แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

นายกัญจน์ พิเชษฐศิลป์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-3127-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A GUIDELINE FOR BUILDING WALL SYSTEM TO IMPROVE THERMAL PERFORMANCE

Mr. Kan Pichetsilpa

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Architecture in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-3127-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
โดย	นายกัญจน์ พิเชษฐศิลป์
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วีระ สัจกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ เลอสม สถาปิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายกัญจน์ พิเชษฐศิลป์ : แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (A GUIDELINE FOR BUILDING WALL SYSTEM TO IMPROVE THERMAL PERFORMANCE) อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ , 253 หน้า. ISBN 974-17-3127-2.

ผนังเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคารที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคาร จึงควรมีการปรับปรุงระบบผนังอาคารโดยสามารถทำได้หลายแนวทาง การใช้ฉนวนกันความร้อนเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ในการลงทุน ดังนั้นในงานวิจัยเพื่อปรับปรุงผนังอาคารเดิมจึงนำเอาฉนวนกันความร้อนมาใช้ร่วมกับผนังอาคาร ซึ่งเป็นผนังที่มีความนิยมในงานก่อสร้างปัจจุบันและมีแนวโน้มจะใช้ต่อไปในอนาคต ประกอบด้วย ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังมวลเบา ในงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหารูปแบบในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ กับผนังทดสอบ 2 ชนิด ทั้ง 4 ทิศของอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ พร้อมทั้งหาความหนาที่เหมาะสม และทำการเลือกรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งาน โดยพิจารณาจากตัวแปรด้านอุณหภูมิ ประกอบกับการคำนวนระยะเวลาคืนทุนและค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน

ขั้นตอนในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน 1) ทำการเลือกความหนาของฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ที่มีความเหมาะสมในการปรับปรุงผนังของอาคารปรับอากาศ ทั้ง 4 ทิศ ประกอบด้วย ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก โดยทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอกของผนังอาคารเดิม 2) ทำการเลือกรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกอาคาร ผลการวิจัยพบว่า 1) การติดตั้งฉนวนกันความร้อนสามารถลดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของวันลงได้ ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันค่อนข้างคงที่ (การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้วมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันคงที่มากที่สุด) ในส่วนของปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 1-3 นิ้ว ทั้งภายในและภายนอก สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมลงได้ 75%, 85% และ 90% ตามลำดับ หลังจากนั้นพิจารณาระยะเวลาคืนทุน ประกอบกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานพบว่า การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนติดตั้งภายในและภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศทาง มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด (ไม่เกินระยะเวลาที่สามารถยอมรับได้ที่ 3.5 ปี) และสามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้สูงสุด ซึ่งให้ผลดีกว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 และ 1 นิ้ว ส่วนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดในทุกช่วงเวลาการใช้งาน 2) การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานกับอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ มากกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน เนื่องจากค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดมีค่าน้อย (อุณหภูมิเกือบคงที่ตลอดวัน) และมีระยะเวลาหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ยาวนานกว่า (ติดฉนวนภายในหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ 4 ชั่วโมง และติดฉนวนภายนอกหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ 5 ชั่วโมง) ส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาลดลง นอกจากนี้การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารยังสามารถป้องกันการเกิดสะพานความร้อน ป้องกันความชื้นจึงไม่มีผลต่อการเกิดการควบแน่นในผนังและทำให้ไม่สูญเสียพื้นที่ใช้งานในอาคาร

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การปรับปรุงผนังอาคาร(ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังมวลเบา) ที่มีการปรับอากาศภายใน โดยใช้ฉนวนกันความร้อน สามารถทำได้โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว ภายนอกอาคาร ทั้ง 4 ทิศ เพื่อลดปัญหาในเรื่องของปริมาณความร้อน การเกิดการควบแน่นในผนัง และการเกิดสะพานความร้อน เป็นการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ นอกจากนี้ ยังสามารถนำแนวทางการติดตั้งฉนวนภายนอกไปประยุกต์ใช้กับผนังชนิดอื่น ๆ ได้เช่นกัน

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4474112325 MAJOR ARCHITECTURE
KEY WORD: HEAT TRANSFER / MASS / INSULATION /

KAN PICHETSILPA: A GUIDELINE FOR BUILDING WALL SYSTEM TO IMPROVE THERMAL PERFORMANCE. THESIS ADVISOR: PROFESSOR SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D.

253 pp. ISBN 974-17-3127-2.

The building wall is a part of building's covering that is directly and indirectly affected by sun radiation. This can cause higher temperature within the building. The building wall, therefore, should be improved. There are many possible ways to improve the building wall system, anyhow, the use of thermal insulation is one of the most interesting and available ways. Therefore, thermal insulation is used in the research with the building walls, the masonry wall and the lightweight concrete wall, which become popular in current construction and tend to be popular in the future, as well. The purpose of this research is to study and find out the way of installing various sizes of thermal insulation in both types of test wall in 4 directions of air-conditioned buildings. The thermal variable ,the payback period and the life cycle cost are also considered in order to find out the walls' appropriate thickness and possibility of use.

The research is divided into 2 parts: first, 1,2 and 3-inch-wide thermal insulation is installed inside and outside the air-conditioned building in all 4 directions-north, east, west and south in order to select the most appropriate thickness of thermal insulation. In the second part, the most possible and appropriate way of installing thermal insulation is selected. The result indicates that thermal insulation helps reduce inside surface temperature swing. After thermal insulation is installed, the average temperature of the building throughout the day seems to be quite static (3-inch-wide thermal insulation is the most static). As for heat transmission, the research indicates that the inside and outside installation of 1,2 and 3-inch-wide thermal insulation can reduce heat transmission by 75%, 85% and 90%, respectively. Then, after considering payback period and life cycle cost, it was found that the 3-inch-wide thermal insulation is more effective than the 2 and 1-inch-wide since the 3-inch-wide thermal insulation has the shortest payback period (less than simple payback period 3.5 years) and it has the most effective ability in reducing electricity rates. Besides, it has the lowest life cycle cost, as well. According to the research, it was found that the thermal insulation installed outside the building wall is more suitable than the thermal insulation installed inside due to the nearly static temperature throughout the day and longer thermal time lag (inside installation can delay the heat transfer for 4 hours, whereas outside installation can delay the heat transfer for 5 hours) and this helps reduce heat transmission. Besides, the installation of the outside thermal insulation can also prevent thermal bridge and humidity ,thus, condensation will not occur and the building's area will still be used.

