (Conduction)	0.030 W/mk. (Mean Temp = 25 ^{0}C)	0.028 W/mk. (not mention)	0.037 W/mk. (Mean Temp. = 20 ^{0}C)	0.042 W/mk.(16 kg./m^3) (Mean Temp. = 20 ^{0}C)
4. อุณหภูมิใช้งาน (Temperature Service)	-80 ^{0}C ถึง +85 ^{0}C	-118 ^{0}C ถึง +82 ^{0}C	-180 ^{0}C ถึง +85 ^{0}C	200 ^{0}C
5. ความทนทานต่อสารเคมี (Density)	ดีเยี่ยม (Excellent)	ไม่ดี (Poor)	ดี (Good)	ดี (Good)
6. ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)	ต่ำมาก (Low)	สูง (High)	ต่ำ	สูงมาก (Very High)
7. การติดไฟ (Flammability)	ไม่ลามไฟ (Self- extinguishing)	ลามไฟ (High Prame Spread)	ติดไฟ (combustion)	ไม่ติดไฟ (Non-combustion)
8. การเกิดควันพิษเมื่อติดไฟ และปริมาณควัน (Toxity in fire and smoke density)	ไม่มีพิษ ควันน้อย (Non toxic and low smoke density)	ปริมาณควันมาก และเป็นพิษ (Toxic and high smoke density)	มีพิษ กลิ่นเหม็น ควันน้อย (Toxic, bad smell and low smoke)	N.A. N.A.
9. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสภาพของวัสดุ	ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม คงสภาพการเซลปิด และมีความเป็นฉนวนตลอดอายุการใช้งาน กรณีอยู่ในที่โล่งแจ้ง ควรทาสีทับผิววัสดุ	เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง เนื้อโฟมจะแตกตัวเป็นรอย ทำให้น้ำซึมเข้าไปสะสม และเนื้อฉนวนจะเสื่อมสภาพหลุดร่อน ทำให้คุณสมบัติการเป็นฉนวนลดลงไปตามระยะเวลาการใช้งาน	ไม่เกิด Condensation และ Moisture ง่ายต่อการนำไปใช้	เมื่อใช้ระยะหนึ่งเส้นใยจะเริ่มหลุดร่วงและเป็นฝุ่นละออง ฟุ้งกระจาย เมื่อสัมผัสผิวหนังจะระคายเคือง เมื่อสูดดมจะเกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ คุณสมบัติการเป็นฉนวนจะลดลงด้วย
10. อายุการใช้งาน (Working - life)	ระยะเวลานาน 7- 10 ปี คุ้มค่ากับการพิจารณาใช้สินค้าไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ในระยะยาว	ภายในระยะเวลา 2 - 3 ปี ไม่คุ้มค่า และอาจต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในระยะต่อๆ ไป	ระยะเวลานาน 7 ปีขึ้นไป	ภายในระยะเวลา 2- 3 ปี ไม่คุ้มค่า และอาจต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในระยะต่อๆ ไป

4.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุด้านการถ่ายเทความร้อน และราคาต้นทุน

ก. ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร

ระบบผนังภายนอกกับความร้อนภายนอกสีสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว (Exterior Insulation And Finish System: EIFS) [6] ที่ใช้โฟมหนา 1 นิ้ว

(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก	= 0.25
(R_1) สีเคลือบสำเร็จภายนอก	= 0.07
(R_2) โฟมหนา 1นิ้ว	= 4.00
(R_3) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว	= 0.45
(R_4) ปูนฉาบ	= 0.24
(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน	= 0.68



ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 5.69 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.175 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F (1.00 W/m^2.K)

ราคาในการติดตั้งฉนวน

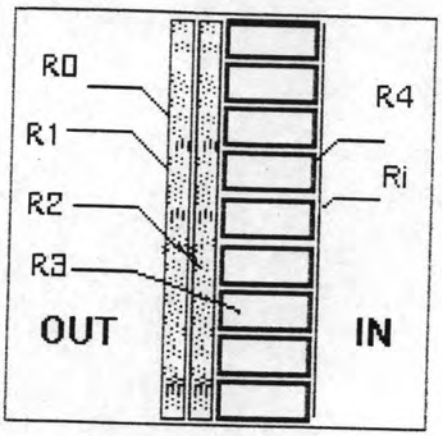
1. สีเคลือบสำเร็จ ระบบ EIFS
   - Base Coat 133 บาท/ ตารางเมตร x 2ด้าน = 266 บาท/ ตารางเมตร
   - Finish Coat = 110 บาท/ ตารางเมตร
   - Fiberglss Mesh Coat = 100 บาท/ ตารางเมตร
   - Cement Portland = 6 บาท/ ตารางเมตร
2. โฟมขนาด 1.2 X 0.60 เมตร หนา 1 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ ลูกบาศก์ฟุต = 34 บาท/ ตารางเมตร
3. ค่าแรงติดตั้ง = 110บาท/ ตารางเมตร

รวม = 626 บาท/ ตารางเมตร

---

[6] ดูภาคผนวก

ระบบผนังภายนอกกับความร้อนภายนอกสีสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว
(Exterior Insulation And Finish System: EIFS) ที่ใช้โฟมหนา 2 นิ้ว



(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25
(R_1) สีเคลือบสำเร็จภายนอก = 0.07
(R_2) โฟมหนา 2นิ้ว = 8.00
(R_3) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45
(R_4) ปูนฉาบ = 0.24
(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68

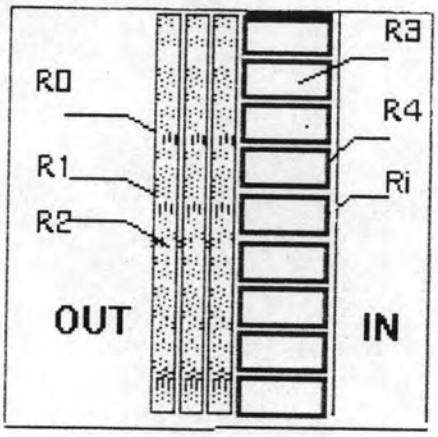
ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 9.69 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.103 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F (0.58 W/m^2.K)

<u>ราคาในการติดตั้งฉนวน</u>

1. สีเคลือบสำเร็จ ระบบ EIFS
   - Base Coat 133 บาท/ ตารางเมตร x 2ด้าน = 266 บาท/ ตารางเมตร
   - Finish Coat = 110 บาท/ ตารางเมตร
   - Fiberglss Mesh Coat = 100 บาท/ ตารางเมตร
   - Cement Portland = 6 บาท/ ตารางเมตร
2. โฟมขนาด 1.2 X 0.60 เมตร หนา 2 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ ลูกบาศก์ฟุต = 67 บาท/ ตารางเมตร
3. ค่าแรงติดตั้ง = <u>110</u> บาท/ ตารางเมตร

รวม = 659 บาท/ ตารางเมตร

ระบบผนังภายนอกกับความร้อนภายนอกสีสำเร็จ กับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว
(Exterior Insulation And Finish System: EIFS) ที่ใช้โฟมหนา 3 นิ้ว



(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25
(R_1) สีเคลือบสำเร็จภายนอก = 0.07
(R_2) โฟมหนา 3 นิ้ว = 12.00
(R_3) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45
(R_4) ปูนฉาบ = 0.24
(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 13.69 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.073 BTU/ hr. Sq. ft . ^{o}F (0.41 W/m^2.K)

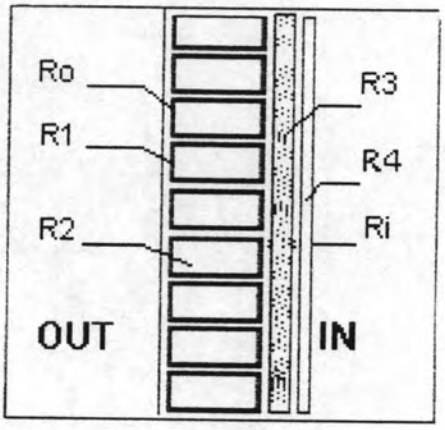
<u>ราคาในการติดตั้งฉนวน</u>

1. สีเคลือบสำเร็จ ระบบ EIFS
   - Base Coat 133 บาท/ ตารางเมตร x 2ด้าน = 266 บาท/ ตารางเมตร
   - Finish Coat = 110 บาท/ ตารางเมตร
   - Fiberglss Mesh Coat = 100 บาท/ ตารางเมตร
   - Cement Portland = 6 บาท/ ตารางเมตร
2. โฟมขนาด 1.2 X 0.60 เมตร หนา 2 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ ลูกบาศก์ฟุต = 100 บาท/ ตารางเมตร
3. ค่าแรงติดตั้ง = <u>110</u> บาท/ ตารางเมตร

รวม = 692 บาท/ ตารางเมตร

ข. การติดตั้งฉนวนภายในอาคาร

ผนังภายในที่ใช้โฟมหนา 1 นิ้ว



(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25

(R_1) ปูนฉาบ = 0.24

(R_2) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45

(R_3) โฟมหนา 1 นิ้ว = 4.0

(R_4) แผ่นยิบซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร = 0.32

(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 5.94 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.168 BTU/ hr. Sq. ft . $^\circ$F (0.95 W/m^2.K)

<u>ราคาในการติดตั้งฉนวน</u>

1.โครงเคร่าเหล็กเคลือบสังกะสีขนาด 92 X 33 X 0.70 มิลลิเมตร @ 0.60 =155บาท/ตร.ม.

(โครงเคร่าไม้ 1.5" X 3 " = 300 บาท/ ลูกบาศก์ฟุต)

2. แผ่นยิบซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร = 48 บาท/ ตารางเมตร

3. โฟมขนาด 1.2 X 0.60 เมตร หนา 1 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ ลูกบาศก์ฟุต
= 34 บาท/ ตารางเมตร

4. ค่าแรงงานเหล็กเคลือบสังกะสี = 65 บาท/ ตารางเมตร

5. ค่าแรงงานแผ่นยิบซั่มภายใน = 35 บาท/ ตารางเมตร

6. งานสี = 20 บาท/ ตารางเมตร

รวม = 357 บาท/ ตารางเมตร

ผนังภายในที่ใช้โฟมหนา 2 นิ้ว

(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25

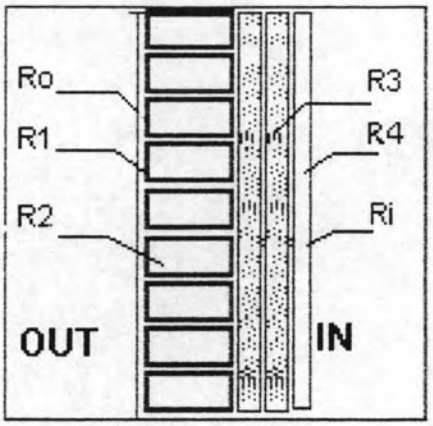
(R_1) ปูนฉาบ = 0.24

(R_2) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45

(R_3) โฟมหนา 2 นิ้ว = 8.0

(R_4) แผ่นยิบซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร = 0.32

(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68



ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 9.94 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.10 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F (0.57 W/m^2.K)

<u>ราคาในการติดตั้งฉนวน</u>

1.โครงเคร่าเหล็กเคลือบสังกะสีขนาด 92 X 33 X 0.70 มิลลิเมตร @ 0.60 =155บาท/ ตร.ม.

(โครงเคร่าไม้ 2 " X 4 " นิ้ว = 350 บาท/ ลูกบาศก์ฟุต)

2. แผ่นยิบซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร = 48บาท/ ตารางเมตร

3. โฟมขนาด 1.2 X 0.60 เมตร หนา 2 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ ลูกบาศก์ฟุต

= 67 บาท/ ตารางเมตร

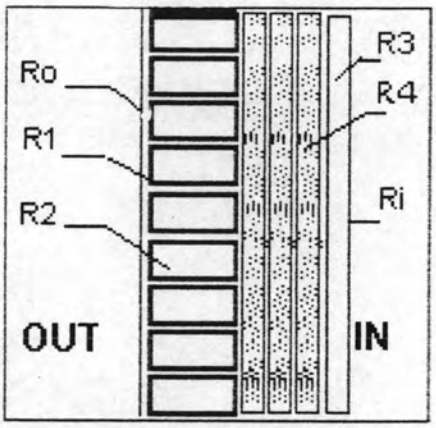
4. ค่าแรงงานเหล็กเคลือบสังกะสี = 50 บาท/ ตารางเมตร

5. ค่าแรงงานแผ่นยิบซั่มภายใน = 35 บาท/ ตารางเมตร

6. งานสี = 20 บาท/ ตารางเมตร

รวม = 375 บาท/ ตารางเมตร

ผนังภายในที่ใช้โฟมหนา 3 นิ้ว



(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25

(R_1) ปูนฉาบ = 0.24

(R_2) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45

(R_3) โฟมหนา 3 นิ้ว = 12.0

(R_4) แผ่นยิบซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร = 0.32

(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 13.94 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.071BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F (0.40 W/m^2.K)

<u>ราคาในการติดตั้งฉนวน</u>

1.โครงเคร่าเหล็กเคลือบสังกะสีขนาด 92 X 33 X 0.70 มิลลิเมตร @ 0.60 =155บาท/ ตร.ม.

(โครงเคร่าไม้ 2 " X 4 " นิ้ว = 400 บาท/ ลูกบาศก์ฟุต)

2. แผ่นยิบซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร = 48บาท/ ตารางเมตร

3. โฟมขนาด 1.2 X 0.60 เมตร หนา 1 นิ้ว ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ ลูกบาศก์ฟุต

= 100 บาท/ ตารางเมตร

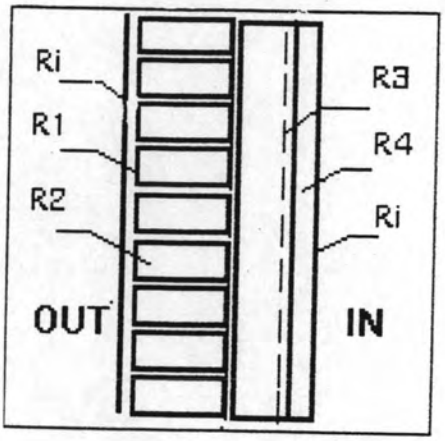
4. ค่าแรงงานเหล็กเคลือบสังกะสี = 50 บาท/ ตารางเมตร

5. ค่าแรงงานแผ่นยิบซั่มภายใน = 35 บาท/ ตารางเมตร

6. งานสี = 20 บาท/ ตารางเมตร

รวม = 408 บาท/ ตารางเมตร

ผนังยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฟอยล์ที่ผิว



(R_0)ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25

(R_1)ปูนฉาบ = 0.24

(R_2)ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45

(R_3)ช่องว่างอากาศภายในที่1.5"
ที่มีแผ่นสะท้อนรังสี (แผ่นอลูมิเนียม) = 3.28

(R_4) แผ่นยิบซั่มบอร์ดหนา 9 มิลลิเมตร = 0.32

(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 5.60 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.178 BTU/ hr.Sq. ft . ^{0}F

(1.012 W/m^2.K)

<u>ราคาในการติดตั้งฉนวน</u>

1.โครงเคร่าเหล็กเคลือบสังกะสีขนาด 92 X 33 X 0.70 มิลลิเมตร @ 0.60 =155บาท/ ตร.ม.
(โครงเคร่าไม้ 2 " X 4 " = 400 บาท/ ลูกบาศก์ฟุต)

2. แผ่นยิบซั่มบอร์ดชนิดมีฟอยด์ หนา 9 มิลลิเมตร = 60 บาท/ ตารางเมตร

3. ค่าแรงงานเหล็กเคลือบสังกะสี = 50 บาท/ ตารางเมตร

4. ค่าแรงงานแผ่นยิบซั่มภายใน = 35 บาท/ ตารางเมตร

5. งานสี = 20 บาท/ ตารางเมตร

รวม = 320 บาท/ ตารางเมตร

ไฟเบอร์กลาสหนา 1 นิ้วชนิดบุฟอยดล์ที่ผิว

(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25

(R_1) ปูนฉาบ = 0.24

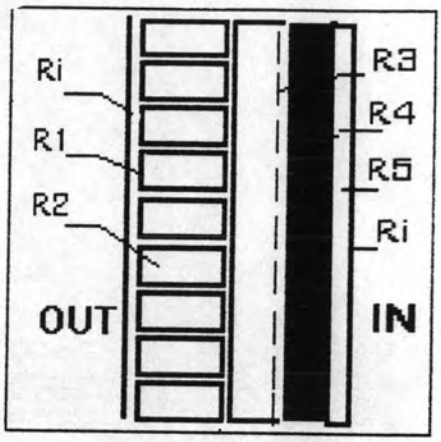
(R_2) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45

(R_3) ช่องว่างอากาศภายในที่ 1.5" = 3.28

(R_4) ไฟเบอร์กลาสหนา 1 นิ้ว
ชนิดมีแผ่นอลูมิเนียม = 3.50

(R_5) แผ่นยิบซั่มบอร์ด หนา 9 มิลลิเมตร = 0.32

(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68



ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 8.72 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.1146BTU/ hr.Sq. ft . $^{\circ}$F (0.65 W/m^2.K)

<u>ราคาในการติดตั้งฉนวน</u>

1.โครงเคร่าเหล็กเคลือบสังกะสีขนาด 92 X 33 X 0.70 มิลลิเมตร @ 0.60 =155บาท/ ตร.ม.
(โครงเคร่าไม้ 2 " X 4 " = 350 บาท/ ลูกบาศก์ฟุต)

2. ไฟเบอร์กลาสชนิดบุฟอยล์ หนา 1 นิ้ว = 108 บาท/ ตารางเมตร

2. แผ่นยิบซั่มบอร์ดชนิดมีฟอยด์ หนา 9 มิลลิเมตร = 60 บาท/ ตารางเมตร

3. ค่าแรงงานเหล็กเคลือบสังกะสี = 50 บาท/ ตารางเมตร

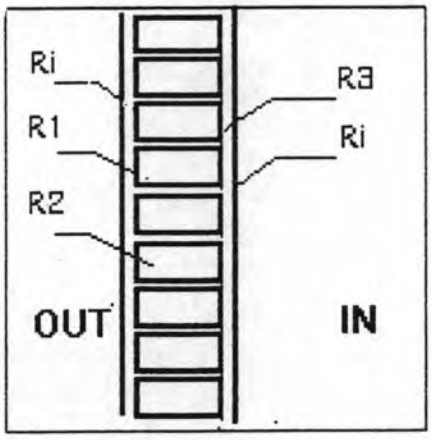
4. ค่าแรงงานแผ่นยิบซั่มภายใน = 35 บาท/ ตารางเมตร

5. งานสี = 20 บาท/ ตารางเมตร

รวม = 428บาท/ ตารางเมตร

การปรียบเทียบค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของผนังที่ใช้โฟมกับผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว

ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว



(R_0) ฟิล์มอากาศภายนอก = 0.25
(R_1) ปูนฉาบ = 0.24
(R_2) ผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว = 0.45
(R_3) ปูนฉาบ = 0.24
(R_i) ฟิล์มอากาศภายใน = 0.68

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$) = 1.86 hr. Sq. ft . ^{0}F/ BTU
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.537BTU/ hr.Sq.ft . $^{\circ}$F (3.04 W/ m^2.K)

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของ

ผนังภายนอกEIFSที่ใช้โฟมหนา 1 นิ้ว = 0.17 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F
ผนังภายนอกEIFSที่ใช้โฟมหนา 2 นิ้ว = 0.10 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F
ผนังภายนอกEIFSที่ใช้โฟมหนา 3 นิ้ว = 0.07 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F
ผนังภายในยิบซั่มบอร์ดที่ใช้โฟมหนา 1 นิ้ว = 0.17 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F
ผนังภายในยิบซั่มบอร์ดที่ใช้โฟมหนา 2 นิ้ว = 0.10 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F
ผนังภายในยิบซั่มบอร์ดที่ใช้โฟมหนา 3 นิ้ว = 0.07 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F
ผนังภายในที่ใช้ยิบซั่มบอร์ดชนิดมีฟอยล์ = 0.178 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F
ผนังภายในที่ใช้ยิบซั่มบอร์ดกับ Fibre glass หนา 1" ชนิดมีฟอยล์
= 0.114 BTU/ hr. Sq. ft . $^{\circ}$F

พบว่าถ้าคำนวณผนังภายในที่ใช้โฟมกับผนังภายนอกที่ใช้โฟมที่ความหนาเดียวกัน มีค่าเท่ากัน และ เมื่อเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ของผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 4 นิ้ว

จะพบว่า

ผนังที่ใช้โฟมหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ลดลง = 70%

ผนังที่ใช้โฟมหนา 2 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ลดลง = 83%

ผนังที่ใช้โฟมหนา 3 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)ลดลง = 88%

และผนังภายในที่ใช้ยิบซั่มบอร์ดชนิดมีฟอยล์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.178 BTU/ hr. Sq. ft .°F ใกล้เคียงกับผนังที่ใช้โฟมหนา 1 นิ้ว

ผนังภายในที่ใช้ยิบซั่มบอร์ดกับ Fibre glass หนา 1" ชนิดมีฟอยล์ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) = 0.114 BTU/ hr. Sq. ft .°Fใกล้เคียงกับผนังที่ใช้โฟมหนา 2 นิ้ว