It can be concluded that the most suitable way to improve the walls of the air-conditioned building by utilizing the thermal insulation is to install the 3-inch-wide thermal insulation outside the building in all 4 directions in order to reduce heat transmission, condensation, and thermal bridge problems. This helps reduce the air-conditioning's cooling load. This result considered, the thermal insulation could be applied for all types of building walls.

Department Architecture. Student's signature……...……..

Field of study Architecture. Advisor's signature ...……...……..……..

Academic year 2002. Co-advisor's signature……...……...……..……..

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณา ความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือ และ น้ำใจจากหลายหน่วยงาน และ บุคคล ดังนี้

ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนข้อมูลเทคนิคต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัย

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรสัณฑ์ บูรณากาญจน์ ซึ่งเป็นผู้ประศาสน์วิชา ให้ข้อมูล คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ตลอดหลักสูตรการศึกษา โดยเฉพาะในช่วงเวลาทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนิต จินดาวณิค อาจารย์พรรณชลัท สุริโยธิน อาจารย์พิรัส พัชรเศวต ที่ให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างดีระหว่างการศึกษา

ขอขอบคุณ คณาจารย์ประจำคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ทุกๆ ท่าน ผู้ซึ่งประศาสน์ความรู้ในด้านต่างๆ ระหว่างการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณสุวัฒน์ เว้นว่าง สำหรับคำแนะนำการใช้เครื่องมือวิจัยที่ถูกต้อง

ขอขอบคุณ เพื่อน พี่ น้อง ปริญญาโท Environment Technology ทุกท่าน พี่เอ พี่จั้ม พี่หลิน พี่ชด พี่สร้อย เพื่อนเศษ น้องเพชร น้องผึ้ง น้องมอส น้องทราย ที่ให้ความบันเทิงใจ ความร่วมมือ และความช่วยเหลืออย่างดีมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ พี่อรรถ และน้องอ้อมที่คอยห่วงใยและให้ความสนับสนุนมาตลอดตั้งแต่เข้าศึกษาจนทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญภาพ..... ฏ
สารบัญแผนภูมิ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาของการศึกษา..... 1
1.2 ความสำคัญของปัญหา..... 1
1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย..... 3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 3
1.5 วิธีดำเนินงานในการวิจัย..... 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34
2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์..... 37
2.4 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 40

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย..... 41
ขั้นตอนที่ 1 สร้างแนวทางในการปรับปรุง..... 41
ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์..... 47
ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบรูปแบบผนังที่ทำการปรับปรุง..... 51
ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ..... 57
ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการทดสอบ..... 57

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบในการวิจัย..... 58
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 1..... 59
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 2..... 146

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 3 233

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 247

รายการอ้างอิง 251

ประวัติผู้เขียน 253

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 สรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของฉนวนบางประเภท....17
ตารางที่ 2-2 แสดงลักษณะของเปลือกอาคารในกรณีปรับอากาศ....40
ตารางที่ 3-1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ....41
ตารางที่ 3-2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำผนังก่ออิฐฉาบปูน....42
ตารางที่ 3-3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำผนังมวลเบา....43
ตารางที่ 3-4 สรุปคุณสมบัติของวัสดุทั้งก่อนและหลังทำการปรับปรุง....46
ตารางที่ 4-1 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ....65
ตารางที่ 4-2 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 69
ตารางที่ 4-3 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้....75
ตารางที่ 4-4 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท....79
ตารางที่ 4-5 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก....85
ตารางที่ 4-6 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 89
ตารางที่ 4-7 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก....95
ตารางที่ 4-8 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 99
ตารางที่ 4-9 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ....108
ตารางที่ 4-10 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 112
ตารางที่ 4-11 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้....118
ตารางที่ 4-12 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท....122

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-13 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก....128
ตารางที่ 4-14 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 132
ตารางที่ 4-15 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก....138
ตารางที่ 4-16 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐ ฉาบปูนทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 142
ตารางที่ 4-17 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ....152
ตารางที่ 4-18 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 156
ตารางที่ 4-19 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้....162
ตารางที่ 4-20 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท....166
ตารางที่ 4-21 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก....172
ตารางที่ 4-22 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 176
ตารางที่ 4-23 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก....182
ตารางที่ 4-24 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 186
ตารางที่ 4-25 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ....195
ตารางที่ 4-26 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.... 199
ตารางที่ 4-27 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้....205

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4-28 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท.....209
ตารางที่ 4-29 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก.....215
ตารางที่ 4-30 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท..... 219
ตารางที่ 4-31 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก.....225
ตารางที่ 4-32 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ฉาบปูนทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท..... 229

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2-1 แสดงแสงตกกระทบวัสดุ..... 9
ภาพที่ 3-1 แสดง Data Logger..... 47
ภาพที่ 3-2 แสดงเครื่องมือวัดความชื้นในอากาศ..... 48
ภาพที่ 3-3 แสดงเครื่องมือวัดความชื้นที่ผิววัสดุ..... 48
ภาพที่ 3-4 แสดงเซลควบคุมสภาพแวดล้อม..... 49
ภาพที่ 3-5 แสดงอาคารปรับอากาศที่ใช้ในการทดลอง..... 50
ภาพที่ 3-6 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของการทดสอบที่ 1..... 51
ภาพที่ 3-7 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของการทดสอบที่ 1..... 52
ภาพที่ 3-8 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของการทดสอบที่ 2..... 53
ภาพที่ 3-9 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของการทดสอบที่ 2..... 54
ภาพที่ 3-10 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของการทดสอบที่ 3..... 55
ภาพที่ 3-11 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิของการทดสอบที่ 3..... 56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 2-1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุต่างๆหนา 1 นิ้ว..... 18
แผนภูมิที่ 2-2 แสดงปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร..... 36
แผนภูมิที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศเหนือ..... 61
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ.....62
แผนภูมิที่ 4-3 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 63
แผนภูมิที่ 4-4 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศเหนือ.....64
แผนภูมิที่ 4-5 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ.....66
แผนภูมิที่ 4-6 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 67
แผนภูมิที่ 4-7 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศใต้..... 71
แผนภูมิที่ 4-8 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้.....72
แผนภูมิที่ 4-9 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 73
แผนภูมิที่ 4-10 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศใต้.....74
แผนภูมิที่ 4-11 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้..... 76
แผนภูมิที่ 4-12 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 77
แผนภูมิที่ 4-13 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันออก..... 81
แผนภูมิที่ 4-14 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก.....82

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-15 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 83
แผนภูมิที่ 4-16 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันออก..... 84
แผนภูมิที่ 4-17 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก..... 86
แผนภูมิที่ 4-18 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 87
แผนภูมิที่ 4-19 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันตก..... 91
แผนภูมิที่ 4-20 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก..... 92
แผนภูมิที่ 4-21 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 93
แผนภูมิที่ 4-22 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันตก..... 94
แผนภูมิที่ 4-23 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก..... 96
แผนภูมิที่ 4-24 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 97
แผนภูมิที่ 4-25 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ..... 101
แผนภูมิที่ 4-26 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศเหนือ..... 104
แผนภูมิที่ 4-27 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ..... 105
แผนภูมิที่ 4-28 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 106
แผนภูมิที่ 4-29 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศเหนือ..... 107

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-30 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ..... 109
แผนภูมิที่ 4-31 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 110
แผนภูมิที่ 4-32 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศใต้..... 114
แผนภูมิที่ 4-33 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้..... 115
แผนภูมิที่ 4-34 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 116
แผนภูมิที่ 4-35 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐทางทิศใต้..... 117
แผนภูมิที่ 4-36 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้..... 119
แผนภูมิที่ 4-37 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 120
แผนภูมิที่ 4-38 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันออก..... 124
แผนภูมิที่ 4-39 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก..... 125
แผนภูมิที่ 4-40 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 126
แผนภูมิที่ 4-41 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐทางทิศตะวันออก..... 127
แผนภูมิที่ 4-42 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก..... 129
แผนภูมิที่ 4-43 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 130
แผนภูมิที่ 4-44 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันตก..... 134

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-45 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก....135
แผนภูมิที่ 4-46 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว.... 136
แผนภูมิที่ 4-47 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันตก....137
แผนภูมิที่ 4-48 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก....139
แผนภูมิที่ 4-49 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ.... 140
แผนภูมิที่ 4-50 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ....144
แผนภูมิที่ 4-51 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาทางทิศเหนือ....148
แผนภูมิที่ 4-52 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ....149
แผนภูมิที่ 4-53 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว.... 150
แผนภูมิที่ 4-54 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศเหนือ....151
แผนภูมิที่ 4-55 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ.... 153
แผนภูมิที่ 4-56 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ.... 154
แผนภูมิที่ 4-57 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทางทิศใต้.... 158
แผนภูมิที่ 4-58 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้....159
แผนภูมิที่ 4-59 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว.... 160

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-60 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศใต้.....161
แผนภูมิที่ 4-61 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้..... 163
แผนภูมิที่ 4-62 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 164
แผนภูมิที่ 4-63 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก.....168
แผนภูมิที่ 4-64 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก.....169
แผนภูมิที่ 4-65 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 170
แผนภูมิที่ 4-66 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก..... 171
แผนภูมิที่ 4-67 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก.....173
แผนภูมิที่ 4-68 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 174
แผนภูมิที่ 4-69 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก.....178
แผนภูมิที่ 4-70 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก.....179
แผนภูมิที่ 4-71 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 180
แผนภูมิที่ 4-72 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก.....181
แผนภูมิที่ 4-73 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบา บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก.....183
แผนภูมิที่ 4-74 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 184

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-75 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังมวลเบาติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ....188
แผนภูมิที่ 4-76 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทางทิศเหนือ....191
แผนภูมิที่ 4-77 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ....192
แผนภูมิที่ 4-78 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว.... 193
แผนภูมิที่ 4-79 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบาทางทิศเหนือ....194
แผนภูมิที่ 4-80 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ....196
แผนภูมิที่ 4-81 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ.... 197
แผนภูมิที่ 4-82 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทางทิศใต้....201
แผนภูมิที่ 4-83 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้....202
แผนภูมิที่ 4-84 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว.... 203
แผนภูมิที่ 4-85 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบาทางทิศใต้....204
แผนภูมิที่ 4-86 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้....206
แผนภูมิที่ 4-87 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ.... 207
แผนภูมิที่ 4-88 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก....211
แผนภูมิที่ 4-89 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก....212