ตารางที่ 4.2.2 สรุปเปรียบเทียบด้านราคาต้นทุน และคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังของวัสดุที่นำมาทดสอบ

ประเภท	ลักษณะของผนัง	ราคารวมติดตั้ง (บาท / ตร.ม.)	R - Value ($hr.ft.^2/BTU$)
ติดตั้งภายนอกอาคาร	1.ระบบ EIFS ที่ความหนาโฟม 1 นิ้ว	626.0	5.69
ติดตั้งภายนอกอาคาร	2.ระบบ EIFS ที่ความหนาโฟม 2 นิ้ว	660.0	9.69
ติดตั้งภายนอกอาคาร	3.ระบบ EIFS ที่ความหนาโฟม 3 นิ้ว	692.0	13.69
ติดตั้งภายในอาคาร	4.ผนังยิบซั่มบอร์ด + โฟมหนา 1 นิ้ว ด้านใน	357.0	5.94
ติดตั้งภายในอาคาร	5.ผนังยิบซั่มบอร์ด + โฟมหนา 2 นิ้ว ด้านใน	375.0	9.94
ติดตั้งภายในอาคาร	6.ผนังยิบซั่มบอร์ด + โฟมหนา 3 นิ้ว ด้านใน	408.0	13.94
ติดตั้งภายในอาคาร	7.ผนังยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฟอยล์ที่ผิว	320.0	5.60
ติดตั้งภายในอาคาร	8.ผนังยิบซั่มบอร์ด +ไฟเบอร์กลาสหนา 1 นิ้ว แบบมีฟอยล์ที่ผิว	428.0	9.60

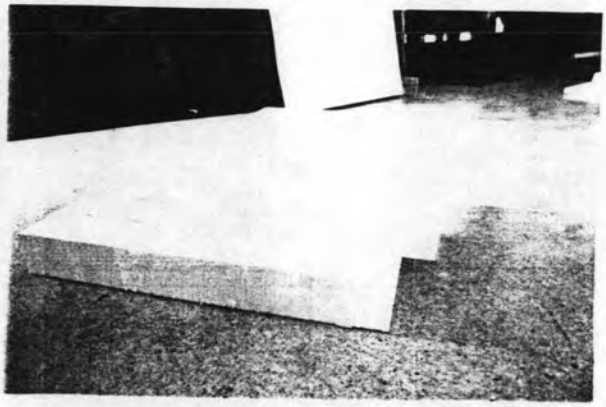
4.3 วิธีการติดตั้ง : ระบบผนังภายนอกกันความร้อนภายนอกสีสำเร็จกับผนังก่ออิฐฉาบปูน (Exterior Insulation And Finish System: EIFS)

เนื่องจากเป็นผนังเบาน้ำหนักประมาณ 4.5 กิโลกรัม/ตารางเมตร สามารถทำเป็นผนังสำเร็จรูป Prefabrication และระบบPanelized (รายละเอียดดูที่ภาคผนวก)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจกรรมวิธีการติดตั้ง จึงแสดงลำดับขั้นตอนจากผนังตัวอย่างที่นำไปติดตั้งที่ห้องทดสอบ ซึ่งลักษณะและวิธีการใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ดูตามภาพประกอบดังต่อไปนี้

รูปภาพที่ 4.1 ภาพวิธีการติดตั้ง

(1) ตัดโฟมให้ได้ขนาดตามต้องการ



(2) ตัวอย่างขนาดโฟมตามชนิดความหนาที่ต้องการ

(3) การหุ้มด้วยตะข่าย FIBREGLASS MESH) หุ้มริมขอบทั้ง 4 ด้าน

(4) วิธีการหุ้มริมขอบโดยให้พับเกินออกมายังด้านหลังที่ใช้ติดผนังของขอบทั้ง 4 ด้าน

(5) ของเหลวสำเร็จรูป BASE COAT

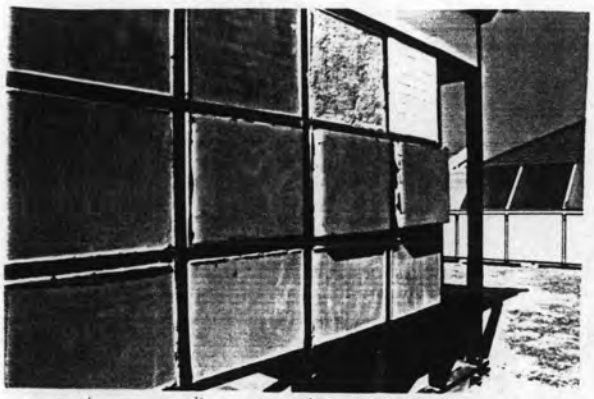
(6)ซีเมนต์ PORTLAND ส่วนผสมกับBASE COAT

(7) นำ BASE COAT กับ ซีเมนต์ PORTLAND ผสมให้เข้ากัน ในอัตราส่วน 1:1 สำหรับยึดติดกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

(8) นำส่วนผสมที่เข้ากันดีแล้วมาฉาบหลังโฟม พร้อมยึดตะข่ายให้ติดกับโฟม

(9) นำฉนวนโฟมที่ได้ฉาบส่วนผสมไปติดกับผนังก่ออิฐฉาบปูน

(10) กดฉนวนโฟมให้ยึดเกาะผนังได้สนิทแน่น



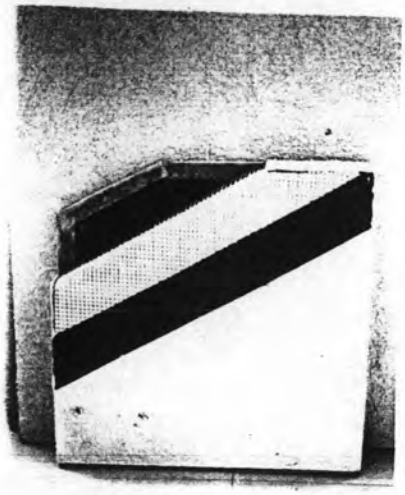
(11) เมื่อติดเสร็จทิ้งไว้ 1วันพื่อรอให้แห้งและ SET ตัว

(12) นำส่วนผสมแบบเดิมในอัตราส่วน 4 : 3 มาฉาบผิวโฟมกับตะข่ายเพิ่มความแข็งแรง (BASE COAT : ซีเมนต์)

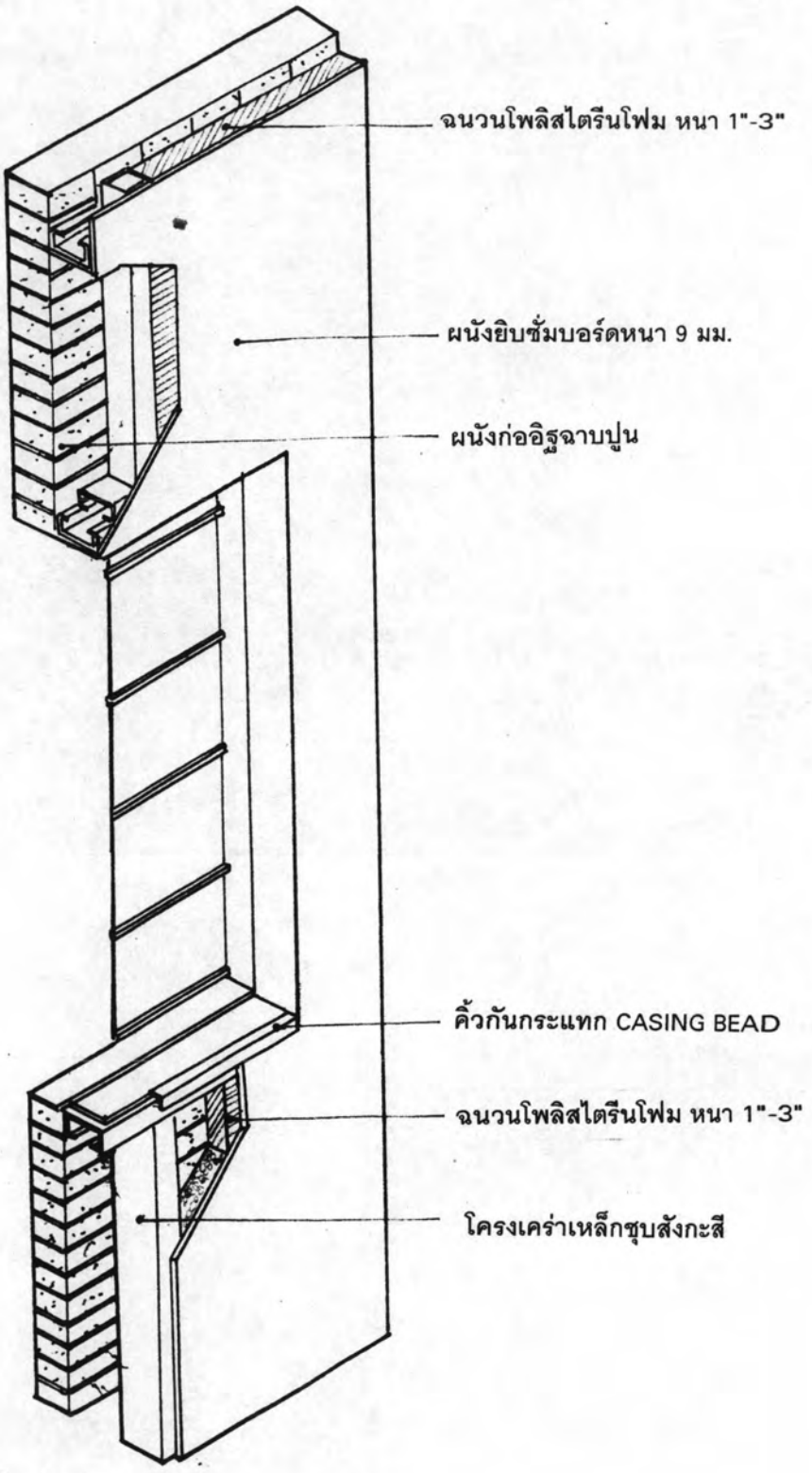
(13) เมื่อฉาบผิวเสร็จทิ้งไว้ 1วันพื่อรอให้แห้งและ SET ตัว

(14) นำFINISH COAT มาฉาบผิวภายนอกซึ่งมีสีต่างๆ ถึง 21 สีให้เลือก

15) สภาพเมื่อเสร็จขั้นตอนสุดท้าย

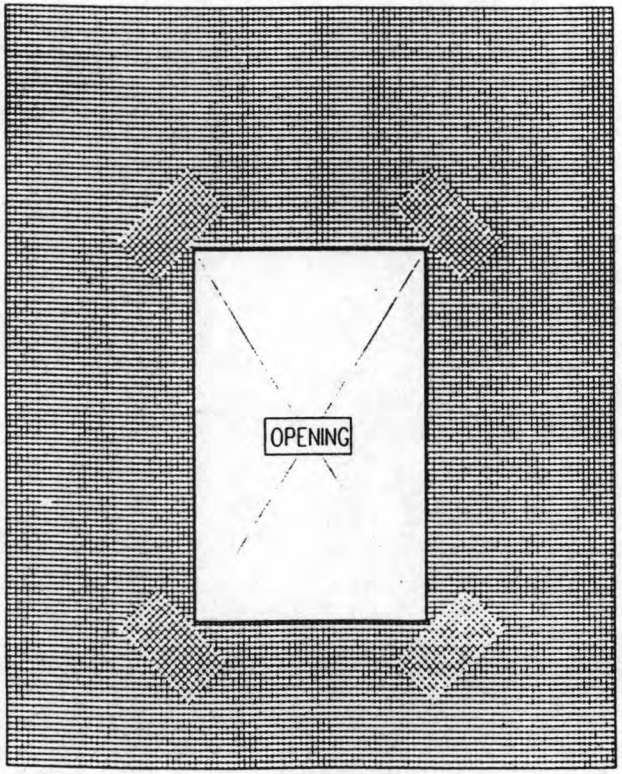


(16) รูปตัดของชั้นต่างของฉนวนระบบ EIFS

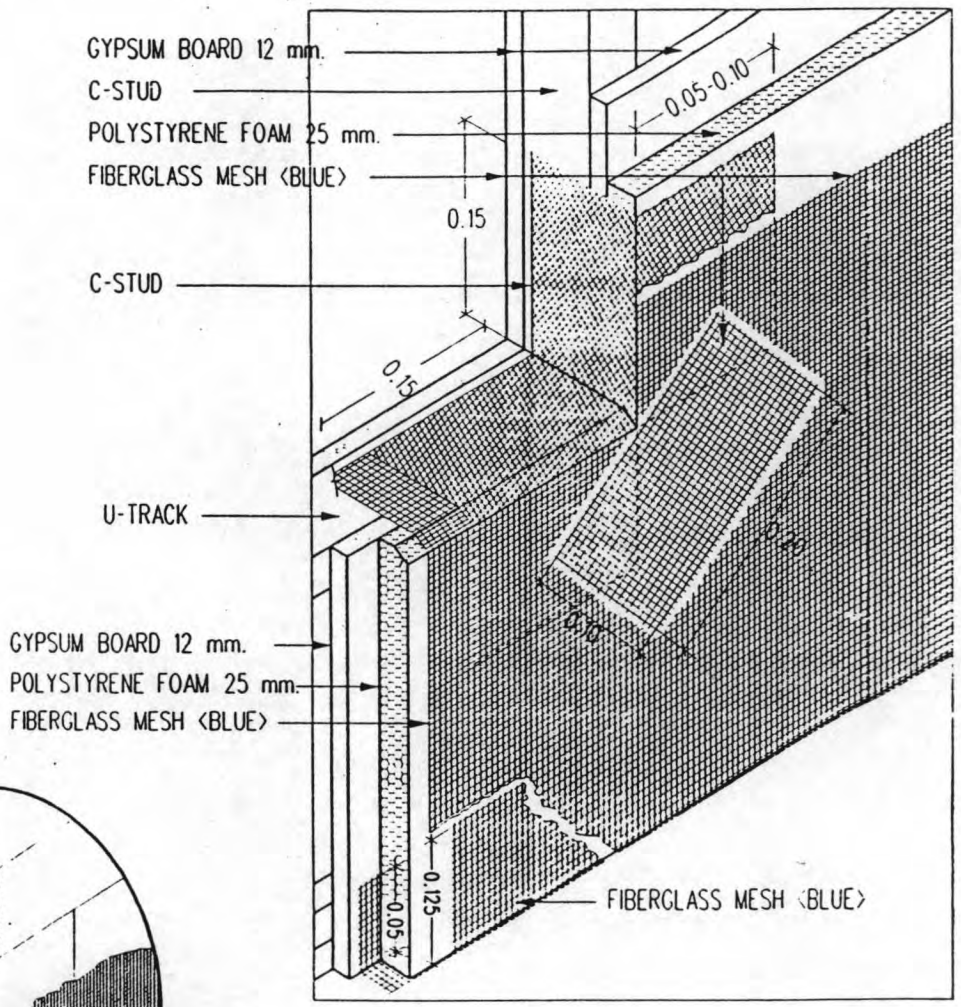


รูปภาพที่ 4.3 แบบขยายการติดตั้งผนังยิบซั่มบอร์ดที่มีฉนวนภายใน
กับด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีช่องเปิด

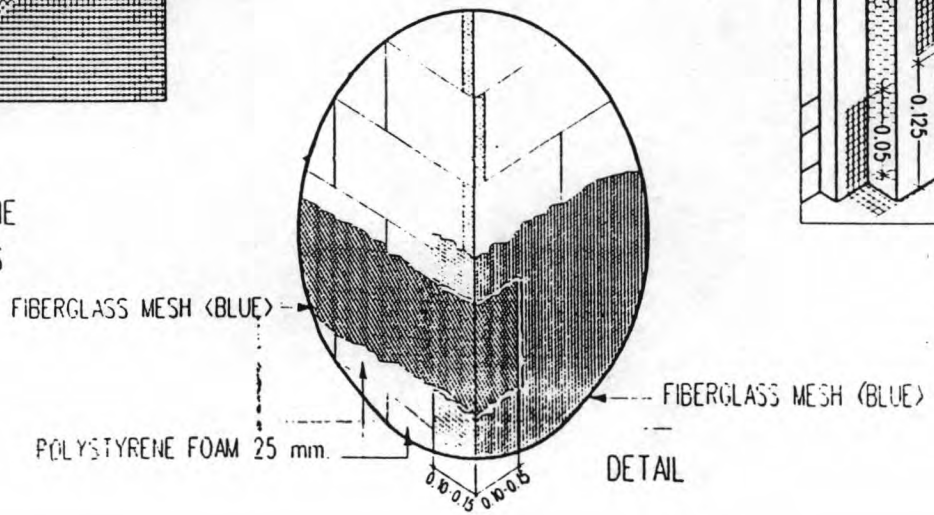
CORNER REINFORCEMENT



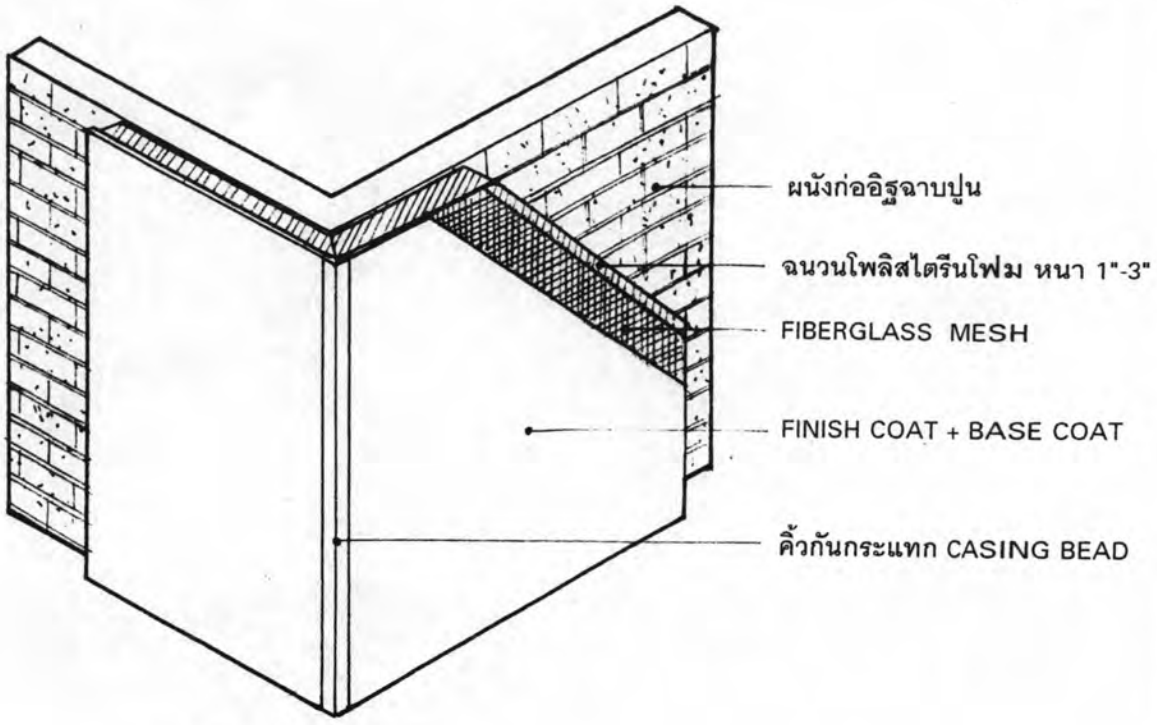
STRIPS OF MESH
USED TO REINFORCE THE
CORNERS OF OPENINGS



DETAIL

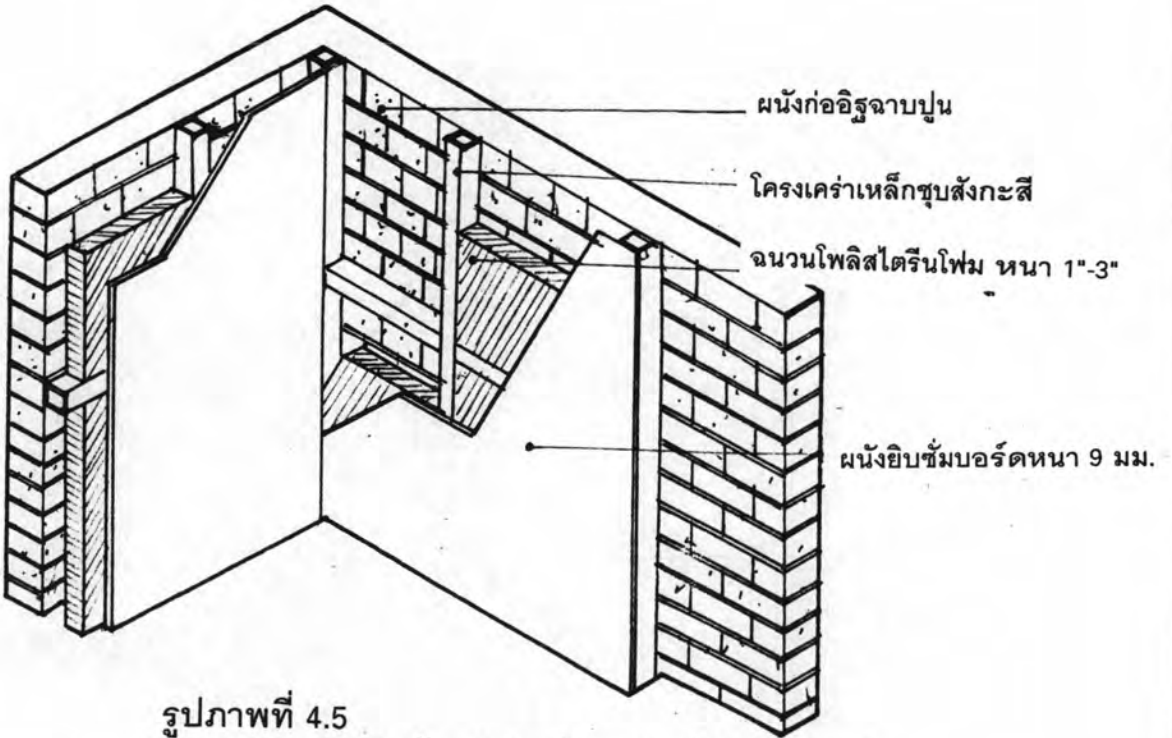


DETAIL



รูปภาพที่ 4.4(ข)