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-90 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 213
แผนภูมิที่ 4-91 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก..... 214
แผนภูมิที่ 4-92 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก..... 216
แผนภูมิที่ 4-93 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 217
แผนภูมิที่ 4-94 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก..... 221
แผนภูมิที่ 4-95 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน หนา 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก..... 222
แผนภูมิที่ 4-96 แสดงปริมาณความร้อนสูงสุดที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว..... 223
แผนภูมิที่ 4-97 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก..... 224
แผนภูมิที่ 4-98 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา บุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก..... 226
แผนภูมิที่ 4-99 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ..... 227
แผนภูมิที่ 4-100 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังมวลเบาติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ..... 231
แผนภูมิที่ 4-101 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับ ผนังก่ออิฐที่มีการติดตั้ง ฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอก..... 235
แผนภูมิที่ 4-102 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้ง ฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอก..... 236
แผนภูมิที่ 4-103 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับ ผนังก่ออิฐที่มีการติดตั้ง ฉนวน 1 นิ้ว ทั้งภายในและภายนอก..... 237
แผนภูมิที่ 4-104 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้ง ฉนวน 1 นิ้ว ทั้งภายในและภายนอก..... 238

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 4-105 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐ เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ
ที่มีการติดตั้งฉนวน 1 นิ้วภายในและภายนอก..... 241
แผนภูมิที่ 4-106 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา
ที่มีการติดตั้งฉนวน 1 นิ้วภายในและภายนอก..... 242
แผนภูมิที่ 4-107 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบาที่มีการติดตั้ง
ฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว ภายในและภายนอก..... 243

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการศึกษา

ในปัจจุบันมีการพัฒนาการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของระบบเศรษฐกิจและสังคมทั่วโลก ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงต่อวิถีชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรเป็นเหตุสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและอาคารที่อยู่อาศัย นับตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ถูกนำมาแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆอย่างมหาศาล เพื่อสนองต่อความต้องการของมนุษย์ที่มีอยู่ไม่จำกัด ฉะนั้นจึงมีการตื่นตัวกันในเรื่องการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อคงรักษาทรัพยากรไว้ใช้ให้ได้นานที่สุด การตื่นตัวในด้านการอนุรักษ์พลังงานนั้น ได้แพร่หลายไปทุกวงการไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรม การเกษตร การคมนาคม รวมไปถึงการทำงานและการอยู่อาศัยในชีวิตประจำวัน โดยอาศัยพลังงานที่เกี่ยวข้องมากที่สุดคือ พลังงานไฟฟ้า

จากข้อมูลสถิติของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระบุว่า ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 6 เศรษฐกิจของประเทศไทยขยายตัวสูงมาก ด้วยอัตราเฉลี่ยถึง 10.5% ต่อปี และมีความต้องการไฟฟ้าเพิ่มสูงมากถึงปีละ 14 – 15% หรือเพิ่มขึ้นจาก 4180 เมกกะวัตต์ ในปี 2529 เป็นกว่า 8000 เมกกะวัตต์ ในปี 2534 และความต้องการไฟฟ้าในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 7 จะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1006 เมกกะวัตต์ ต่อปี หรือประมาณ 10.2% ต่อปี คือเพิ่มขึ้นเป็น 13075 เมกกะวัตต์ ในปี 2539 มีการพยากรณ์ว่าในปี 2549 การใช้ไฟฟ้าสูงสุดจะเพิ่มขึ้นเป็น 25515 เมกกะวัตต์ หรือประมาณ 144433 ล้านหน่วย โดยแยกภาคของผู้ใช้ไฟฟ้าคือ ภาคอุตสาหกรรม 46.5%, ภาคธุรกิจ 27.5%, ภาคที่อยู่อาศัย 21.5% และอื่นๆ 4.5% ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตในช่วง 5 ปี ของแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 7 ถึง 250000 ล้านบาท และในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจฉบับที่ 8 ถึง 510000 ล้านบาท ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่สูงมาก จนไม่สามารถนำเงินไปพัฒนาประเทศในด้านอื่นๆได้[1]

จากความสำคัญของปัญหาข้างต้น ทำให้หลายๆ ฝ่ายทั้งภาครัฐและเอกชนเริ่มตระหนักร่วมกัน เพื่อหาแนวทางในการประหยัดพลังงานโดยกำหนดเป็นกฎหมายอนุรักษ์พลังงานขึ้น ซึ่งเน้นการลดการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านระบบเปลือกอาคาร เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานให้มีคุณภาพ

1.2 ความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น (Hot Humid Climates) ระหว่างเส้นรุ้ง (Latitude) ที่ 5-21 องศาเหนือ กับเส้นแวง (Longitude) ที่ 90-106 องศาตะวันออก ใกล้เส้นศูนย์สูตร ดวงอาทิตย์มีวงโคจรค่อนไปทางทิศใต้เป็นส่วนใหญ่ มีแสงแดดจัดตลอดทั้งปี อุณหภูมิและความชื้นอยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย(Comfort Zone) เกือบตลอดทั้งปี ซึ่งสภาวะน่าสบายนี้จะตกอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 72-79 °F โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 20-70 % ที่ระดับ

---

[1] ภาพรวมสถานการณ์พลังงานในปัจจุบัน และการบริโภคพลังงานในอาคาร: การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.

ความสูงน้ำทะเลและความดันบรรยากาศปกติ[2] เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายดังกล่าว การป้องกันหรือการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเปลือกอาคารเข้ามาในอาคารให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ควบคู่ไปกับการปรับอากาศภายในพื้นที่การใช้งานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยในการประหยัดพลังงานให้กับอาคาร และยังสอดคล้องกับกฎหมายอนุรักษ์พลังงาน (ในเรื่องการลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร) ซึ่งในการปรับอากาศนั้นจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า จากการสำรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536) พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารพาณิชย์เพื่อการปรับอากาศมีค่าอยู่ระหว่าง 50-60% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร ซึ่งคาดว่าความต้องการในการใช้พลังงานในอาคารจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะในระบบปรับอากาศ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีมาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารขึ้น ซึ่งนอกจากจะเป็นการประหยัดค่าไฟให้กับเจ้าของอาคารแล้ว ภาครัฐบาลยังประหยัดเงินลงทุนในการผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย

ระบบเปลือกอาคารสามารถแบ่งได้เป็นส่วนของหลังคา และส่วนของผนังอาคาร ซึ่งมีความสำคัญไม่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับประเภทและพื้นที่ของแต่ละอาคาร ในปัจจุบันระบบผนังอาคารสามารถจำแนกวัสดุที่ใช้เป็น 2 ประเภทคือ วัสดุที่มีมวลสารมาก(High Mass Material) เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน และวัสดุที่มีมวลสารน้อย (Low Mass Material) เช่น ผนังมวลเบา โดยผนังทั้งสองชนิดที่กล่าวมาจัดได้ว่าเป็นผนังที่มีความนิยมในงานก่อสร้างของประเทศไทย โดยเฉพาะในอาคารขนาดเล็กและอาคารขนาดกลาง ซึ่งใช้เป็นผนังทั้งภายในและภายนอกอาคาร เนื่องมาจากผนังทั้งสองเป็นผนังที่มีความเหมาะสมในเรื่องของราคาค่าของ และราคาค่าแรง หาซื้อได้ง่าย มีความแข็งแรงคงทนพอสมควร จึงเป็นที่นิยมใช้กันสืบต่อกันมาจนถึงปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะใช้ต่อไปในอนาคต ซึ่งในความเป็นจริงสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น(Hot Humid Climates) ของไทยเรา ผนังก่ออิฐฉาบปูนถือเป็นระบบผนังที่กันความร้อนและความชื้นได้ต่ำมาก เมื่อเทียบกับผนังที่เป็นฉนวน ทั้งนี้เนื่องจากผนังก่ออิฐฉาบปูนเป็นผนังที่มีมวลสารมาก (High Mass Material) มีคุณสมบัติในการเก็บกักความร้อนในอัตราที่ช้าแต่มีปริมาณมาก ซึ่งเหมาะกับภูมิอากาศแบบร้อนแห้งมากกว่า (Hot Arid Climates) ส่วนผนังมวลเบาที่ใช้ในประเทศไทยเป็นผนังที่มีความพรุนสูง ทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศได้ง่าย สำหรับผนังในประเทศไทยนั้นการเลือกใช้วัสดุควรคำนึงถึงระบบและรูปแบบการใช้งานของอาคาร โดยอาคารที่ไม่มีการปรับอากาศสามารถเลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารมาก เพื่อเพิ่มการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ส่วนอาคารที่มีการปรับอากาศสามารถเลือกใช้วัสดุที่มีมวลสารในการกักเก็บความร้อนน้อย (Low Mass Material) เช่นโฟม ระบบผนังกันความร้อนประเภทต่างๆที่มีจำหน่ายในท้องตลาด แต่เนื่องจากระบบผนังดังกล่าวมีราคาสูงอีกทั้งยังต้องใช้เทคโนโลยีเฉพาะในการติดตั้ง จึงไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก

ดังนั้นการปรับปรุงผนังอาคารเดิม โดยเฉพาะผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบา ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันและมีแนวโน้มที่จะใช้ต่อไปในอนาคต ให้มีค่าความต้านทานสูงขึ้น (การลดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกันความร้อนเข้าสู่อาคาร จึงเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคาร ทำให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานและใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

---

[2] ASHRAE. 1997 Fundamental American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Fig. 4.6a The Psycrometric Chart, Inc.,Atlanta, 1997.

1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและสร้างแนวทางการปรับปรุงระบบผนังอาคารเดิม โดยใช้ฉนวนกันความร้อนในทิศต่างๆ ให้เกิดการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
2. เพื่อทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริงของแต่ละแนวทางที่ทำการปรับปรุง ให้เหมาะกับอาคารแต่ละประเภท
3. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, ค่าพลังงานที่สูญเสีย และราคาวัสดุที่ใช้ประกอบการปรับปรุงผนังอาคาร เพื่อดูความเหมาะสมในการลงทุน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. การวิจัยนี้จำเป็นต้องศึกษาตัวแปรต่างๆ หลายตัวแปร ไม่ว่าจะเป็นชนิดของวัสดุผนังที่เลือกใช้, ประเภทต่างๆ ของอาคาร และรูปแบบของผนังที่ทำการปรับปรุง ซึ่งการทดสอบในสภาพการใช้งานจริงจะไม่สะดวกต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้จำลองสภาพอาคารจริงขนาด 4.20 x 7.20 ม. และใช้หุ่นจำลองขนาด 0.90 x 0.90 x 0.90 ม. ติดตั้งกับอาคารวิจัย เพื่อแยกศึกษาตัวแปรต่างๆ ได้อย่างอิสระ เปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ได้ง่าย และสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก (ผลการทดสอบอาจไม่ตรงกับสภาพภายในอาคารจริง แต่สามารถแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากตัวแปรต่างๆ ได้ชัดเจน)

2. ศึกษาเฉพาะตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีการปรับอากาศ ที่เกิดจากชนิดของวัสดุที่เลือกใช้ และรูปแบบของผนังที่ทำการปรับปรุง ส่งผลให้ค่าความต้านทาน (R-Value), ปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารและตำแหน่งการเกิดการกลั่นตัวที่ต่างกัน โดยผลกระทบจากสภาพแวดล้อมถือว่ามีผลไม่แตกต่างกัน เนื่องจากทำการทดสอบในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน

3. ศึกษาเฉพาะผนังที่นิยมใช้กับอาคารบ้านเรือนส่วนใหญ่ในประเทศไทย คือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนเป็นตัวแทนของผนังที่มีมวลสารมาก และผนังมวลเบาเป็นผนังที่มีมวลสารน้อย เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงผนังของอาคารเหล่านั้นในการลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