แบบขยายการติดตั้งผนังEIFS กับภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน



รูปภาพที่ 4.5
แบบขยายการติดตั้งผนังยิบซั่มบอร์ดที่มีฉนวนภายใน
กับด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูน

การทดสอบผนังที่ติดตั้งฉนวนทั้ง 8 แบบ กับผนังก่ออิฐฉาบปูน

ลักษณะของห้องทดสอบ : (ดูรูปที่ 3.4 ประกอบความเข้าใจ)

- โครงสร้างเป็นเหล็กรูปพรรณทั้งหมด
- ขนาดห้องทดสอบ 4.00 X 4.00 เมตร สูง 2.40 เมตร
- มีเครื่องปรับอากาศ ขนาด 15,000 BTU ภายในห้องทดสอบ

มีผนังก่ออิฐฉาบปูนในช่อง Test Cell ขนาดประมาณ 0.50 X 0.60 เมตร อยู่ 12 ช่อง ส่วนที่เหลือใช้ฉนวนโฟมหนา 2 นิ้ว กั้นเป็นผนังอาคารทั้งหมดเพื่อใช้ลดค่าการถ่ายเทความร้อน การทดสอบผนังติดตั้งฉนวนทั้ง 8 แบบ แบ่งออกได้ 2 ประเภท

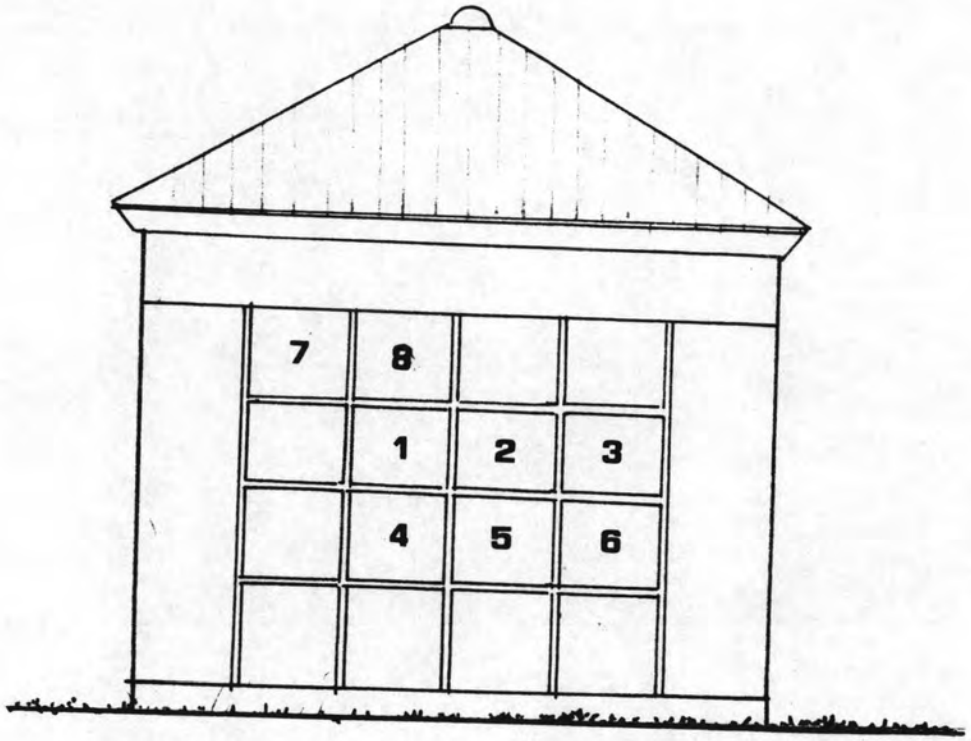
1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่ติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร มี 3 แบบ
   - 1.1 ผนัง EIFS ที่โฟมหนา 1 นิ้ว ติดตั้งกับผิวผนังด้านนอกก่ออิฐฉาบปูน (No 1)
   - 1.2 ผนัง EIFS ที่โฟมหนา 2 นิ้ว ติดตั้งกับผิวผนังด้านนอกก่ออิฐฉาบปูน (No 2)
   - 1.3 ผนัง EIFS ที่โฟมหนา 3 นิ้ว ติดตั้งกับผิวผนังด้านนอกก่ออิฐฉาบปูน (No 3)
2. ผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่ติดตั้งฉนวนภายในอาคาร มี 3 แบบ
   - 2.1 ผนังยิบซั่มบอร์ดหนา 9 มม.+โฟมหนา 1 นิ้ว (No 4) ที่ผนังด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูน
   - 2.2 ผนังยิบซั่มบอร์ดหนา 9 มม.+โฟมหนา 2 นิ้ว(No 5) ที่ผนังด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูน
   - 2.3 ผนังยิบซั่มบอร์ดหนา 9 มม.+โฟมหนา 3 นิ้ว (No 6) ที่ผนังด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูน
   - 2.4 ผนังยิบซั่มบอร์ดหนา 9 มม. ชนิดบุฟอยล์ มีช่องว่างอากาศ 1.5 นิ้ว(No 7)
   - 2.5 ผนังยิบซั่มบอร์ดหนา 9 มม.+ไฟเบอร์กลาสหนา 1 นิ้วชนิดบุฟอยล์ มีช่องว่างอากาศ 1.5 นิ้ว(No 8)ที่ผนังด้านในผนังก่ออิฐฉาบปูน

การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลนี้ต้องการหาค่าการถ่ายเทความร้อนโดยบันทึกข้อมูลอุณหภูมิผิวผนังภายในและภายนอกของผนังทั้ง 4 ด้าน และข้อมูลที่จะต้องการเก็บมีดังนี้

- อุณหภูมิของผิวผนังภายใน - นอกอาคาร
- อุณหภูมิของอากาศภายใน - นอกอาคาร
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายใน - นอกอาคาร
- วัดค่า Solar radiation ดูรูปที่หน้า 66

(**หมายเหตุ** : ภายในห้องทดสอบมีการควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องปรับอากาศขนาด 1.5 ตัน) โดยควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 21 $^{\circ}$C แต่เครื่องปรับอากาศมีการตัดที่อุณหภูมิอากาศระดับหนึ่ง ในขณะนั้นมีแต่ลมเย็นที่เป่าออกมา หลังจากนั้นจึงเริ่มทำงานต่อไป)



รูปภาพที่ 4.6 รูปด้านห้องทดสอบผนังที่มีช่อง TEST CELL 12 ช่องบนอาคารดาดฟ้าชั้นที่ 11 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ประเภทติดตั้งฉนวนภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน</u>

หมายเลข 1 หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ฉนวนระบบ EIFS ที่โฟมหนา 1 นิ้ว

หมายเลข 2 หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ฉนวนระบบ EIFS ที่โฟมหนา 2 นิ้ว

หมายเลข 3 หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ฉนวนระบบ EIFS ที่โฟมหนา 3 นิ้ว

<u>ประเภทติดตั้งฉนวนภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน</u>

หมายเลข 4หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ผนังยิบซั่มบอร์ด ที่โฟมหนา 1 นิ้ว

หมายเลข 5หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ผนังยิบซั่มบอร์ด ที่โฟมหนา 2 นิ้ว

หมายเลข 6หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ผนังยิบซั่มบอร์ด ที่โฟมหนา 3 นิ้ว

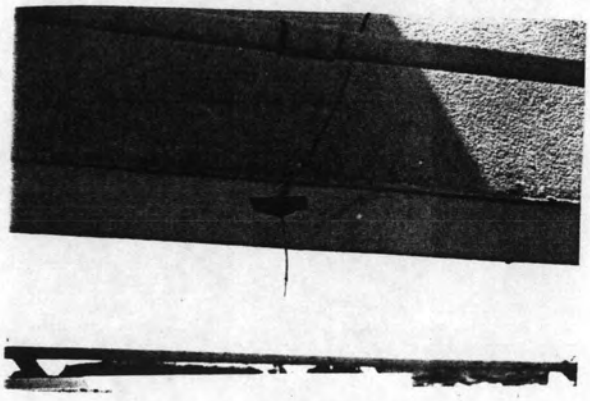
หมายเลข 7หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ผนังยิบซั่มบอร์ด ชนิดบุฟอยล์ มีช่องว่างอากาศ 1.5 นิ้ว

หมายเลข 8หมายถึง ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ผนังยิบซั่มบอร์ด ติดตั้งไฟเบอรกลาสหนา 1 นิ้ว ชนิดบุฟอยล์ มีช่องว่างอากาศ 1.5 นิ้ว

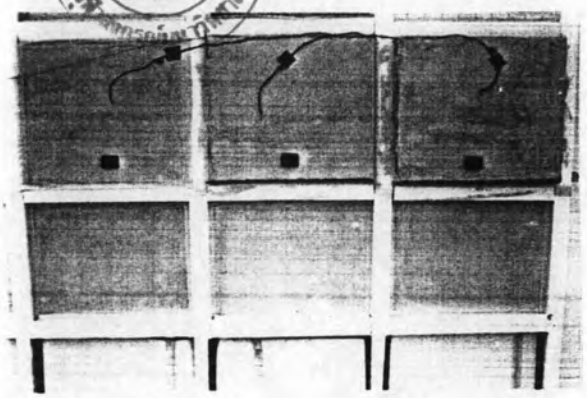
รูปภาพที่ 4.2 ภาพแสดงการทดสอบผนังที่ห้องทดสอบ

สภาพภายนอกกับการติดตั้งสาย Thermal couple

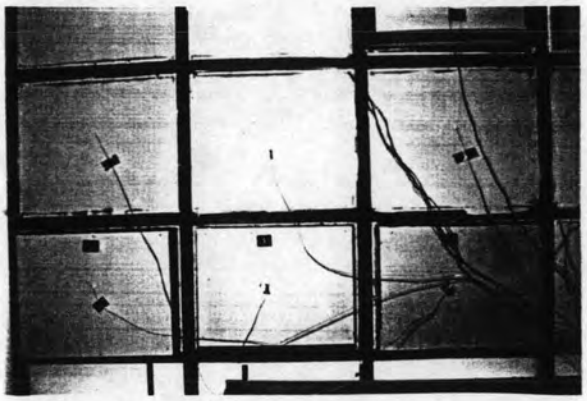
สภาพบรรยากาศภายในห้องทดสอบ กับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ



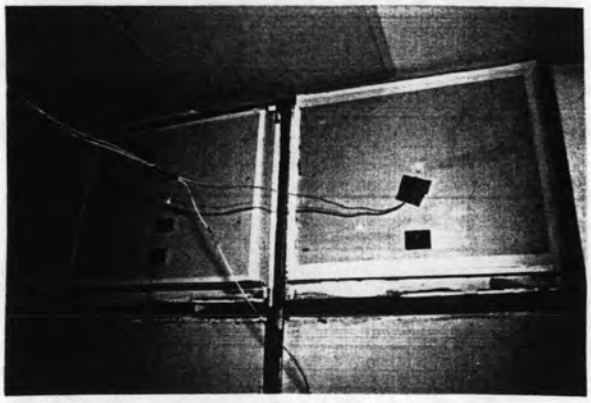
การติดสาย Thermo couple เพื่อวัดอุณหภูมิอากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ไม่โดนแดด



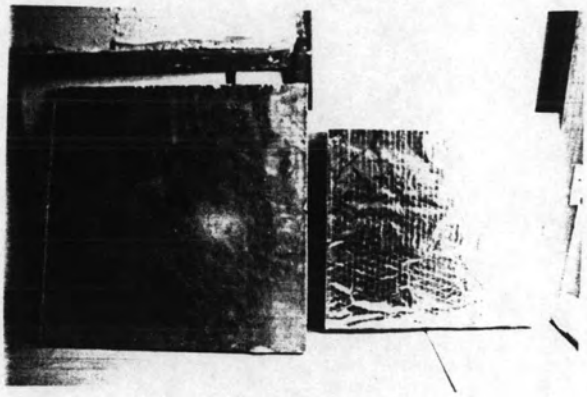
ประเภทผนังทดสอบที่ติดตั้งฉนวนภายนอก EIFS
ความหนาโฟม 1" ถึง 3" หมายเลข 1 - 3 ตามลำดับ



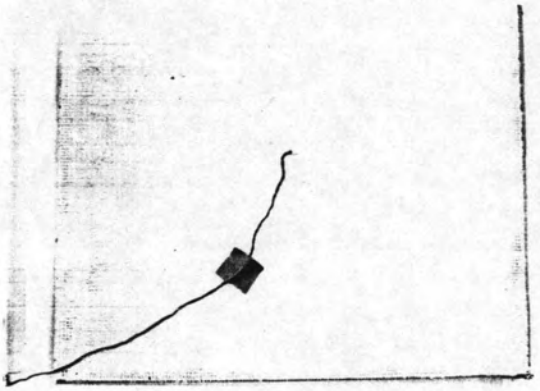
ประเภทผนังทดสอบที่ติดตั้งฉนวนภายใน ที่ใช้ยิบซั่มบอร์ด + โฟมหนา 1" ถึง 3"
หมายเลข 4 - 6 ตามลำดับ



ประเภทผนังทดสอบที่ติดตั้งฉนวนภายในใช้ยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฟอยด์
และยิบซั่มบอร์ดที่มี Fibre glass หนา 1" ชนิดมีฟอยด์
หมายเลข 7 - 8 ตามลำดับ



ผนังยิบซั่มบอร์ดชนิดมีฟอยด์ กับผนังยิบซั่มบอร์ด
ที่มี Fibre glass ความหนา 1" แบบมีฟอยด์



การติดตั้งสาย Thermo couple ที่ผนังโดยมีโฟมอย่างบางติดที่หัว

เครื่องวัดความชื้นภายนอก

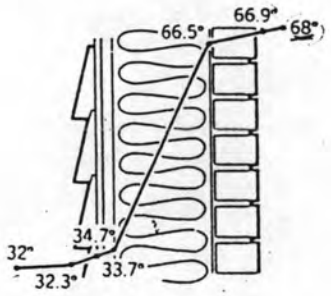
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่สำรวจและผลที่เกิดขึ้น

ในการสำรวจเก็บข้อมูลตามอาคารที่ศึกษาต่างๆ มีจุดประสงค์ต้องการทราบสภาพความต้านทานความร้อนของผนังที่เกิดขึ้นในสภาพจริง และปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปของการใช้งาน โดยอาศัยหลักการคำนวณ และวิเคราะห์จากสูตรตามทฤษฎี ซึ่งพอจะสรุปหลักการพิจารณาออกมาได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากสูตร คำนวณค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ จากตาราง

$$U = 1/\Sigma R$$

2. ใช้หลัก " THERMAL GRADIENT " ที่ใช้หาค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของวัสดุที่ประกอบเป็นผนัง มาใช้หาค่าความต้านทานรวม ดังรูปภาพข้างล่าง ที่แสดงการหาค่าอุณหภูมิผิวภายในโครงสร้างจากการคิดคำนวณ เมื่อเราทราบค่าของอุณหภูมิอากาศภายในกับภายนอก อุณหภูมิผิวภายในกับภายนอก และค่า ΣR **จากการเปิดตาราง**



R	Component	ΣR from Interior	Temperature Drop from Interior (F°)	Temperature at Outer Edge of Component (F)
0.68	Inside air layer	0.68	0.68/21.46 × 36 = 1.1	66.9
0.20	Common brick	0.88	0.88/21.46 × 36 = 1.5	66.5
19.00	Nominal 6-in. insulation	19.88	19.88/21.46 × 36 = 33.3	34.7
0.62	½-in. Plywood	20.5	20.5/21.46 × 36 = 34.3	33.7
0.79	1-in. Wood siding	21.29	21.29/21.46 × 36 = 35.7	32.3
0.17	Outside air	21.46		32

Procedure for calculating the thermal gradient through construction. Assume that outside and inside temperatures are 32 and 68 F (0 and 20°C): Δt = 68 − 32 = 36F°.

ที่มาหนังสือ : Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th.Edition,1992.

ซึ่งสามารถเขียนมาเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$0.68/\Sigma R \times (T_{outside} - T_{room}) = T_{surface\ inside} - T_{room}$$

จากรูปข้างต้นจะได้ $0.68/21.46 \times (36) = 1.1$

จากหลักกล่าว สามารถนำประยุกต์หาค่า ΣR ได้ โดยการวัดค่าจากหภาพจริงของอุณหภูมิอากาศทั้งภายในและภายนอก และอุณหภูมิผิวภายในกับภายนอกซึ่งจะคำนวณค่า "U " ออกมาได้

3. การหาค่า "U" โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนที่หาได้จากค่า 2 ค่า คือ

3.1 หาค่าจากสูตร $Q = U \times A \times CLTD$

โดยที่ CLTD มาจากตารางค่า CLTD ตามกลุ่มของประเภทผนังและตำแหน่ง Latitude Month (ได้จากตาราง)

3.2 หาค่าจากสูตร $Q = hi \times A \times \Delta T$

โดยที่ hi = ฟิลม์อากาศที่ผิวภายใน

ΔT = ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายใน กับอุณหภูมิห้อง

$(T_{surf.\ in} - T_{room})$

นำค่า Q จากข้อ 3.1 และ 3.2 มาเทียบเท่ากันเพื่อหาค่า "U " ดังนี้

$$U = \frac{(hi \times \Delta T)}{CLTD}$$

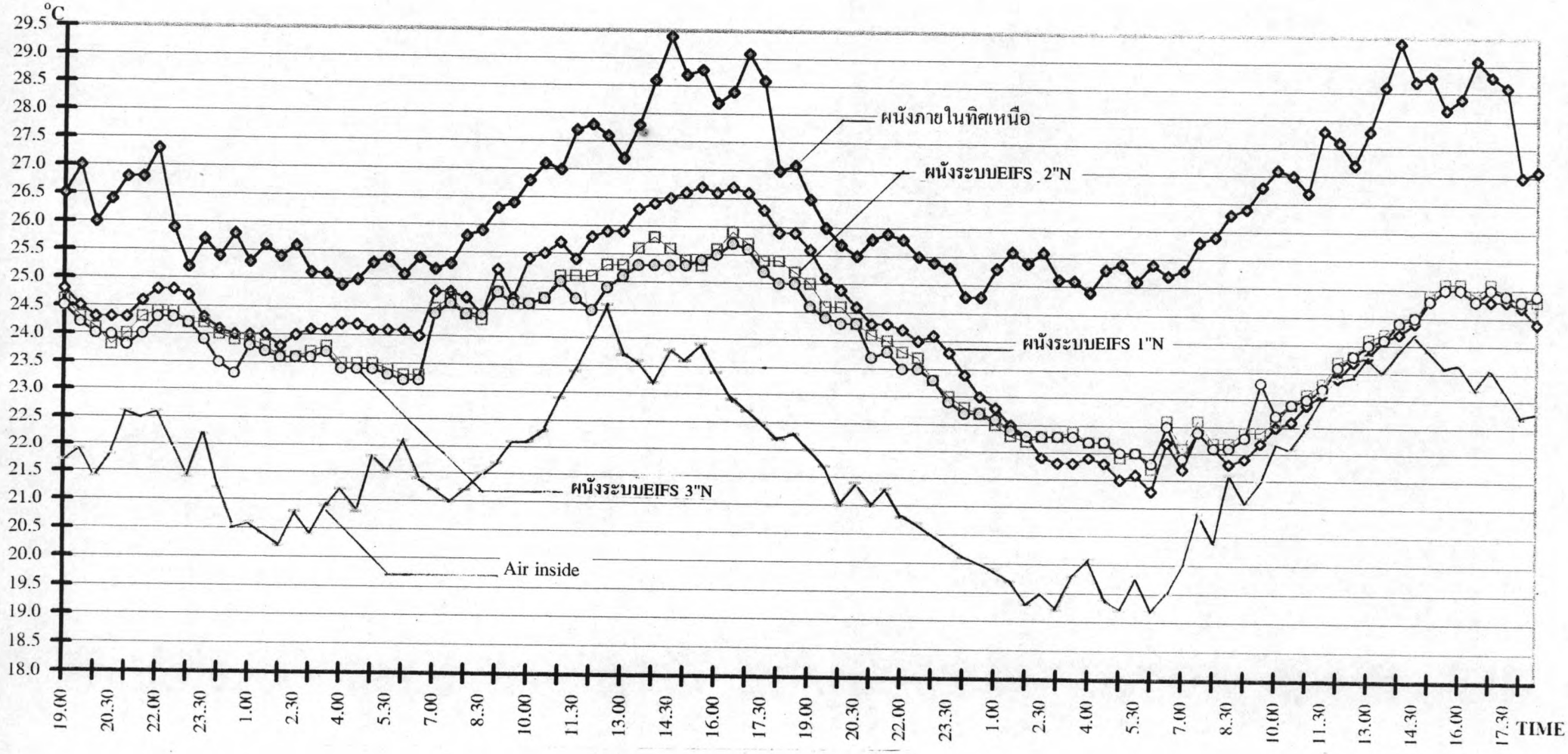
4. การหาปริมาณความร้อน จากภายนอกถ่ายเทผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร จากการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนจากข้อ 3.1 ข้างต้น

$$Q = U \times A \times CLTD$$

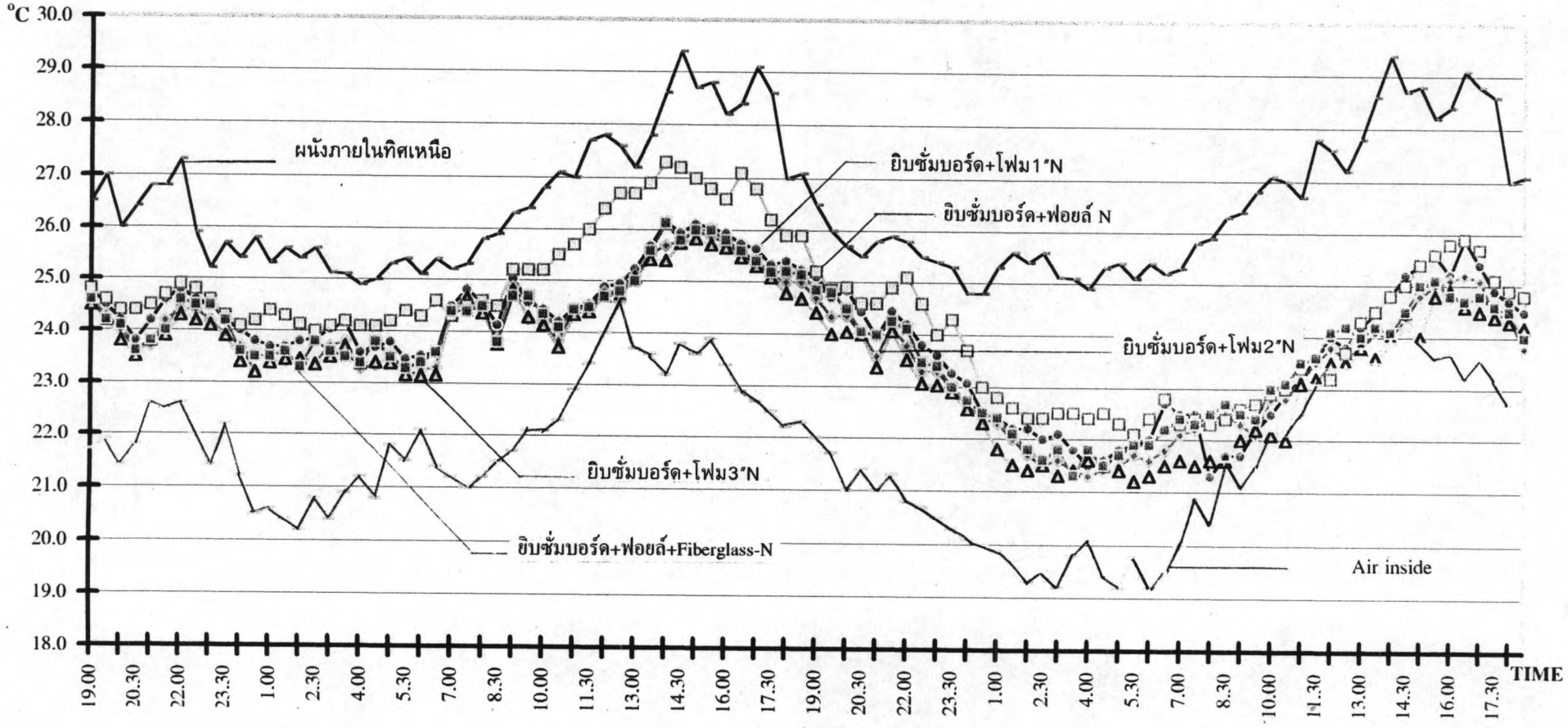
เป็นสูตรที่ใช้วัดค่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในช่วงเวลาต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลง (Solar time) และผ่านการหน่วงเวลาของวัสดุ (Time Lag) ถ่ายเทผ่านอากาศเข้าภายในห้อง เป็นภาระการ

ทำความเย็นซึ่งจะแตกต่าง จากสูตร Q = U x A x ΔT ที่ในทางทฤษฎีเป็นการคำนวณจากวัสดุภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ (Steady State) ไม่มีเงื่อนไขของความเปลี่ยนแปลงเวลา และการหน่วงของเวลา

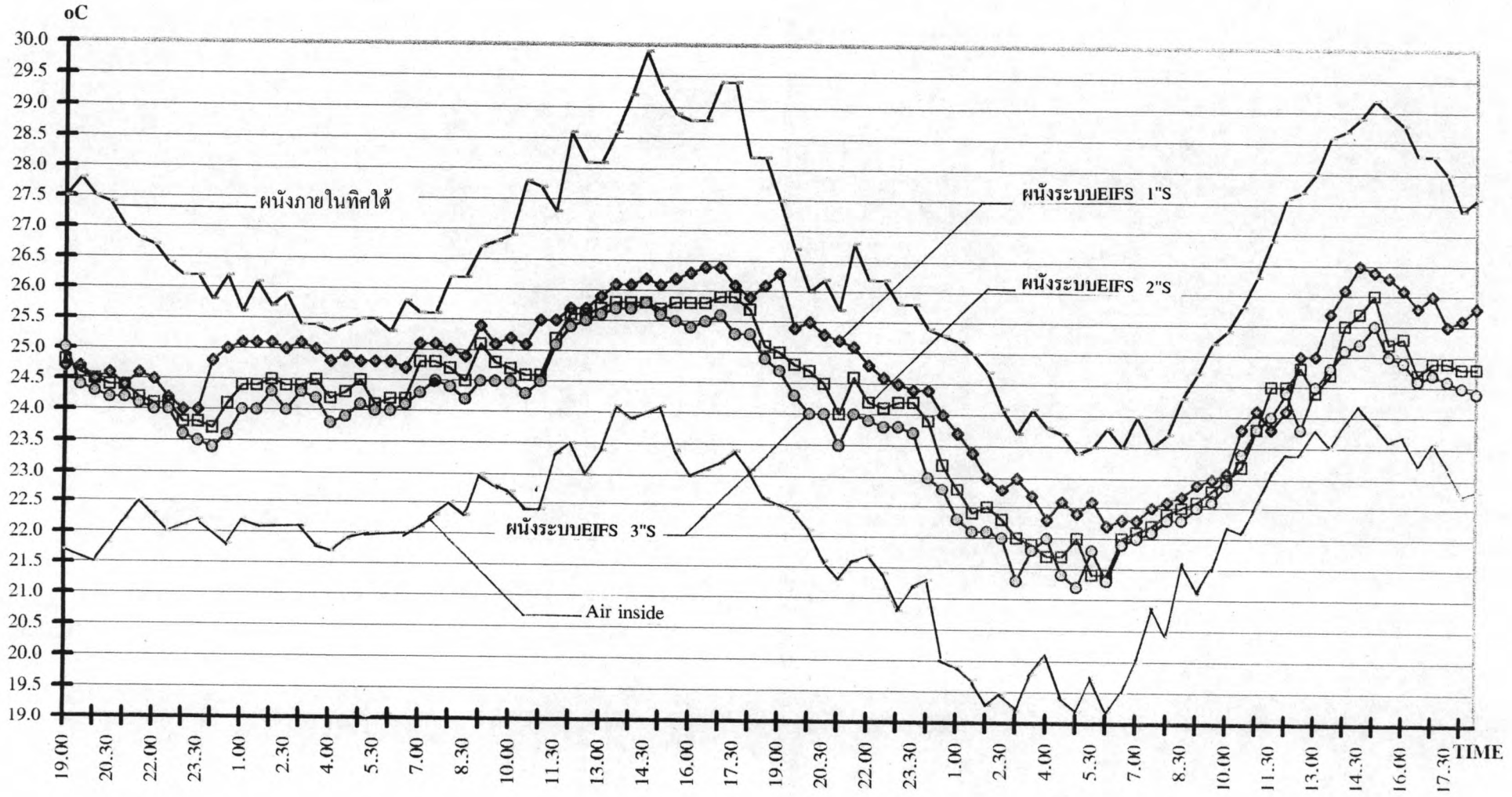
ดังนั้นในที่นี้จึงพยายามใช้ค่า Q = U x A x ΔT คำนวณจากวัสดุภายใต้สภาวะใกล้เคียงอุณหภูมิคงที่ (Steady State)มากที่สุด โดยΔT = อุณหภูมิที่ผิววัสดุภายใน ลบด้วย อุณหภูมิภายในห้อง และค่า U = Air film Resistance (h ;) ซึ่งจะให้ค่าQ ใกล้เคียง Q= U x A x CLTD เป็นค่าภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ



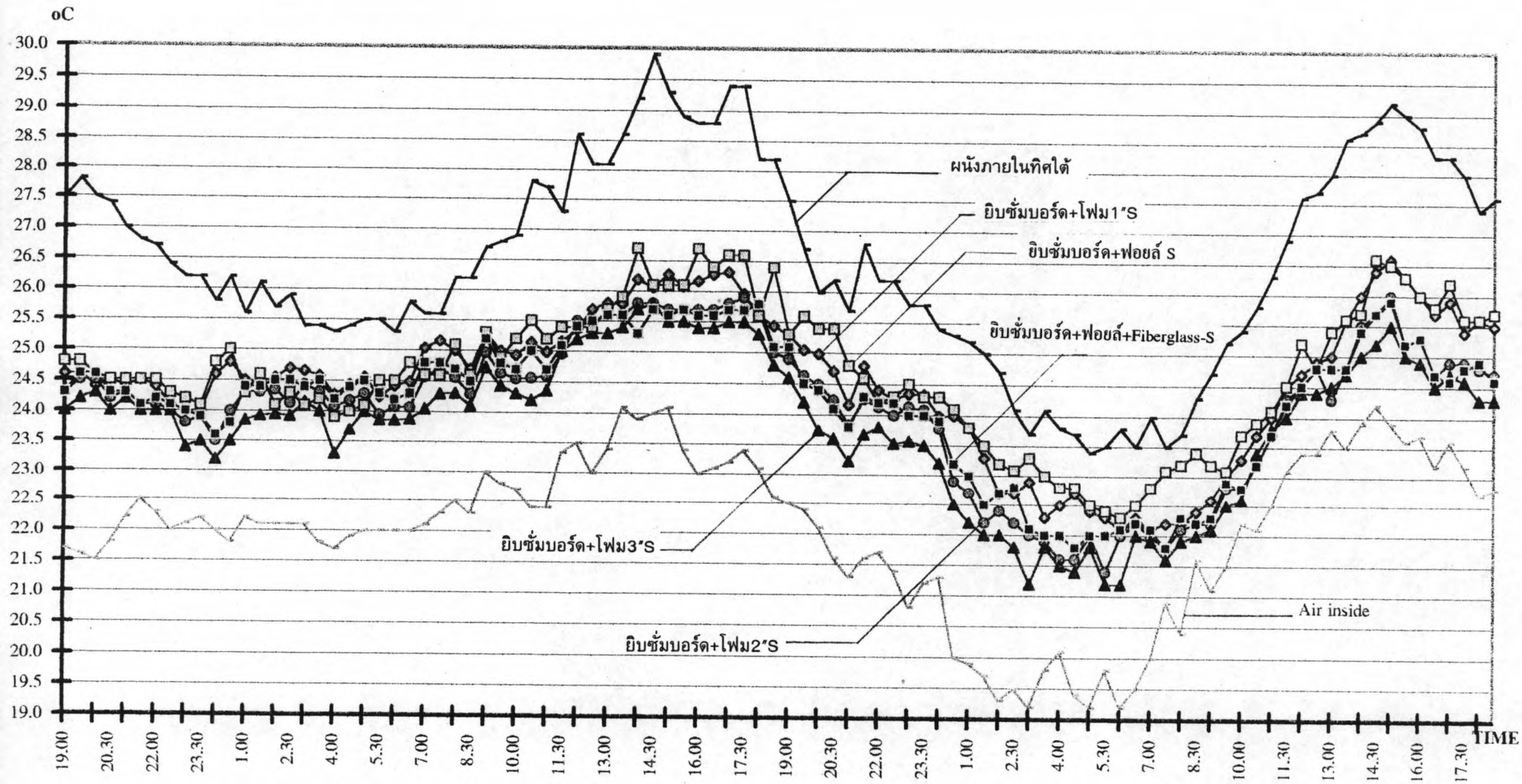
แผนภูมิที่ 4.2.1-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภทด้านทิศเหนือ



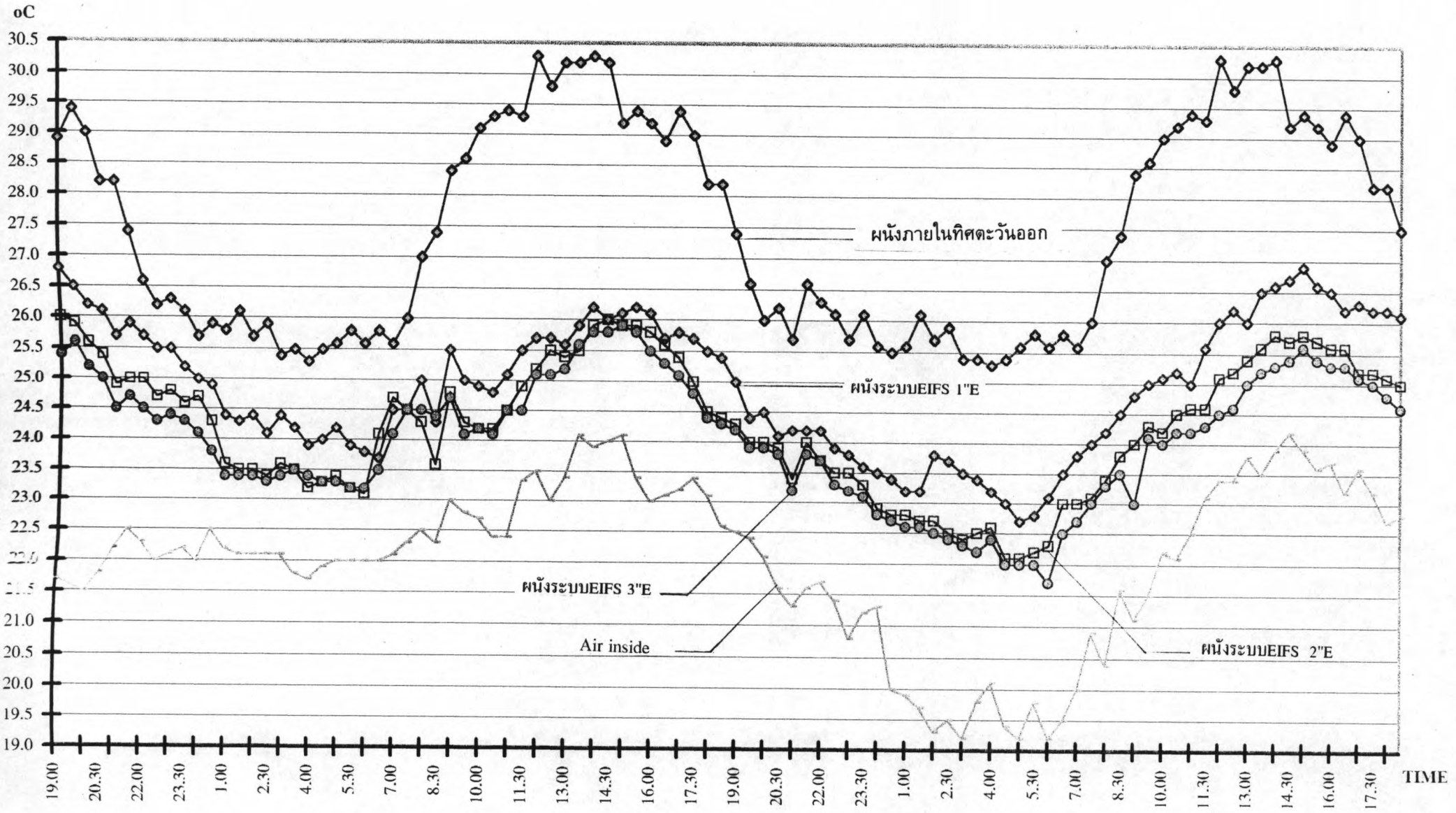
แผนภูมิที่ 4.2.1-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภทด้านทิศเหนือ



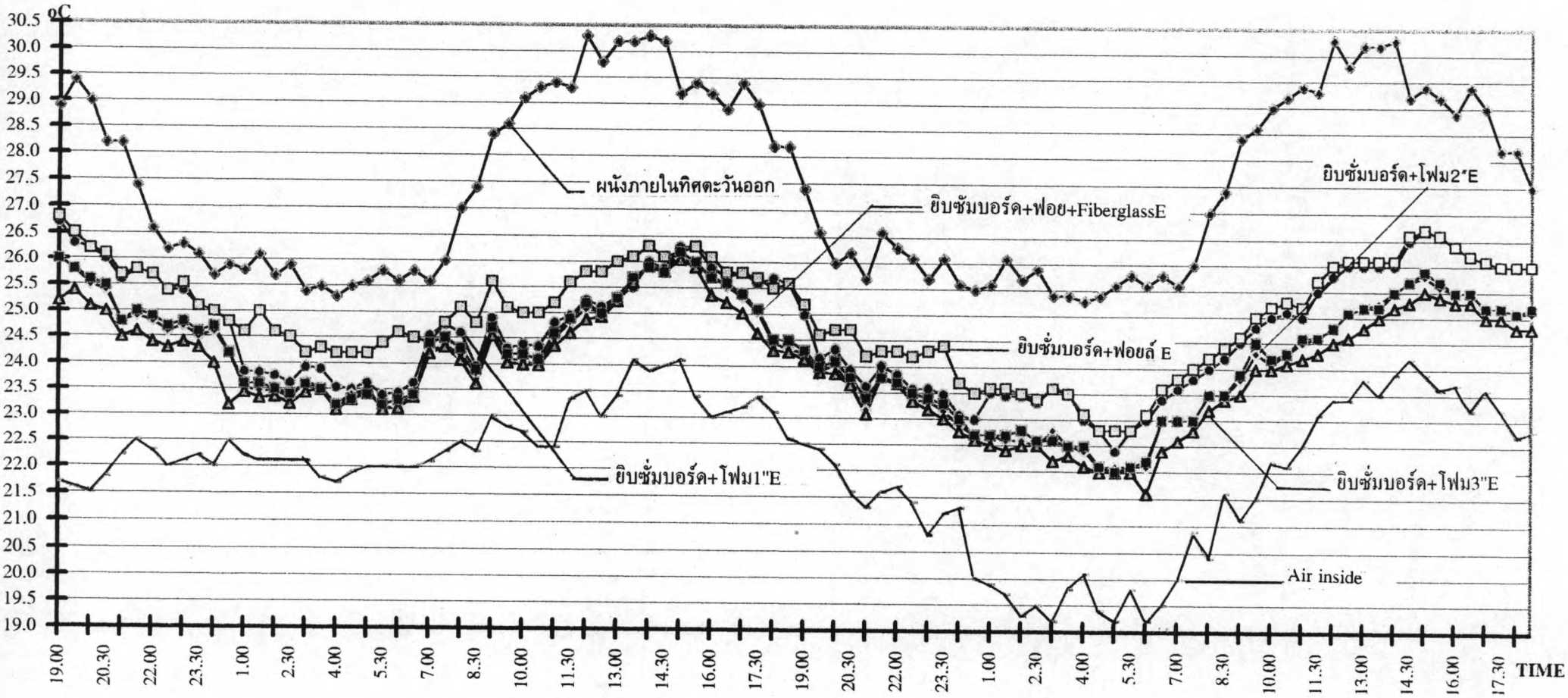
แผนภูมิที่ 4.2.2-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภทด้านทิศใต้