4. ทำการทดสอบในสภาพกลางแจ้ง ที่ได้รับแสงแดดเต็มที่และไม่มีร่มเงาปกคลุมตลอดทั้งวัน และเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องเครื่องมือที่จะใช้ในการทดลอง จึงจำเป็นต้องแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดตามรูปแบบผนังที่ทำการปรับปรุง โดยในแต่ละชุด ทำการทดลองในวัน เวลา และสถานที่เดียวกัน

5. เก็บและรวบรวมข้อมูลจากหุ่นจำลองที่มีการปรับอากาศภายใน ซึ่งทำการทดลองไม่ครอบคลุมตลอดทั้งปี โดยใช้สภาพแวดล้อม และสภาพภูมิอากาศในบริเวณสถานที่ทดลอง

1.5 วิธีดำเนินงานในการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อสร้างแนวทางในการปรับปรุงระบบผนังอาคารเดิมที่มีอยู่ ให้เหมาะกับอาคารประเภทต่างๆ ที่มีการปรับอากาศภายในอาคาร เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร ให้มีศักยภาพที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์จากการใช้งานจริงได้ โดยอาศัยหลักการพิจารณาการเลือกใช้คุณสมบัติของวัสดุซึ่งอ้างอิงจากเอกสาร "การเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน"[3] เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนในการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 แบ่งประเภทของอาคารตามรูปแบบที่มีการใช้งานในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะใช้ต่อไปในอนาคต

อาคารที่มีการใช้งานในปัจจุบันสามารถแบ่งตามการใช้งานจากการปรับอากาศภายในอาคารได้ดังนี้

- อาคารที่มีการปรับอากาศภายในตลอด 24 ชั่วโมง
- อาคารที่มีการปรับอากาศภายใน12 ชั่วโมง (10:00 - 22:00น.)
- อาคารที่มีการปรับอากาศภายใน10 ชั่วโมง (07:00 - 17:00น.)
- อาคารที่มีการปรับอากาศภายใน 8 ชั่วโมง (08:00 - 16:00น.)
- อาคารที่มีการปรับอากาศภายใน 12 ชั่วโมง (18:00 - 06:00น.)
- อาคารที่มีการปรับอากาศภายใน 10 ชั่วโมง (20:00 - 06:00น.)
- อาคารที่มีการปรับอากาศภายใน 8 ชั่วโมง (22:00 - 06:00น.)

ซึ่งในแต่ละประเภทของอาคาร สามารถแบ่งลักษณะการใช้วัสดุในการทำระบบผนังอาคารเดิม โดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ ผนังที่มีมวลสารมาก (ผนังก่ออิฐฉาบปูน) และผนังที่มีมวลสารน้อย (ผนังมวลเบา)

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม

การปรับปรุงอาคารภายหลังสร้างเสร็จ โดยที่สามารถคงรูปแบบสถาปัตยกรรมเดิมไว้ให้มากที่สุด เป็นงานที่ยาก ดังนั้นการแก้ไขปรับปรุงอาคาร จึงเลือกคุณสมบัติวัสดุของผนังที่ใช้ภายในอาคาร แต่ต้องกระทำอย่างรอบคอบ หรือทำการศึกษาวิจัยก่อนการตัดสินใจ โดยคัดเลือกวัสดุใหม่ใช้ร่วมกับวัสดุเดิม

วัสดุที่ใช้ร่วมกับผนังของวัสดุเดิม เป็นวัสดุที่สามารถลดภาระความเย็น (Cooling Load) ได้ดี เนื่องจากการลดอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศลง 1°C จะประหยัดค่าไฟฟ้าลงประมาณ 10% (การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, 2539) โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะสะสมภายในอาคารรวมถึงวัสดุภายในอาคาร จึงจำเป็นที่ควรคำนึงถึงความเหมาะสมของวัสดุที่จะนำไปใช้ คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงมีดังนี้

- วัสดุที่มีมวลสารน้อย และไม่สะสมความร้อน
- มีความสามารถในการกันความร้อนได้ดี มีค่าความต้านทานสูง
- เสียพื้นที่ใช้สอยภายในไม่มาก
- มีความทนทานต่อการขยายตัวและหดตัวได้ดี เพื่อลดปัญหาการแตกร้าว
- ไม่ดูดหรืออมความร้อน
- กันน้ำได้ดี และมีน้ำหนักเบา

---

[3] สุนทร บุญญาธิการ. "การเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน", เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน. (กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2543)

- มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง
- สามารถต้านทานการสั่นสะเทือน
- สามารถกันเสียงได้
- ค่าการบำรุงรักษาต่ำและความทนทานสูง
- ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม
- อัตราการทนไฟสูงหรือไม่ติดไฟ
- หาง่าย และราคาประหยัด
- วัสดุที่มีค่าการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมกับราคาของวัสดุที่ลงทุน

ทำการคัดเลือกวัสดุตามคุณสมบัติดังที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงผนังอาคาร

ขั้นตอนที่ 3 หาแนวทางความเป็นไปได้ในเบื้องต้นของรูปแบบผนังที่ทำการปรับปรุง

ศึกษาเปรียบเทียบค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และตำแหน่งของการเกิดการกลั่นตัวของวัสดุที่ใช้ประกอบการปรับปรุงผนังอาคารเดิมในรูปแบบต่างๆ กับราคาลงทุนต่อหน่วย ให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ ซึ่งทำการศึกษาทดลองตามรูปแบบที่ทำการปรับปรุง โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองคือ

- อาคารที่มีการติดฉนวนภายนอก
- อาคารที่มีการติดฉนวนภายใน
- อาคารที่มีการติดฉนวนภายใน และภายนอก

โดยในแต่ละชุดการทดลอง ทำการเปรียบเทียบตัวแปรในเรื่องตำแหน่งของการติดตั้ง(รูปแบบผนัง) และความหนาของวัสดุ ที่ใช้ร่วมกับวัสดุผนังของอาคารเดิม เพื่อดูแนวโน้มของค่าพลังงานที่ใช้ลดอุณหภูมิ โดยเปรียบเทียบกับราคาวัสดุที่ใช้ เพื่อศึกษาจุดคุ้มทุน

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสรุปและเสนอแนะ

วิเคราะห์หาข้อสรุปและเสนอแนะถึงผลที่ได้และความเหมาะสมในด้านของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงในอาคารที่มีระบบการปรับอากาศ เพื่อเปรียบเทียบกับการลงทุน และการคืนทุนในระยะยาวของวัสดุผนังที่เลือกมาปรับปรุง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. เป็นแนวทางของการตัดสินใจในการเลือกปรับปรุงผนังอาคารเดิม โดยเฉพาะผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังมวลเบา ให้มีความเหมาะสมทั้งในระดับราคา และระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period)
2. สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจ ในการออกแบบของสถาปนิก ในการเลือกใช้ระบบผนังที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย
3. สามารถทราบค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุที่ใกล้เคียงกับความจริง ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณค่าปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้แน่นอนมากขึ้น
4. เป็นแนวทางประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบให้สอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงานภายใต้กฎกระทรวง พ.ศ. 2538 กำหนดค่ามาตรฐานการถ่ายความร้อนรวมของผนังด้านนอกอาคาร (OTTV) ของอาคารที่มีการปรับอากาศ (อาคารเก่า เท่ากับ 55 วัตต์ / ตารางเมตร) เปรียบเทียบกับสัดส่วนของช่องเปิด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป

- การถ่ายเทพลังงานรังสีความร้อน
- อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว
- ค่าการคายรังสีความร้อน
- การลดความร้อน และการกลั่นตัว

2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่สามารถใช้ประกอบการทำวิจัย

- ข้อพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุผนังของอาคาร
- การพิจารณาเลือกใช้วัสดุฉนวน และมวลสาร
- อิทธิพลจากฉนวนและมวลสาร
- อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

2.1.3 แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม

2.1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

- สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร
- การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิวัสดุ
- อิทธิพลจากแสงแดดและการจำลองสภาพในห้องทดลอง
- สมการที่ใช้ในการคำนวณอุณหภูมิที่ลดลง

2.1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น

- ความหมายของความชื้น
- การวัดความชื้น
- การถ่ายเทความชื้น
- การวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น
- ผลกระทบจากความชื้นต่ออาคารและผู้ใช้อาคาร

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 อิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน (รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ, 2543)

2.2.2 การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยระบบผนังที่มีช่องอากาศ: กรณีศึกษา อาคารในเขตร้อนชื้น (ประพันธ์ จงปติยัตต์, 2538)

2.2.3 การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน:กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สิทธชัย วุฒิวรวงศ์, 2539)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.4 การวิจัยเกี่ยวกับอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้วทั่วไป และเมื่อมีการเพิ่มฉนวนโฟมโพลีสไตรีนที่ความหนาต่างๆกันตั้งแต่ 1-5 นิ้ว (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

2.2.5 การวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของสีผนังที่มีต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนัง (Givoni, 1994)

2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.3.1 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร

2.3.2 ค่าใช้จ่ายโดยรวมตลอดอายุการใช้งาน

2.3.3 การคำนวนระยะเวลาคืนทุน

2.4 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไป

การถ่ายเทพลังงานรังสีความร้อน

ความร้อนถ่ายเท หรือเดินทางในลักษณะต่างกันเช่น โดยการนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) ซึ่งวิธีการถ่ายเทนั้นต่างกันตรงตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ตามทฤษฎี Thermal Dynamics การแผ่รังสีความร้อนจะส่งผ่านจากที่ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ไปสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในขณะที่การนำและการพาความร้อนต้องอาศัย การส่งผ่านโดยอาศัยตัวกลางเท่านั้น การแผ่รังสีสามารถส่งผ่านสูญญากาศได้เพียงแต่ต้องการด้าน 2 ด้านที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันและหันหน้าเข้าหากัน พลังงานรังสีจะเดินทางในลักษณะเส้นตรงผ่านที่ว่างที่เป็นอากาศหรือสูญญากาศ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) หรือโพรตอน (Photons) จนกระทั่งดูดซึมโดยด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่ารังสี (Radiation) คือกลุ่มของความถี่ (Band) หนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แหล่งของรังสีที่เกี่ยวข้องคือ

- รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Spectrum)
- รังสีความร้อนระหว่างมนุษย์และพื้นผิวอาคาร (Far-Infrared Spectrum)

อิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว

รังสีความร้อน เป็นรังสีในรูปคลื่นยาว และมีพลังงานต่ำ รังสีเมื่อกระทบวัสดุใดๆจะสะท้อนส่งผ่านและดูดซึมไว้ในวัสดุนั้นๆ วัสดุแต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสี ส่งผ่านรังสี และดูดซึมรังสีที่ตกกระทบแตกต่างกันขึ้น อยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ทิศทาง (มุม) ของการแผ่รังสี การคายรังสีจะมีค่าสูงที่ทิศทางตั้งฉาก
2. ความยาวคลื่นของการแผ่รังสี การคายรังสีเชิง Spectrum ทิศทางตั้งฉากของโลหะจะลดลง เมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น
3. อุณหภูมิของพื้นผิว การพารังสีของโลหะจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนการคายรังสีของอโลหะจะลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น
4. ความขรุขระของพื้นผิว เนื่องจากผลของการขรุขระที่ไม่สม่ำเสมอของพื้นผิวเสมือนโพรง จึงทำให้เกิดการสะท้อนรังสีได้หลายครั้ง ซึ่งเป็นผลทำให้การดูดซึมรังสีมีค่าสูงขึ้น นั่นคือ การคายรังสีมีค่าสูงขึ้น
5. การเจือปนพื้นผิว สารปนเปื้อนบนพื้นผิวทำให้คุณสมบัติการแผ่รังสีเปลี่ยนไป โดยการทำให้การแผ่รังสีมีค่าสูงขึ้น