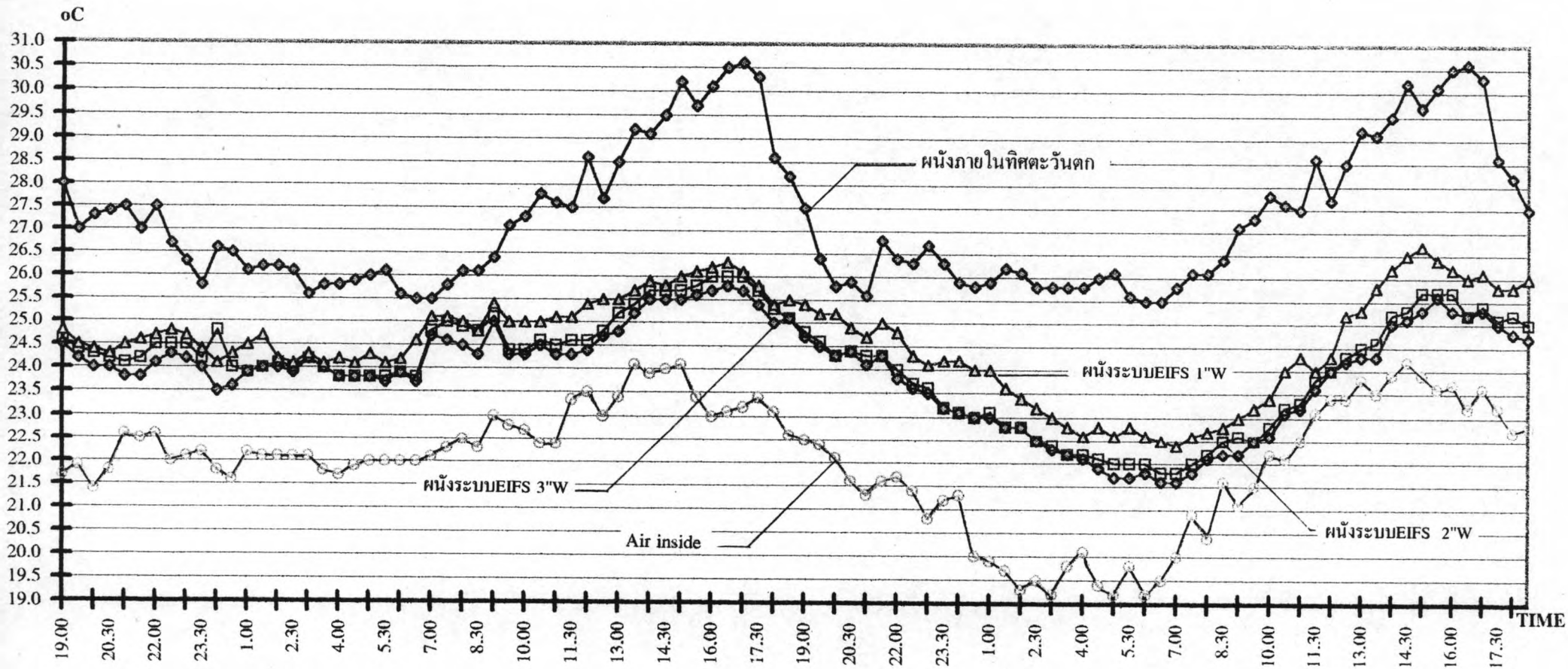
แผนภูมิที่ 4.2.2-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภทด้านทิศใต้



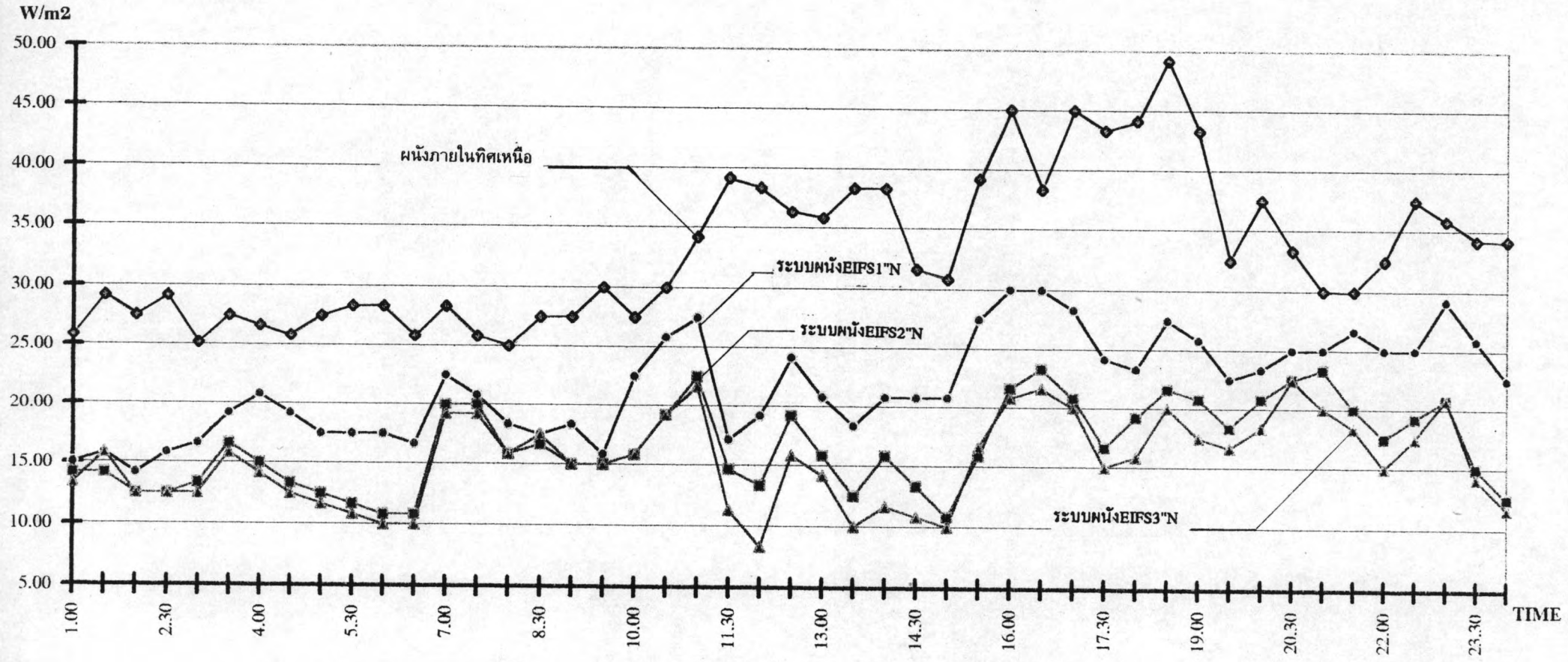
แผนภูมิที่ 4.2.3-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภทด้านทิศตะวันออก



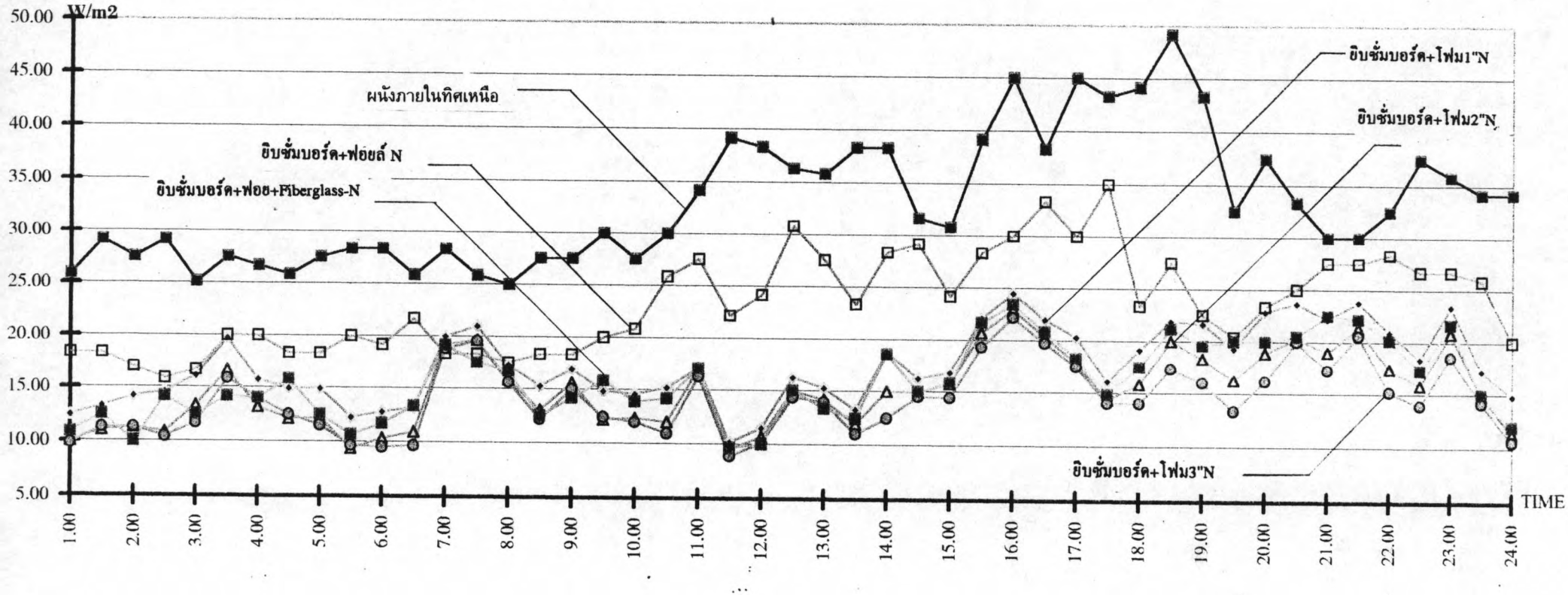
แผนภูมิที่ 4.2.3-2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภทด้านทิศตะวันออก



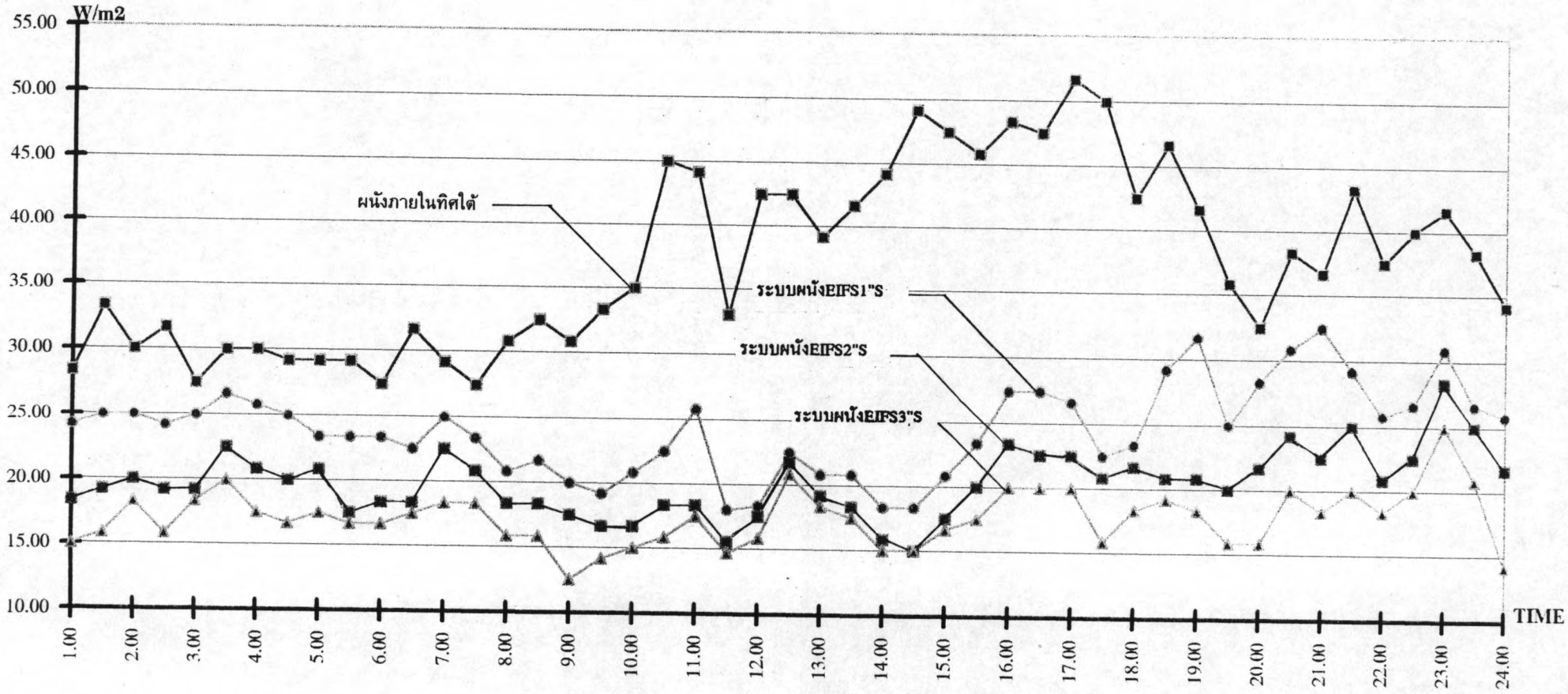
แผนภูมิที่ 4.2.4-1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องทดสอบของการติดตั้งฉนวนแต่ละประเภทด้านทิศตะวันตก



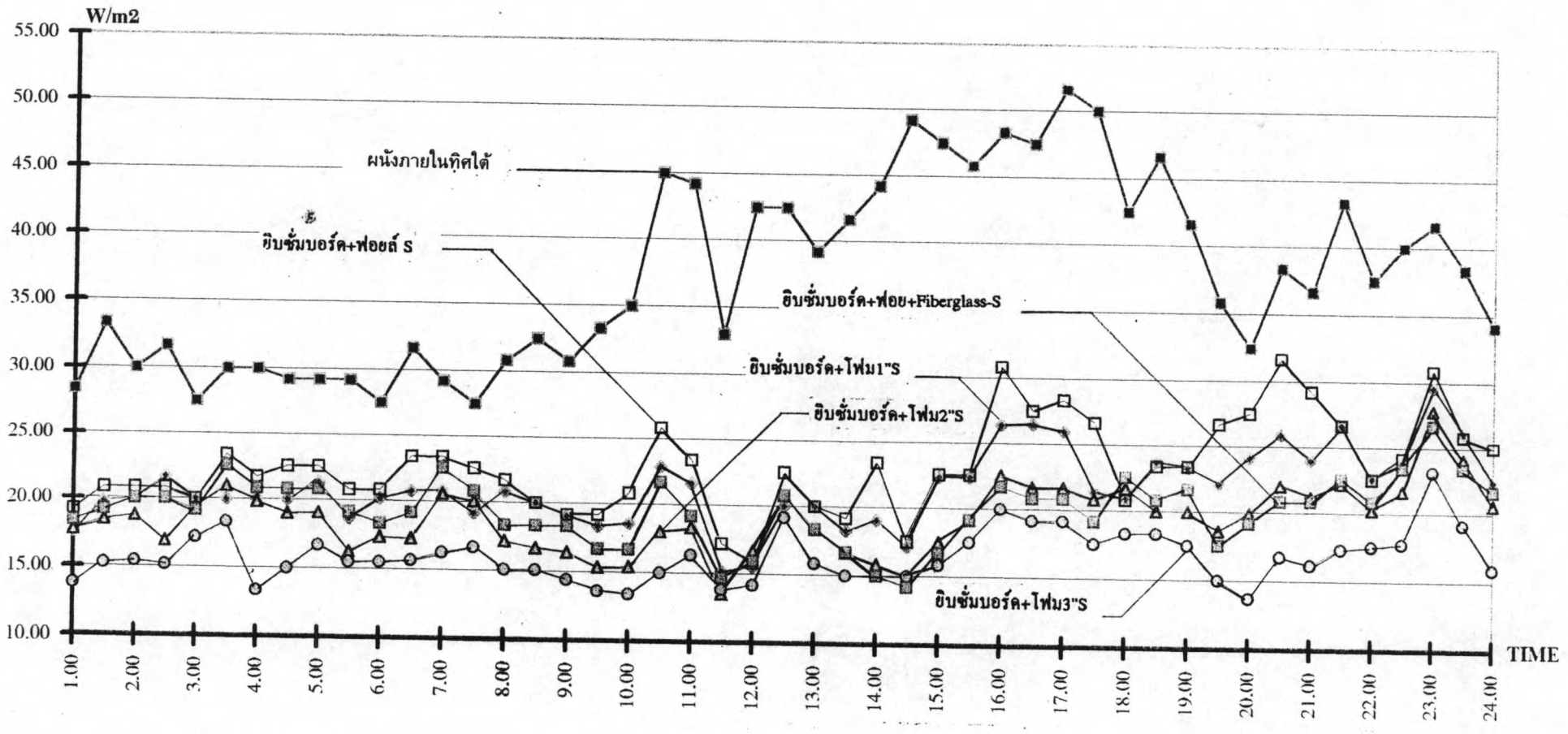
แผนภูมิที่ 4.3.1 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา ของระบบ EIFS ที่ใช้โฟมหนา 1" 2" และ 3" ตามลำดับ เทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ด้านทิศเหนือ



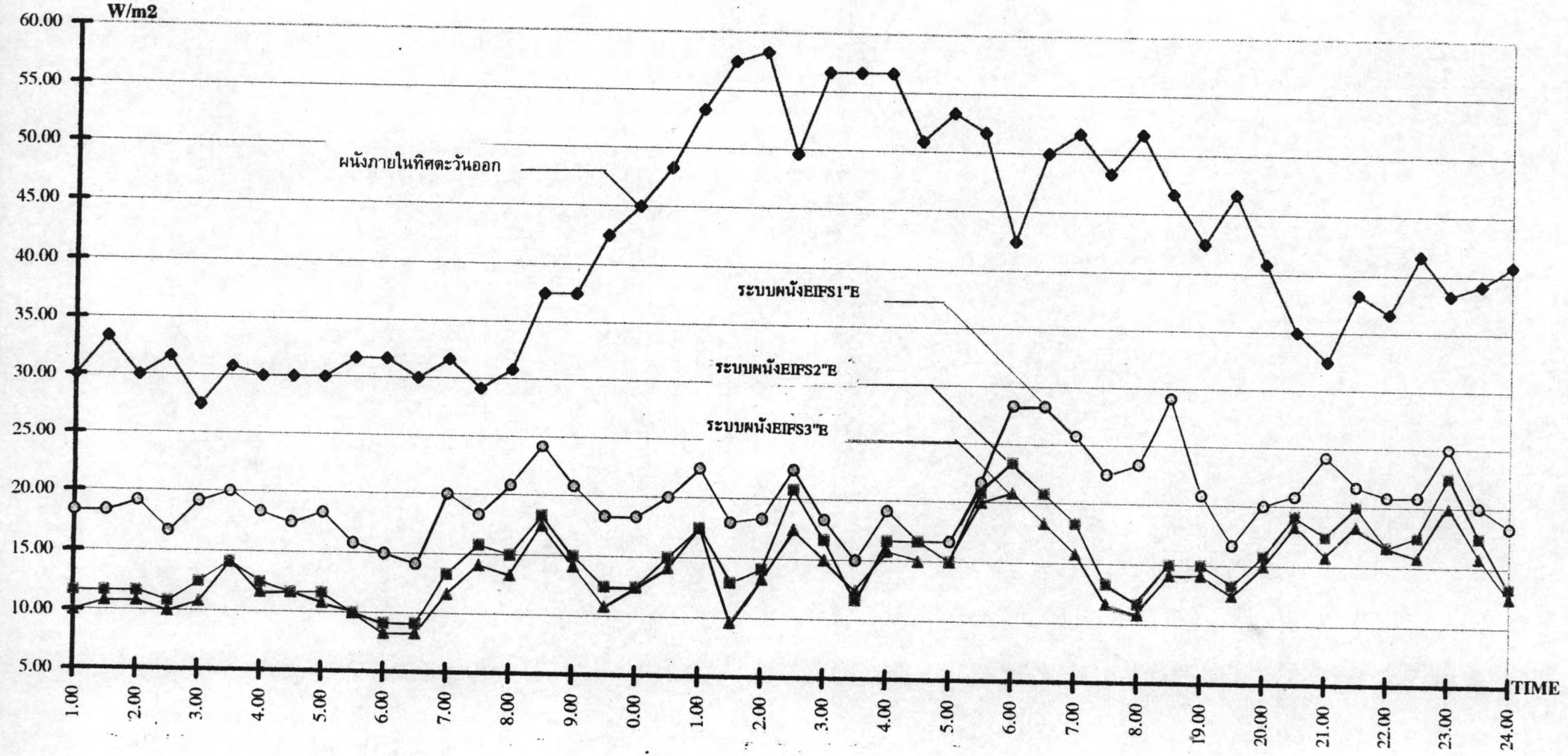
แผนภูมิที่ 4.3.2 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ดที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1" 2" และ 3" ตามลำดับ และยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฉนวน FIBRE GLASS หนา 1" ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศเหนือ



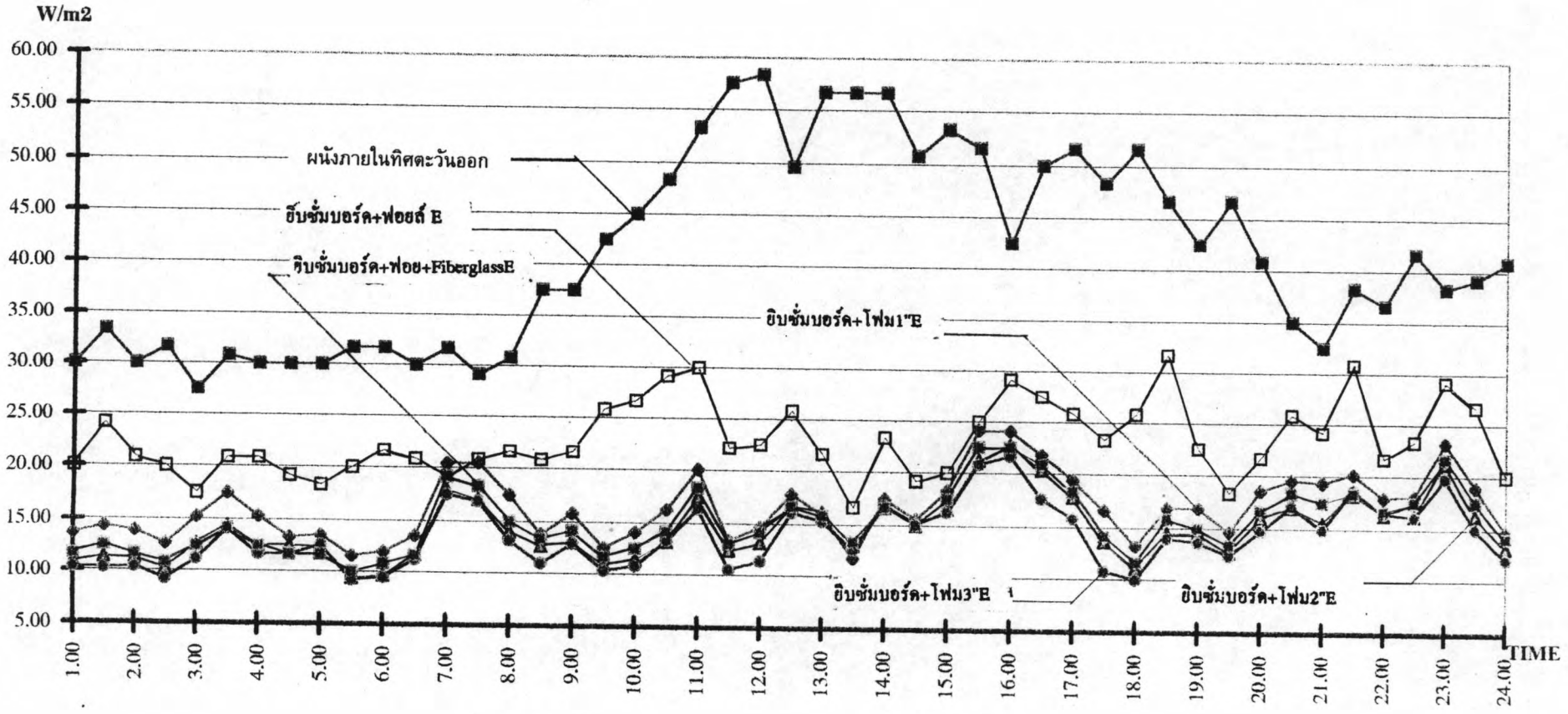
แผนภูมิที่ 4.3.3 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา ของระบบ EIFS ที่ใช้โฟมหนา 1" 2" และ 3" ตามลำดับ เทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ด้านทิศใต้



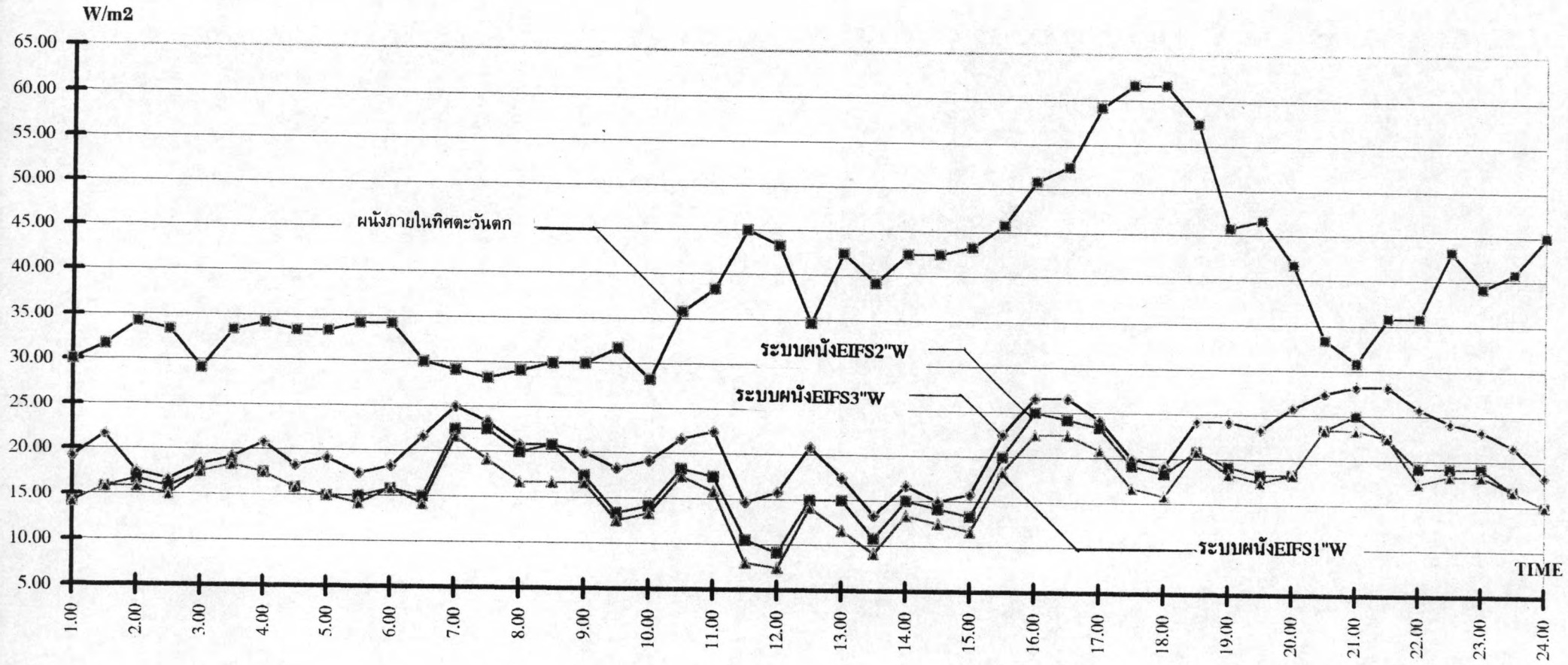
แผนภูมิที่ 4.3.4 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ดที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1" 2" และ 3" ตามลำดับ และยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฉนวน FIBRE GLASS หนา 1" ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศใต้



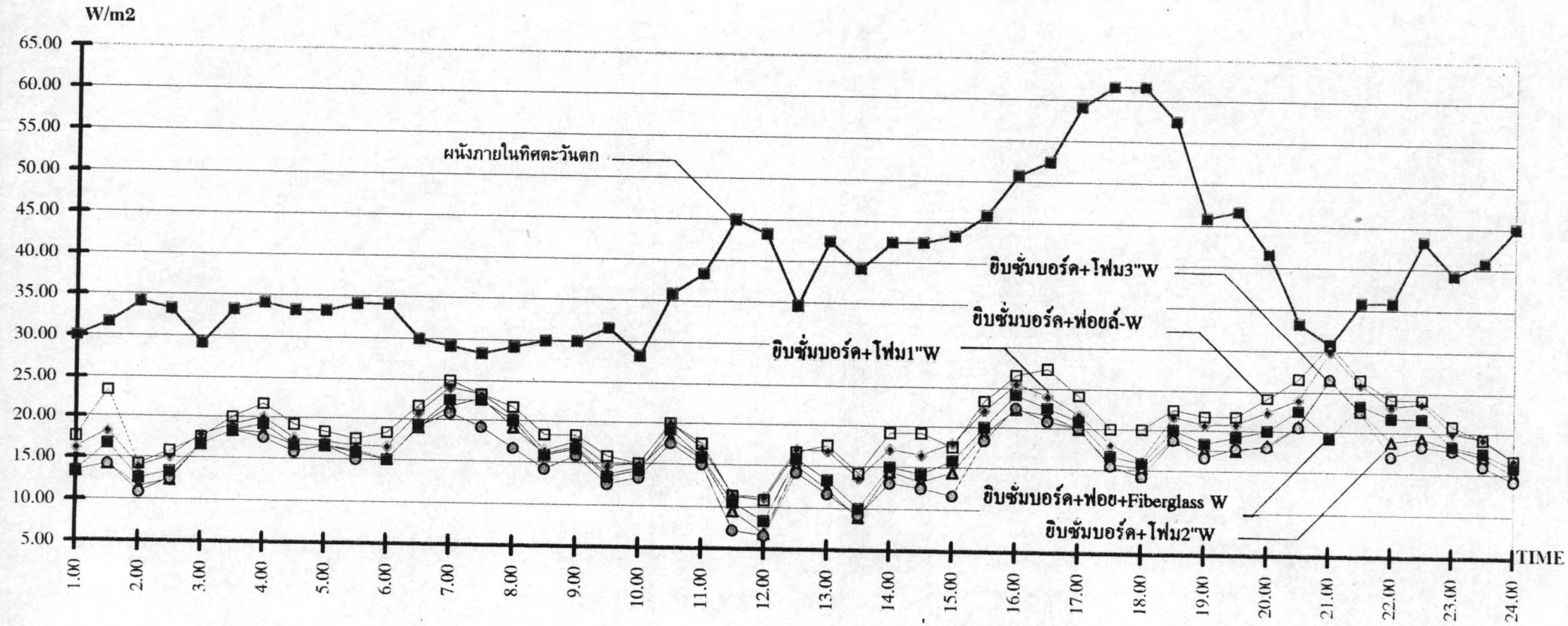
แผนภูมิที่ 4.3.5 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามาของระบบ EIFS ที่ใช้โฟมหนา 1" 2" และ 3" เทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ด้านทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4.3.6 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ดที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1" 2" และ 3" ตามลำดับ และยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฉนวน FIBRE GLASS หนา 1" ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4.3.7 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังเข้ามา ของระบบ EIFS ที่ใช้โฟมหนา 1" 2" และ 3" ตามลำดับ เทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ด้านทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4.3.8 แสดงค่าปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังประเภทติดตั้งยิบซั่มบอร์ดที่มีโฟมภายในที่ความหนา 1" 2" และ 3" ตามลำดับ และยิบซั่มบอร์ดบุฟอยล์ กับยิบซั่มบอร์ดชนิดบุฉนวน FIBRE GLASS หนา 1" ชนิดมีฟอยล์ ด้านทิศตะวันตก

ผลจากการสำรวจทางกายภาพของสภาพจริงในอาคารตัวอย่าง

จากการสำรวจตามอาคารในสภาพจริงที่เกิดขึ้น 4 อาคารเพื่อศึกษาสภาพทางกายภาพของผนังอาคาร ด้านค่าความตานทานความร้อน(R) ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U) และปริมาณการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น(Q)

เนื่องจากค่าที่วัดได้ในสภาพจริงที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน(U) มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาดูได้จากตารางที่ 3.2.1-3.2.4 ในบทที่ 3

สูตรที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์ผลที่ได้จึงต้องมีการประเมินค่าที่วัดได้จริง โดยการใช้ Regression ในโปรแกรม Excellคำนวณ ดูแนวโน้ม(Trend)ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 สูตร มาใช้คำนวณเปรียบเทียบหาค่า"U"(ดังกล่าวในหัวข้อ 4.4)ออกมาได้โดย

1. หลัก Thermal Gradient

จากสูตร $$\sum R = \frac{0.12(T_{outside} - T_{inside\ air})}{(T_{surface\ inside} - T_{inside\ air})}$$

ในสภาพจริงที่เกิดขึ้น อุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงตลอด แต่อุณหภูมิผิวภายนอกมีการดูดกลืนรังสี และค่าการหน่วงเวลาของวัสดุ ดังนั้นค่าที่ใช้ในการคำนวณ จึงเลือกที่ใช้ T surface outside เหมาะสมกว่า ค่าT ouitside หาส่วนกลับของ $\sum R$ จะได้ค่า U1 = $1/\sum R$

2. สูตรหาค่าปริมาณความร้อนที่เป็นภาระในการทำความเย็น

$$Q = U2 \times A \times CLTDcorr$$

เทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผนังที่เกิดขึ้น

$$Q = hi \times A \times (T_{surface\ inside} - T_{inside\ air})$$

ที่ได้ค่าออกมาเป็น $$U = \frac{hi \times (T_{inside\ air})}{CLTDcorr}$$

3. การเทียบค่าปริมาณการถ่ายเทความร้อน (Q)

จากสูตร $Q = U \times A \times TDeq$

โดยที่ $TD = 10°C$

วัสดุที่ศึกษาเป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่ามวลมากกว่า 195 กก./ตร.ม. และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ (α) = 0.2-0.4 เป็นค่า Q ที่ได้จากการวัดคำนวณ

ส่วนค่า Q ที่ได้จากการวัดจริงของผนังเฉลี่ย 4 ด้าน โดยหาได้จากค่า U ที่วัดจริงที่หาได้จาก Regression ในแต่ละด้านมาคำนวณหา ค่า U1 และ U2 ที่ได้ คูณด้วย TDeq = 10°C

เป็นค่า Q1 เฉลี่ย และQ2เฉลี่ย ซึ่งผลที่ได้ทั้งหมด หลังจากใช้ Regression หาดูแนวโน้มแล้ว ปรากฏว่า อาคารจามจุรี 1 ค่าU1ที่หาโดย Thermal Gradient และค่าU2 ใช้ค่า CLTDcorr มีค่าน้อยกว่าการคำนวณ ซึ่งมีอยู่เพียงด้านทิศเหนือ ที่มีค่าใกล้เคียงการคำนวณ และค่าQ ก็เช่นเดียวกัน

-อาคารครุศาสตร์ทดแทน B ค่า U1 มีค่าแตกต่างไม่มากจากการคำนวณ ส่วนค่า U2มีค่าน้อยกว่าการคำนวณ ดังนั้นค่า Q1 ที่วัดได้จากค่า U1 จึงใกล้เคียงกับ Qที่วัดได้จริง ส่วนค่า Q2 จากค่า U2มีค่าน้อยกว่าค่า Q1 จากU1

-อาคารสถาบันวิทยบริการ ค่า U1 มีค่าน้อยกว่าการคำนวณ แต่ค่า U2 มีค่าแตกต่างกันน้อยกว่าการคำนวณ ดังค่า Q1 จึงมีค่าน้อยกว่าการคำนวณ และค่า Q2 มีค่าแตกต่างน้อยกว่าการคำนวณ

-อาคารสำนักงานทรัพย์สิน ค่า U1 มีค่ารวมน้อยกว่าการคำนวณ ส่วน U2 มีค่ารวมแตกต่างจากการคำนวณไม่มาก ดังนั้น ค่า Q1 จึงมีค่าน้อยกว่าการคำนวณ ส่วน Q2 มีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณ

สิ่งที่พบคือ การคำนวณจริง มีความแตกต่างจากการคำนวณวิธีที่หาค่า U ที่ใกล้เคียงกับการคำนวณได้บ้าง คือ การใช้ค่า CLTDcorr เทียบกับค่า $Q = hi \times \Delta T$ เพื่อหาค่า "U"

เมื่อ ΔT = (T surface inside - T inside air)

ข้อสังเกต : ค่าQ1,Q2ที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน OTTV กำหนดสำหรับอาคารเก่า(55 W/m2) แต่ในการคำนวณค่า OTTVของผนังต้องคิดปริมาณความร้อนที่ผ่านช่องเปิดหรือกระจกด้วย ซึ่งส่วนนี้เป็นปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาในอาคารสูง ดังนั้นค่า OTTVที่ถูกต้องนำมาปริมาณความร้อนของกระจกมาคำนวณเปรียบเทียบปรับลดค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นหาค่าที่เหมาะสมดังตารางที่4.5

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจริงกับการคำนวณ

อาคาร	U - Value จากคำนวณ	U1 - Value (W/m2 .oK)				U2 - Value (W/m2 .oK)				ค่าTDeq จากตาราง	ค่า Q จากคำนวณ	ค่า Q1 จากวัดจริง	ค่า Q2 จากวัดจริง	R - Value จากวัดจริง	R - Value จากคำนวณ	OTTV*
	(W/m2 .oK)	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศ ตะวันออก	ทิศตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศใต้	ทิศ ตะวันออก	ทิศตะวันตก	(oK)	(W/m2)	(W/m2)	(W/m2)	(m2 .oK/W)	(m2 .oK/W)	(W/m2)
จามจุรี 1	2.438	2.73	1.43	0.74	1.63	2.42	0.55	0.33	0.65	10	24.30	16.30	9.80	0.526	0.407	53.50
ครุศสาตร์ทดแทน 3	3.044	NA	4.22	3.00	5.38	NA	2.04	1.28	1.68	10	30.40	42.00	16.60	0.735	0.328	62.50
สถาบันวิทยบริการ	2.778	1.53	1.23	NA	1.85	3.01	2.74	NA	3.13	10	27.70	15.30	29.60	0.61	0.358	73.10
สำนักงานทรัพย์สิน	3.027	NA	2.38	NA	3.41	NA	3.78	NA	2.44	10	30.27	28.95	31.10	0.55	0.329	68.00

หมายเหตุ : * แสดงค่า OTTV ที่ได้การสำรวจวิจัย เรื่อง "การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย" รศ.ทวี เวชพฤติ,2527 ยกเว้นอาคาร ครุศาสตร์ทดแทน 3 จากคำนวณที่ชั้น5-8เป็นส่วนอาคารเรียนและห้องพักอาจารย์

: ค่า TDeq ที่มีมวลของผนังมากกว่า 195 Kg/m2 และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอาทิตย์อยู่ระหว่าง 0.2 - 0.4

:ค่า U1 หาได้จากหลัก THERMAL GRADIIENT โดยใช้Regessionดูแนวโน้มหาค่าUจากส่วนกลับของค่าRรวมของผนัง= 0.12(Tsurfaceoutside - Tinside air)/(Tsurfaceinside - Tinside air) ค่าความร้อนที่ได้ = Q1

:ค่า U2 หาได้จากค่าCLTDcorrect โดยใช้Regessionหาค่าUจากhi x (Tsurfaceinside - Tinside air)/CLTDcorrect ค่าความร้อนที่ได้ = Q2

: **อาคารจามจุรี 1 เป็นอาคารที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนเต็มแผ่น(หนา20ซม.) และอาคารที่เหลือส่วนใหญ่เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนครึ่งแผ่น(หนา 10ซม.)**

การวิเคราะห์พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเรียบเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐที่ติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนประเภทที่ใช้ภายนอกและภายใน

ขั้นตอนในการเปรียบเทียบแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน

1. เปรียบเทียบปริมาณความร้อนจริงที่ถ่ายเทผ่านผนังภายนอกเข้าสู่อาคาร
2. เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ด้าน
3. เปรียบเทียบมูลค่าของพลังงานที่ต้องใช้ในแต่ละปี กับการคำนวณคืนทุนอย่างง่าย

ข้อกำหนดในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ

1. เนื่องจากอาคารแต่ละประเภทมีจุดประสงค์ในการใช้งานแตกต่างกันไป วัสดุชนิดหนึ่งหรือการติดตั้งประเภทหนึ่งอาจเหมาะกับอาคารประเภทหนึ่งแต่ไม่เหมาะกับอาคารอีกประเภทหนึ่ง ในการเปรียบเทียบจึงพิจารณาเฉพาะในด้าน Thermal Performance และใช้ประเมินผลในการนำไปใช้จริง

2. การเปรียบเทียบจะแยกตามเวลาการใช้งานโดยทั่วๆไปของอาคาร โดยแยกเป็นสำหรับช่วงกลางวัน (Office Hour) ตั้งแต่ 8.00-16.00 น. และเวลากลางคืน (Home Hour) ตั้งแต่ 18.00-6.00 น. โดยสำหรับช่วงเวลากลางวันจะคิดเฉพาะวันทำงาน (สัปดาห์ละ 5 วัน) ไม่รวมวันหยุดเสาร์ - อาทิตย์ และวันหยุดประจำปี

3. เนื่องจากการคำนวณขนาดเครื่องปรับอากาศจะต้องคิดในช่วง Peak Load ดังนั้นจึงใช้ค่าที่วัดได้เป็นค่าสูงสุดตลอดปี

4. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับอากาศ

สำหรับเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทย ใช้มาตราฐานความสามารถของเครื่องปรับอากาศที่ 1.4 Kw/Ton นั้นคือในการลดความร้อนที่เกิดขึ้น 12,000 Btu.hr จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1.4 Kw hr. หรือ 4,776 Btu.hr. (1.4x3.142=4,776 Btu)

ประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้จริง(Coefficient of Performance) หรือ COP

จากสูตร COP = Output / Input

โดยที่ Output = พลังงานที่ได้จากภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน (Cooling Load) เท่ากับ 12,000 Btu/hr.sq.ft

Input = พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตันเท่ากับ 1.4 Kw/Ton หรือ 4,776 Btu

COP = 12,000 / 4,776 = 2.51

5. ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานถือว่าประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้จริง (COP) มีค่าคงที่ตลอด 24 ชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

6. อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับอาคารของจุฬาลงกรณ์ฯ คิดในราคาประมาณ 1.95 บาทต่อหนึ่งหน่วย (1 หน่วย = 1 Kw.hr หรือ 3,412 Btu) เป็นอัตราค่าไฟฟ้าแบบเก่าที่ใช้ (TOD rate) ในปัจจุบันตั้งแต่เดือนมกราคม 2540เป็นอัตราค่าไฟฟ้าแบบใหม่ (TOU rate) (ดูบทสรุปการคืนทุนบทที่ 5จะกล่าวถึงอัตราค่าไฟฟ้าเปรียบเทียบแบบเก่ากับแบบใหม่)

1. การเปรียบเทียบปริมาณความร้อนจริงที่ถ่ายเทผ่านผนังภายนอกเข้าสู่อาคาร

การหาปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังเข้าสู่อาคารในแต่ละด้าน จากสูตร

$$Q = U \times A \times CLTD \quad \text{.....(1)}$$

ซึ่งค่าปริมาณความร้อนที่ได้เกิดเป็นภาระการทำความเย็นให้แก่อาคาร โดยค่า CLTD ใช้หาค่าได้จากตาราง ที่ได้ปรับแก้เป็น CLTDcorr. (ดังกล่าวไว้ในบทที่ 2) ค่าที่วัดได้จริงจากห้องทดลอง สามารถเทียบได้จากสูตร

$$Q = hi \times A \times (T_{inside\ surface} - T_{inside\ air}) \quad \text{.....(2)}$$

(โดยที่ hi คือ ค่าส่วนกลับ airfilm resistance (0.12 m^2. K/ W) หรือ 8.33 $W/m^2.K$)

จะได้ค่าคงที่ใกล้เคียงกันสูตรข้างต้น มากกว่าการคิดคำนวณโดยใช้ ΔT แทนค่า CLTD ซึ่งเป็นค่าที่อาศัยการเปิดตารางคำนวณ ในสภาวะที่มีการควบคุมอุณหภูมิคงที่ (Steady State) ไม่มีผลของ ค่าการหน่วงเวลา (Time lag) มาเกี่ยวข้อง

ผลของค่าปริมาณความร้อนแต่ละด้าน และค่าปริมาณความร้อน รวมทั้ง 4 ด้าน จากสูตรคำนวณที่ (2) ดูได้จากตารางที่ 4.4.1 - 4.4.5

ตารางที่ 4.4.1. แสดงค่าปริมาณความร้อนจริงที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนด้านทิศเหนือ(W/m2)

เวลา	ประเภทติดตั้งภายนอก			ประเภทติดตั้งภายใน					ผนังก่ออิฐฉาบปูน
	ระบบผนังEIFS			ผนังยิปซั่มบอร์ดภายในบุด้วย					
	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	Alu. Foil	Alu. Foil+ Fiberglass	
1.00	15.00	14.17	13.33	12.42	10.00	9.83	18.33	10.83	25.83
1.30	15.83	14.17	15.83	13.25	11.00	11.25	18.33	12.50	29.17
2.00	14.17	12.50	12.50	14.17	11.25	11.25	16.92	10.00	27.50
2.30	15.83	12.50	12.50	14.58	10.83	10.42	15.83	14.17	29.17
3.00	16.67	13.33	12.50	16.08	13.33	11.67	16.67	12.50	25.17
3.30	19.17	16.67	15.83	19.75	16.67	15.83	20.00	14.17	27.50
4.00	20.83	15.00	14.17	15.75	13.17	14.00	20.00	14.00	26.67
4.30	19.17	13.33	12.50	14.92	12.08	12.50	18.33	15.83	25.83
5.00	17.50	12.50	11.67	14.92	12.17	11.50	18.33	12.50	27.50
5.30	17.50	11.67	10.83	12.25	9.42	9.67	20.00	10.67	28.33
6.00	17.50	10.83	10.00	12.75	10.33	9.50	19.17	11.67	28.33
6.30	16.67	10.83	10.00	13.17	10.92	9.67	21.67	13.33	25.83
7.00	22.50	20.00	19.17	20.00	19.25	18.83	18.33	19.17	28.33
7.30	20.83	20.00	19.17	21.00	19.67	19.58	18.33	17.50	25.83
8.00	18.33	15.83	15.83	17.25	15.83	15.58	17.50	16.67	25.00
8.30	17.50	16.67	17.50	15.25	13.00	12.17	18.33	12.50	27.50
9.00	18.33	15.00	15.00	16.92	15.58	15.00	18.33	14.17	27.50
9.30	15.83	15.00	15.00	14.83	12.17	12.42	20.00	15.83	30.00
10.00	22.50	15.83	15.83	14.58	12.33	12.00	20.83	13.83	27.50
10.30	25.83	19.17	19.17	15.17	12.00	10.92	25.83	14.17	30.00
11.00	27.50	22.50	21.67	17.17	17.00	16.25	27.50	17.08	34.17
11.30	17.17	14.67	11.33	10.17	9.50	8.92	22.17	9.67	39.17
12.00	19.17	13.33	8.33	11.50	10.67	10.08	24.17	10.00	38.33
12.30	24.17	19.17	15.83	16.25	15.00	14.33	30.83	15.00	36.33
13.00	20.83	15.83	14.17	15.25	14.17	13.92	27.50	13.33	35.83
13.30	18.33	12.50	10.00	13.25	11.92	11.00	23.33	12.42	38.33
14.00	20.83	15.83	11.67	18.83	15.00	12.50	28.33	18.58	38.33
14.30	20.83	13.33	10.83	16.25	14.92	14.50	29.17	15.00	31.67
15.00	20.83	10.83	10.00	16.83	15.75	14.42	24.17	15.83	30.83
15.30	27.50	15.83	16.67	22.08	20.67	19.33	28.33	21.67	39.17
16.00	30.00	21.67	20.83	24.50	22.92	22.17	30.00	23.42	45.00
16.30	30.00	23.33	21.67	22.00	20.33	19.75	33.33	20.83	38.33
17.00	28.33	20.83	20.00	20.33	17.92	17.50	30.00	18.33	45.00
17.30	24.17	16.67	15.00	16.08	14.36	14.00	35.00	14.83	43.33
18.00	23.33	19.17	15.83	19.17	15.83	14.00	23.33	17.50	44.17
18.30	27.50	21.67	20.00	21.92	20.00	17.33	27.50	21.17	49.17
19.00	25.83	20.83	17.50	21.67	18.33	16.00	22.50	19.58	43.33
19.30	22.50	18.33	16.67	19.33	16.25	13.33	20.42	20.00	32.50
20.00	23.33	20.83	18.33	22.83	18.92	16.17	23.33	20.00	37.50
20.30	25.00	22.50	22.50	23.67	20.25	20.00	25.00	20.50	33.33
21.00	25.00	23.33	20.00	22.17	19.00	17.25	27.50	22.50	30.00
21.30	26.67	20.00	18.33	23.83	21.33	20.58	27.50	22.17	30.00
22.00	25.00	17.50	15.00	20.92	17.42	15.17	28.33	20.17	32.50
22.30	25.00	19.17	17.50	18.42	15.83	13.92	26.67	17.25	37.50
23.00	29.17	20.83	20.83	23.42	20.83	18.58	26.67	21.67	35.83
23.30	25.83	15.00	14.17	17.25	14.92	14.17	25.83	15.00	34.17
24.00	22.50	12.50	11.67	14.83	11.33	10.58	20.00	12.00	34.17
รวม	**1023.83**	**783.00**	**724.67**	**818.92**	**711.36**	**669.33**	**1099.50**	**751.50**	**1556.50**

ตารางที่ 4.4.2 แสดงค่าปริมาณความร้อนจริงที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนด้านทิศใต้(W/m2)

เวลา	ประเภทติดตั้งภายนอก			ประเภทติดตั้งภายใน					ผนังก่ออิฐฉาบปูน
	ระบบผนังEIFS			ผนังยิบซั่มบอร์ดภายในบุด้วย					
	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	Alu. Foil	Alu. Foil+ Fiberglass	
1.00	24.17	18.33	15.00	17.50	17.67	13.75	19.17	18.33	28.33
1.30	25.00	19.17	15.83	19.75	18.42	15.25	20.83	19.17	33.33
2.00	25.00	20.00	18.33	20.00	18.75	15.42	20.83	20.00	30.00
2.30	24.17	19.17	15.83	21.67	16.92	15.17	20.83	20.00	31.67
3.00	25.00	19.17	18.33	20.00	19.42	17.17	20.00	19.17	27.50
3.30	26.67	22.50	20.00	20.00	21.00	18.33	23.33	22.50	30.00
4.00	25.83	20.83	17.50	20.00	19.83	13.33	21.67	20.83	30.00
4.30	25.00	20.00	16.67	20.00	19.00	15.00	22.50	20.83	29.17
5.00	23.33	20.83	17.50	21.33	19.08	16.67	22.50	20.83	29.17
5.30	23.33	17.50	16.67	18.67	16.25	15.50	20.83	19.17	29.17
6.00	23.33	18.33	16.67	20.17	17.33	15.50	20.83	18.33	27.50
6.30	22.50	18.33	17.50	20.75	17.25	15.67	23.33	19.17	31.67
7.00	25.00	22.50	18.33	20.83	20.58	16.25	23.33	22.50	29.17
7.30	23.33	20.83	18.33	19.17	20.08	16.67	22.50	20.83	27.50
8.00	20.83	18.33	15.83	20.83	17.17	15.08	21.67	18.33	30.83
8.30	21.67	18.33	15.83	20.00	16.67	15.08	20.00	18.33	32.50
9.00	20.00	17.50	12.50	19.08	16.42	14.42	19.17	18.33	30.83
9.30	19.17	16.67	14.17	18.33	15.33	13.58	19.17	16.67	33.33
10.00	20.83	16.67	15.00	18.58	15.42	13.42	20.83	16.67	35.00
10.30	22.50	18.33	15.83	22.83	18.00	15.00	25.83	21.67	45.00
11.00	25.83	18.33	17.50	21.58	18.33	16.33	23.33	19.17	44.17
11.30	18.00	15.50	14.67	15.17	13.50	13.83	17.17	14.67	33.00
12.00	18.33	17.50	15.83	15.50	16.67	14.17	15.83	15.92	42.50
12.30	22.50	21.67	20.83	20.00	20.83	19.17	22.50	20.83	42.50
13.00	20.83	19.17	18.33	20.00	18.33	15.83	20.00	18.33	39.17
13.30	20.83	18.33	17.50	18.25	16.67	15.00	19.17	16.67	41.67
14.00	18.33	15.83	15.00	19.08	15.83	15.00	23.33	15.00	44.17
14.30	18.33	15.00	15.00	17.17	15.00	15.00	17.50	14.17	49.17
15.00	20.83	17.50	16.67	22.33	17.50	15.83	22.50	16.67	47.50
15.30	23.33	20.00	17.50	22.33	19.17	17.50	22.50	19.17	45.83
16.00	27.50	23.33	20.00	26.42	22.50	20.00	30.83	21.67	48.33
16.30	27.50	22.50	20.00	26.50	21.67	19.17	27.50	20.83	47.50
17.00	26.67	22.50	20.00	26.00	21.67	19.17	28.33	20.83	51.67
17.30	22.50	20.83	15.83	21.42	20.83	17.50	26.67	19.17	50.00
18.00	23.33	21.67	18.33	20.92	21.67	18.33	20.83	22.50	42.50
18.30	29.17	20.83	19.17	23.67	20.00	18.33	23.33	20.83	46.67
19.00	31.67	20.83	18.33	23.25	20.00	17.50	23.33	21.67	41.67
19.30	25.00	20.00	15.83	22.08	18.58	15.00	26.67	17.50	35.83
20.00	28.33	21.67	15.83	24.08	19.92	13.67	27.50	19.17	32.50
20.30	30.83	24.17	20.00	25.92	22.00	16.75	31.67	20.83	38.33
21.00	32.50	22.50	18.33	23.92	21.17	16.17	29.17	20.83	36.67
21.30	29.17	25.00	20.00	26.67	22.17	17.33	26.67	22.50	43.33
22.00	25.83	20.83	18.33	22.58	20.25	17.50	22.50	20.83	37.50
22.30	26.67	22.50	20.00	23.83	21.67	17.75	24.17	23.33	40.00
23.00	30.83	28.33	25.00	29.58	27.83	23.08	30.83	26.67	41.67
23.30	26.67	25.00	20.83	26.17	24.08	19.17	25.83	23.33	38.33
24.00	25.83	21.67	14.17	22.42	20.67	15.92	25.00	21.67	34.17
รวม	1143.83	946.33	820.50	1006.33	899.08	766.25	1083.83	926.42	1758.00

ตารางที่ 4.4.3 แสดงค่าปริมาณความร้อนจริงที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนด้านทิศตะวันออก(W/m2)

เวลา	ประเภทติดตั้งภายนอก			ประเภทติดตั้งภายใน					ผนังก่ออิฐ
	ระบบผนังEIFS			ผนังยิบซั่มบอร์ดภายในบุด้วย					
	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	Alu. Foil	Alu. Foil+ Fiberglass	
1.00	18.33	11.67	10.00	13.67	10.92	10.33	20.00	11.67	30.00
1.30	18.33	11.67	10.83	14.33	11.33	10.25	24.17	12.50	33.33
2.00	19.17	11.67	10.83	13.92	11.25	10.42	20.83	11.67	30.00
2.30	16.67	10.83	10.00	12.67	10.25	9.25	20.00	10.83	31.67
3.00	19.17	12.50	10.83	15.25	12.67	11.17	17.50	12.50	27.50
3.30	20.00	14.17	14.17	17.50	14.42	14.08	20.83	14.17	30.83
4.00	18.33	12.50	11.67	15.33	12.50	11.67	20.83	12.50	30.00
4.30	17.50	11.67	11.67	13.33	12.50	11.67	19.17	11.67	30.00
5.00	18.33	11.67	10.83	13.58	12.33	12.58	18.33	11.67	30.00
6.00	15.83	10.00	10.00	11.58	9.42	9.25	20.00	10.00	31.67
6.00	15.00	9.17	8.33	12.00	9.67	9.50	21.67	10.83	31.67
6.30	14.17	9.17	8.33	13.58	11.67	11.25	20.83	11.67	30.00
7.00	20.00	13.33	11.67	20.42	17.92	17.50	19.17	19.17	31.67
7.30	18.33	15.83	14.17	20.50	17.08	16.92	20.83	18.33	29.17
8.00	20.83	15.00	13.33	17.50	14.00	13.17	21.67	15.00	30.83
8.30	24.17	18.33	17.50	13.83	12.67	11.00	20.83	13.33	37.50
9.00	20.83	15.00	14.17	15.83	13.00	12.92	21.67	14.17	37.50
9.30	18.33	12.50	10.83	12.58	10.92	10.33	25.83	11.67	42.50
10.00	18.33	12.50	12.50	14.08	11.42	10.83	26.67	12.50	45.00
10.30	20.00	15.00	14.17	16.25	13.17	13.25	29.17	14.17	48.33
11.00	22.50	17.50	17.50	20.08	17.50	16.33	30.00	18.33	53.33
11.30	18.00	13.00	9.67	13.42	12.42	10.58	22.17	13.00	57.50
12.00	18.33	14.17	13.33	14.67	13.17	11.42	22.50	14.17	58.33
12.30	22.50	20.83	17.50	17.83	16.75	16.08	25.83	16.67	49.67
13.00	18.33	16.67	15.00	16.00	16.17	15.33	21.67	15.83	56.67
13.30	15.00	11.67	12.50	11.75	13.00	12.58	16.67	13.33	56.67
14.00	19.17	16.67	15.83	17.50	16.67	16.92	23.33	16.67	56.67
14.30	16.67	16.67	15.00	15.58	15.00	15.17	19.17	15.00	50.83
15.00	16.67	15.00	15.00	18.33	16.58	16.25	20.00	17.50	53.33
15.30	21.67	20.83	20.00	24.17	21.25	20.83	25.00	22.50	51.67
16.00	28.33	23.33	20.83	24.08	22.75	19.67	29.17	22.50	42.50
16.30	28.33	20.83	18.33	21.83	20.33	17.67	27.50	20.83	50.00
17.00	25.83	18.33	15.83	19.42	17.83	15.17	25.83	18.33	51.67
17.30	22.50	13.33	11.67	16.67	13.67	10.17	23.33	14.17	48.33
18.00	23.33	11.67	10.83	13.25	11.08	10.00	25.83	11.67	51.67
18.30	29.17	15.00	14.17	16.92	14.50	14.00	31.67	15.83	46.67
19.00	20.83	15.00	14.17	16.92	14.50	13.67	22.50	15.00	42.50
19.30	16.67	13.33	12.50	14.67	12.67	12.42	18.33	13.33	46.67
20.00	20.00	15.83	15.00	18.58	16.00	14.75	21.67	16.67	40.83
20.30	20.83	19.17	18.33	19.58	17.00	17.08	25.83	18.33	35.00
21.00	24.17	17.50	15.83	19.33	15.58	14.92	24.17	17.50	32.50
21.30	21.67	20.00	18.33	20.17	18.25	18.67	30.83	18.33	38.33
22.00	20.83	16.67	16.67	18.00	16.33	16.50	21.67	16.67	36.67
22.30	20.83	17.50	15.83	18.17	16.25	16.17	23.33	17.50	41.67
23.00	25.00	22.50	20.00	23.25	21.25	19.83	29.17	21.67	38.33
23.30	20.00	17.50	15.83	19.00	16.33	15.08	26.67	17.50	39.17
24.00	18.33	13.33	12.50	14.83	13.25	12.17	20.00	14.17	40.83
รวม	947.17	708.00	653.83	781.75	685.17	646.75	1083.83	713.00	1937.17

ตารางที่ 4.4.4 แสดงค่าปริมาณความร้อนจริงที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนด้านทิศตะวันตก(W/m2)

เวลา	ประเภทติดตั้งภายนอก			ประเภทติดตั้งภายใน					
	ระบบผนังEIFS			ผนังยิบซั่มบอร์ดภายในบุด้วย					
	ที่ไฟมหนา 1"	ที่ไฟมหนา 2"	ที่ไฟมหนา 3"	ที่ไฟมหนา 1"	ที่ไฟมหนา 2"	ที่ไฟมหนา 3"	Alu. Foil	Alu. Foil+ Fiberglass	ผนังก่ออิฐฉาบปูน
1.00	19.17	14.17	14.17	16.17	13.33	13.33	17.50	13.33	30.00
1.30	21.67	15.83	15.83	18.25	14.17	14.17	23.33	16.67	31.67
2.00	17.50	16.67	15.83	13.92	11.50	10.83	14.17	12.50	34.17
2.30	16.67	15.83	15.00	15.17	12.33	12.50	15.83	13.33	33.33
3.00	18.33	17.50	17.50	17.83	16.67	16.67	17.50	16.67	29.17
3.30	19.17	18.33	18.33	19.08	18.33	18.33	20.00	18.33	33.33
4.00	20.83	17.50	17.50	20.00	18.08	17.50	21.67	19.17	34.17
4.30	18.33	15.83	15.83	17.50	16.67	15.83	19.17	16.67	33.33
5.00	19.17	15.00	15.00	17.17	16.67	16.67	18.33	16.67	33.33
5.30	17.50	15.00	14.17	16.67	16.08	15.00	17.50	15.83	34.17
6.00	18.33	15.83	15.83	16.67	15.08	15.00	18.33	15.00	34.17
6.30	21.67	15.00	14.17	20.83	19.00	19.17	21.67	19.17	30.00
7.00	25.00	22.50	21.67	24.17	21.67	20.83	25.00	22.50	29.17
7.30	23.33	22.50	19.17	23.33	22.75	19.17	23.33	22.50	28.33
8.00	20.83	20.00	16.67	20.50	19.17	16.67	21.67	20.00	29.17
8.30	20.83	20.83	16.67	16.42	16.00	14.17	18.33	15.83	30.00
9.00	20.00	17.50	16.67	17.58	16.92	15.83	18.33	16.67	30.00
9.30	18.33	13.33	12.50	14.67	13.67	12.50	15.83	13.33	31.67
10.00	19.17	14.17	13.33	15.00	14.50	13.33	15.00	14.17	28.33
10.30	21.67	18.33	17.50	20.00	18.17	17.50	20.00	19.17	35.83
11.00	22.50	17.50	15.83	17.00	15.67	15.00	17.50	15.83	38.33
11.30	14.67	10.50	8.00	11.42	9.50	7.17	11.33	10.50	45.00
12.00	15.83	9.17	7.50	11.17	6.83	6.58	10.83	8.33	43.33
12.30	20.83	15.00	14.17	17.00	15.00	14.17	16.67	15.83	34.67
13.00	17.50	15.00	11.67	16.83	12.25	11.67	17.50	13.33	42.50
13.30	13.33	10.83	9.17	13.58	8.92	9.17	14.17	10.00	39.17
14.00	16.67	15.00	13.33	17.17	14.42	13.08	19.17	15.00	42.50
14.30	15.00	14.17	12.50	16.50	13.25	12.50	19.17	14.17	42.50
15.00	15.83	13.33	11.67	18.00	14.42	11.67	17.50	15.83	43.33
15.30	22.50	20.00	18.33	22.08	19.17	18.33	23.33	20.00	45.83
16.00	26.67	25.00	22.50	25.58	22.25	22.50	26.67	24.17	50.83
16.30	26.67	24.17	22.50	24.08	21.58	20.83	27.50	22.50	52.50
17.00	24.17	23.33	20.83	21.67	19.92	20.00	24.17	20.83	59.17
17.30	20.00	19.17	16.67	18.08	15.67	15.50	20.00	16.67	61.67
18.00	19.17	18.33	15.83	16.25	15.25	14.17	20.00	15.83	61.67
18.30	24.17	20.83	20.83	21.58	18.92	18.75	22.50	20.00	57.50
19.00	24.17	19.17	18.33	20.67	17.50	16.67	21.67	18.33	45.83
19.30	23.33	18.33	17.50	20.75	17.50	17.75	21.67	19.17	46.67
20.00	25.83	18.33	18.33	22.33	18.25	18.00	24.17	20.00	41.67
20.30	27.50	23.33	23.33	24.00	20.67	20.50	26.67	22.50	33.33
21.00	28.33	25.00	23.33	30.00	26.67	26.67	30.83	19.17	30.83
21.30	28.33	22.50	22.50	26.08	22.58	22.50	26.67	23.33	35.83
22.00	25.83	19.17	17.50	23.25	18.83	17.00	24.17	21.67	35.83
22.30	24.17	19.17	18.33	23.67	19.33	18.25	24.17	21.67	43.33
23.00	23.33	19.17	18.33	20.00	18.08	17.83	20.83	18.33	39.17
23.30	21.67	16.67	16.67	19.25	17.08	15.92	19.17	17.50	40.83
24.00	18.33	15.00	15.00	16.75	15.00	14.17	16.67	15.83	45.00
รวม	**983.83**	**828.83**	**773.83**	**895.67**	**785.25**	**751.33**	**947.17**	**813.83**	**1832.17**

ตารางที่ 4.4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนจริงที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่ติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนรวมทั้ง 4 ด้าน(W/m2)

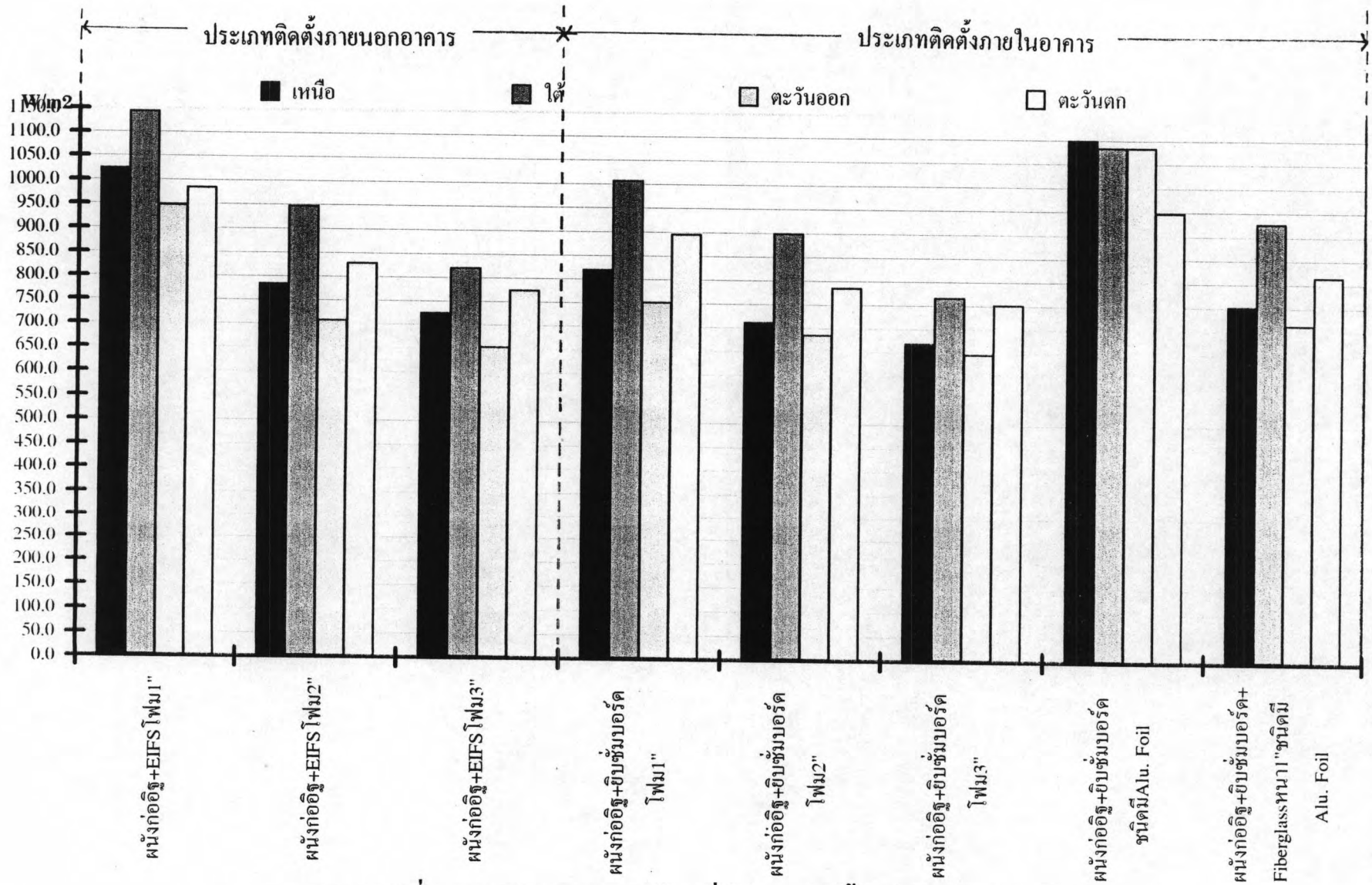
เวลา	ประเภทติดตั้งภายนอก			ประเภทติดตั้งภายใน					ผนังก่ออิฐฉาบปูน
	ผนังระบบEIFS			ผนังอิฐเซ็นเซอร์ดภายในบุด้วย					
	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	ที่โฟมหนา 1"	ที่โฟมหนา 2"	ที่โฟมหนา 3"	Alu. Foil	Alu. Foil+ Fiberglass	
1.00	76.67	60.33	56.17	61.42	51.92	47.25	73.33	55.00	114.17
1.30	80.83	63.50	61.83	65.58	54.92	50.92	86.67	60.83	127.50
2.00	75.83	63.08	60.58	62.42	52.75	47.92	68.58	54.17	121.67
2.30	73.33	60.17	56.00	64.08	50.33	47.33	68.33	58.33	125.83
3.00	79.17	65.25	63.58	70.50	62.08	56.67	68.33	60.83	109.33
3.30	85.00	75.00	71.67	79.50	70.42	66.58	80.83	69.17	121.67
4.00	85.83	68.67	64.50	72.50	63.58	56.50	77.50	66.50	120.83
4.30	80.00	62.50	58.33	66.92	60.25	55.00	71.67	65.00	118.33
5.00	78.33	61.92	57.75	67.00	60.25	57.42	70.83	61.67	120.00
5.30	74.17	55.75	53.25	59.17	51.17	49.42	77.50	55.67	123.33
6.00	74.17	57.00	54.50	61.58	52.42	49.50	79.17	55.83	121.67
6.30	75.00	57.75	55.25	68.33	58.83	55.75	84.17	63.33	117.50
7.00	92.50	85.42	79.58	89.08	79.42	73.42	77.50	83.33	118.33
7.30	85.83	83.83	77.17	88.67	79.58	72.33	81.67	79.17	110.83
8.00	80.83	71.67	65.83	76.08	66.17	60.50	82.50	70.00	115.83
8.30	76.67	69.67	63.83	65.50	58.33	52.42	76.67	60.00	127.50
9.00	79.17	65.83	60.00	69.42	61.92	58.17	77.50	63.33	125.83
9.30	71.67	57.58	54.25	60.42	52.08	48.83	79.17	57.50	137.50
10.00	80.83	60.75	58.25	62.25	53.67	49.58	83.33	57.17	135.83
10.30	90.00	72.08	68.75	74.25	61.33	56.67	100.83	69.17	159.17
11.00	98.33	78.42	75.08	75.83	68.50	63.92	98.33	70.42	170.00
11.30	67.83	54.08	47.42	50.17	44.92	40.50	72.83	47.83	174.67
12.00	71.67	54.67	46.33	52.83	47.33	42.25	73.33	48.42	182.50
12.30	90.00	73.67	68.67	73.58	67.58	63.75	93.33	68.33	163.17
13.00	77.50	66.00	60.17	68.08	60.92	56.75	85.83	60.83	174.17
13.30	67.50	53.42	48.42	56.83	50.50	47.75	73.33	52.42	175.83
14.00	75.00	64.17	57.50	72.58	61.92	57.50	94.17	61.92	181.67
14.30	70.83	58.08	53.92	65.50	58.17	57.17	85.00	58.33	174.17
15.00	74.17	60.00	56.67	75.50	64.25	58.17	82.50	65.83	175.00
15.30	95.00	80.00	76.67	90.67	80.25	76.00	99.17	83.33	182.50
16.00	112.50	94.08	87.42	100.58	90.42	84.33	116.67	91.75	186.67
16.30	112.50	91.83	86.00	94.42	83.92	77.42	115.83	85.00	188.33
17.00	105.00	86.08	80.25	87.42	77.33	71.83	108.33	78.33	207.50
17.30	89.17	73.33	64.17	72.25	64.53	57.17	105.00	64.83	203.33
18.00	89.17	72.42	63.25	69.58	63.83	56.50	90.00	67.50	200.00
18.30	110.00	80.25	76.92	84.08	73.42	68.42	113.33	77.83	200.00
19.00	102.50	77.75	71.08	82.50	70.33	63.83	90.00	74.58	173.33
19.30	87.50	71.33	64.67	76.83	65.00	58.50	87.08	70.00	161.67
20.00	97.50	79.42	71.08	87.83	73.08	62.58	96.67	75.83	152.50
20.30	104.17	89.58	85.42	93.17	79.92	74.33	109.17	82.17	140.00
21.00	110.00	90.17	81.00	95.42	82.42	75.00	105.00	80.00	130.00
21.30	105.83	87.67	81.00	96.75	84.33	79.08	110.00	86.33	147.50
22.00	97.50	75.50	68.83	84.75	72.83	66.17	95.00	79.33	142.50
22.30	96.67	79.00	74.00	84.08	73.08	66.08	98.33	79.75	162.50
23.00	108.33	91.58	87.42	96.25	88.00	79.33	107.50	88.33	155.00
23.30	94.17	75.67	70.67	81.67	72.42	64.33	97.50	73.33	152.50
24.00	85.00	64.00	55.67	68.83	60.25	52.83	81.67	63.67	154.17
รวม	4091.17	3339.92	3100.75	3522.67	3080.86	2833.67	4151.00	3202.25	7083.83

2. เปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ด้าน

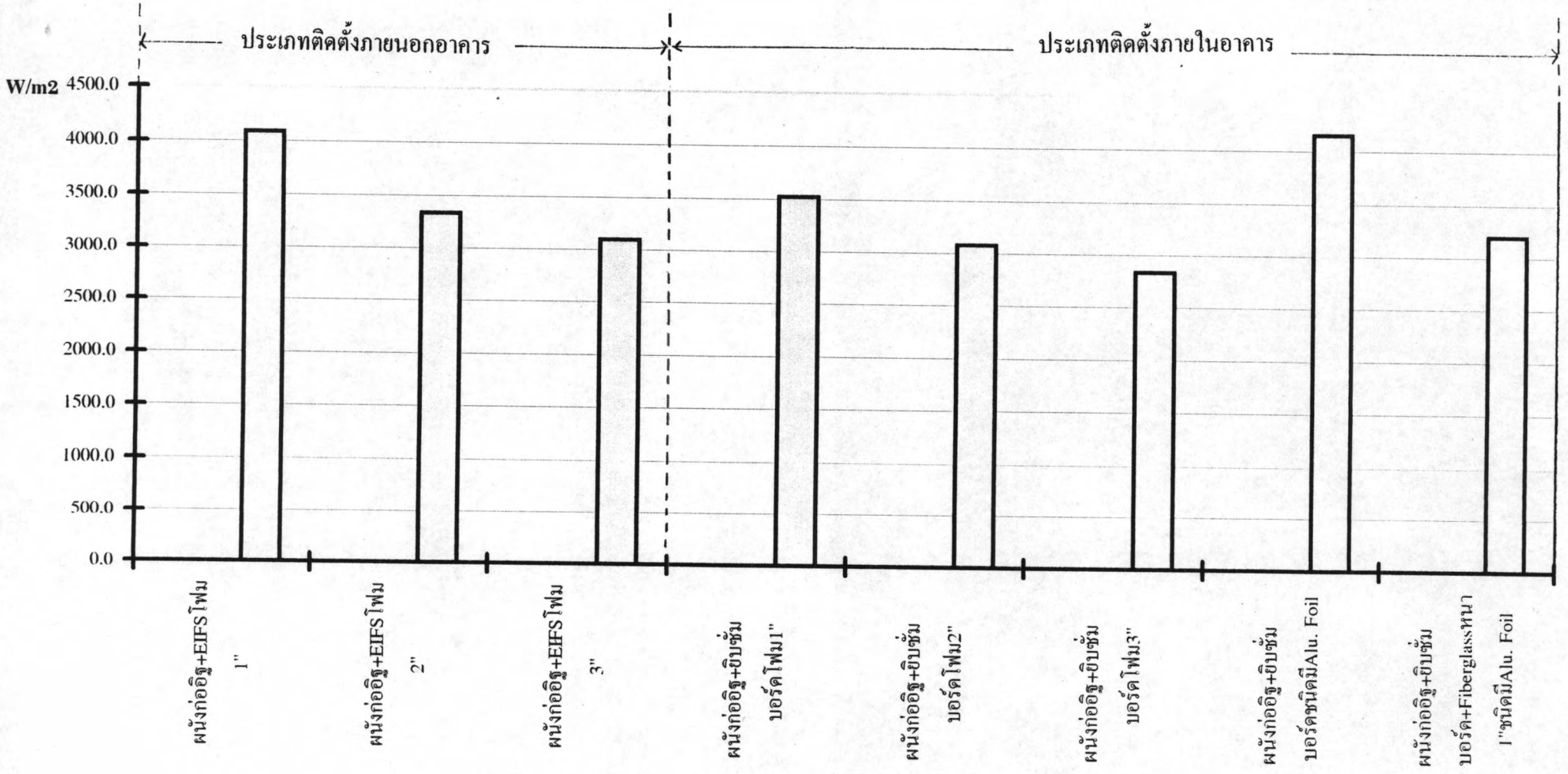
ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทั้ง 4 ด้าน มีสัดส่วนไม่เท่ากัน จากตารางที่ 4.4.1-4.4.5 สามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบ ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น(W/m2) การติดตั้งฉนวนกับผนังก่ออิฐฉาบ 8 แบบ ไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.4.6 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังของการติดตั้งฉนวนทั้ง 8 แบบ กับผนังก่ออิฐฉาบปูนในแต่ละด้าน ทุกๆ ครึ่งชั่วโมง ช่วงเวลา 1.00-24.00 น. (W/m2)

ชนิด	ประเภทฉนวน	ทิศ			
		เหนือ	ใต้	ตะวันออก	ตะวันตก
ติดตั้งภายนอกอาคาร	ผนังก่ออิฐ+EIFSโฟม1"	1023.8	1143.8	947.2	983.8
	ผนังก่ออิฐ+EIFSโฟม2"	783.0	946.3	708.0	828.8
	ผนังก่ออิฐ+EIFSโฟม3"	724.7	820.5	653.8	773.8
ติดตั้งภายในอาคาร	ผนังก่ออิฐ+ยิบซั่มบอร์ดโฟม1"	818.9	1006.3	751.8	895.7
	ผนังก่ออิฐ+ยิบซั่มบอร์ดโฟม2"	711.4	899.1	685.2	785.3
	ผนังก่ออิฐ+ยิบซั่มบอร์ดโฟม3"	669.3	766.3	646.8	751.3
	ผนังก่ออิฐ+ยิบซั่มบอร์ดชนิดมีAlu. Foil	1099.5	1083.8	1083.8	947.2
	(เว้นช่องอากาศ1.5")				
	ผนังก่ออิฐ+ยิบซั่มบอร์ด+Fiberglassหนา1"	751.5	926.4	713.0	813.8
	ชนิดมีAlu. Foil(เว้นช่องอากาศ1.5")				
	ผนังก่ออิฐฉาบปูน	1758	1758	1937.17	1832.17



แผนภูมิที่ 4.4.1 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผนังทั้ง 8 แบบใน4 ทิศ(W/m2)



แผนภูมิที่ 4.4.2 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังรวมทุกด้านทั้ง 8 แบบ (W/m2)

3.เปรียบเทียบมูลค่าพลังงานที่ต้องใช้ในแต่ละปีและการคำนวณคืนทุนอย่างง่าย

หลักเกณฑ์การคิดคำนวณคืนทุนควรใช้โปรแกรมคำนวณจะได้ค่าที่ละเอียดแต่เพียงเพื่อศึกษาการคุ้มทุนอย่างง่าย สามารถมาคำนวณเปรียบเทียบหามูลค่า พลังงานไฟฟ้าทที่ได้เพื่อหาการคืนทุนตามขั้นตอน ได้ดังนี้

3.1 หาค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วง 8.00-16.00 น. (OFFICE HOUR) เป็นช่วงเวลางานตามปกติที่เป็นอยู่ของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในตารางที่ 4.4.5 นำมาคิดมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการขจัดปริมาณความร้อน ในหน่วย BTU/hr Sq.ft หรือ W/m2 ซึ่งค่าปริมาณความร้อนที่ใช้เป็นหน่วย (W/m2/H) ที่เกิดขึ้นในช่วง 8.00-16.00น.

3.2 นำค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมาแปลงค่าเป็น (จาก COP = 2.51 = $\frac{\text{out put(Q)}}{\text{in put}}$

พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ = $\frac{\text{ปริมาณความร้อนที่ต้องขจัดออก(Q)}}{2.51}$

(โดยต้องนำปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทุก ๆ 1 ชั่วโมงในช่วง 8.00-16.00น. มาคิดคำนวณหน่วยที่ได้ Watt Hour/m2/วัน (WH/m2/Day)

3.3 หาอัตราพลังงานที่ลดลง โดยการหักลบจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้กับผนังก่ออิฐฉาบปูน ในหน่วย 1000 Watt จะได้ KWH/m2/Day

3.4 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 ปี (22 วัน X 12 เดือน) หน่วย KWH/Year

3.5 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (หน่วย BAHT/KWH/Year)โดยคิดจาก

อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับอาคารของจุฬาลงกรณ์ฯ คิดในราคา 1.95 บาทต่อ 1 หน่วย

(1 หน่วย =1 Kw.hr หรือ 3.412 Btu.hr)

ดังนั้นมูลค่าของพลังงาน = $\frac{\text{Energy (Btu/hr.sq.ft.) x 1.95}}{3412}$ หรือ

= Energy (W/m^2) x 1.95

**อัตราค่าไฟฟ้าจะประกาศใช้ใหม่ตั้งแต่เดือนมกราคม 2540 ใช้ทั่วประเทศ คือ

ช่วง 9.00 - 22.00 = 1.80 บาท/ KWH

DEMAND CHARGE = 200 บาท/ KWH

ช่วง 22.00 - 9.00 = 0.68 บาท/ KWH

3.6 คิดระยะเวลาคืนทุน จาก

$$\text{Payback Period /ปี} = \frac{\text{ราคาติดตั้งฉนวน}}{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี}}$$

สามารถดูสรุปขั้นตอนการคำนวณได้จากตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 8.00 - 16.00 น. กับการคืนทุน

ลำดับ	ประเภทติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร			ประเภทติดตั้งฉนวนภายในอาคาร					ผนัง	หน่วย
	ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ผนังEIFS			ผนังก่ออิฐฉาบปูน+ผนังยิบซั่มบอร์ดภายในบุด้วย					ก่ออิฐฉาบปูน	
	โฟมหนา 1"	โฟมหนา 2"	โฟมหนา 3"	โฟมหนา 1"	โฟมหนา 2"	โฟมหนา 3"	Alu. Foil	Alu. Foil+ Fiberglass1"		
1. ปริมาณความร้อน	689.00	553.0	510.0	595.0	524.0	488.0	738.0	543.0	1371	W/m2/H
2. พลังงานปรับอากาศ = Q/2.51	275.0	220.0	203.0	237.0	209.0	194.0	294.0	216.0	546	WH/m2/Day
3. อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ ลดลง	0.27	0.33	0.34	0.31	0.34	0.35	0.25	0.33	0	KWH/m2/Day
4. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	71.30	87	90.00	82.00	90.00	92.40	66.00	87.00	0	KWH/Year
5. มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง										
- อัตราไฟฟ้าแบบเก่า	139.00	170.00	175.00	160.00	175.50	180.00	129.00	170.00	0	BAHT/KWH/Year
- อัตราไฟฟ้าแบบใหม่	548.00	577.00	582.00	568.00	582.00	586.00	539.00	577.00	0	BAHT/KWH/Year
6. ระยะเวลาคืนทุน (ปี)										
- อัตราไฟฟ้าแบบเก่า	4.5	3.88	3.94	2.23	2.13	2.26	2.5	2.52	0	Year
- อัตราไฟฟ้าแบบใหม่	1.142	1.14	1.19	0.62	0.64	0.7	0.6	0.74	0	Year