ลักษณะของพื้นผิวจะมีอิทธิพลสูงต่อการแผ่รังสีและการดูดซึมรังสี วัสดุต่างๆจะมีค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) และค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) แตกต่างกันออกไปตามลักษณะผิวของวัสดุ วัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีสูงก็จะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ คุณสมบัตินี้เรียกว่า การแผ่รังสี (Emittance) ค่าการแผ่รังสีจะบ่งบอกถึงความร้อนที่ถ่ายเทโดยการแผ่รังสี ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวของวัสดุที่คายรังสีของวัสดุที่ดูดซับรังสี แนวความคิดที่จะอธิบายความสำคัญของคุณสมบัติของวัสดุคือ ค่าการคายรังสี (Emissivity) ค่าการดูดซับรังสี (Absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) และค่าการส่งผ่านรังสีแสดงออกมาได้ดังนี้

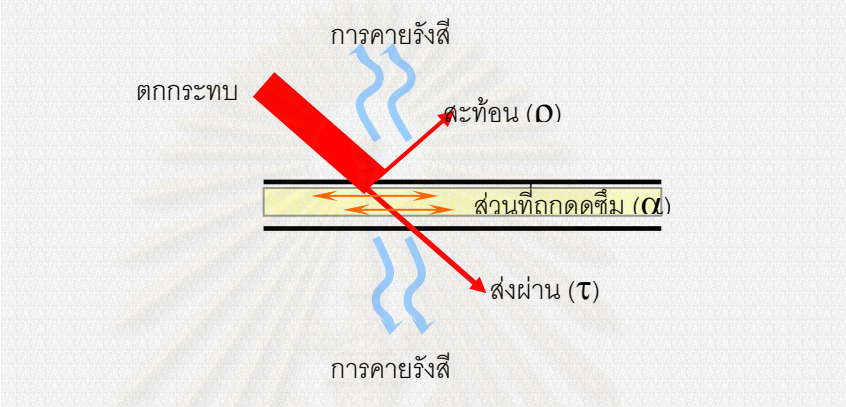
$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

กำหนดให้

ρ การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว

α การดูดซึมรังสีโดยพื้นผิว

τ การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ



ภาพที่ 2-1 ภาพแสดงแสงตกกระทบวัสดุ

ค่าสะท้อนรังสี ค่าการดูดซึมรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี เป็นคุณสมบัติของวัสดุ ในช่วงอุณหภูมิหนึ่งๆ สำหรับช่วง Spectrum คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหนึ่ง ผลรวมของการสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี และการส่งผ่านรังสี จะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานที่ตกกระทบลงมา สำหรับวัสดุทึบตัน (Opaque) พลังงานที่ถูกส่งผ่านจะเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของค่าสะท้อนรังสี การดูดซึมรังสี การส่งผ่านรังสี จะเท่ากับพลังงานรังสี เมื่อถูกดูดซึมโดยวัสดุจะเป็นรูปความร้อน ความร้อนจะถูกนำไปหรือแผ่รังสีออกมาในรูปคลื่นยาว (Long Waves) จากวัสดุนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ค่าการสะท้อนรังสี (Reflectivity) วัสดุผิวมันและมีสีอ่อนจะสะท้อนรังสีความร้อน และแสงได้ดี สำหรับวัสดุทึบตัน(Opaque) วัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีสูงจะมีค่าการดูดซึมรังสีต่ำ
2. ค่าการส่งผ่ารังสี(Tranmissivity) จะเป็นคุณสมบัติของวัสดุโปร่งใส(Transparent) และโปร่งแสง (Tranlucent) ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุประเภทนี้จึงต้องควรระวังถึงความร้อนที่จะเข้ามาในอาคาร
3. ค่าการดูดซึมรังสี(Absorptivity) เป็นตัวแสดงความสามารถในการดูดกลืนพลังงานของผิววัสดุ วัสดุที่มีสีเข้มจะดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดีกว่าวัสดุที่มีสีอ่อนกว่า

ค่าการคายรังสีความร้อน

ค่าการคายรังสี(Emissivity)เป็นตัวแสดงความสามารถของวัสดุ ในการปล่อยรังสีคลื่นยาวของผิว

วัสดุโลหะผิวมันเงา จะมีค่าการคายรังสีต่ำกว่าวัสดุผิวหยาบ วัสดุส่วนใหญ่มีค่าการคายรังสีสูงจะแผ่ความร้อนออกมาได้น้อยกว่า ผิววัสดุสีขาวและมีความสามารถในการสะท้อนสูง แต่ในกรณีที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นหลังคาที่ต้องรับความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นเวลานาน ก็ทำให้มีผลใกล้เคียงกับหลังคาสีขาวชนิดอื่น เนื่องจาก

ภายในเนื้ออลูมิเนียมสามารถเก็บความร้อนไว้ได้มากว่าวัสดุสีขาวหลายเท่า ดังนั้นการใช้แผ่นอลูมิเนียมบางๆเป็นตัวสกัดกั้นความร้อนนั้นจะได้ผลดี เพราะมีมวลน้อยจึงทำหน้าที่ในการสะท้อนออกไปได้ดี

การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อม (Long Wave Radiation Heat Exchange) เกิดขึ้นเมื่อมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผนังอาคารกับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ความหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัตถุ (Time Leg) โดยปกติวัตถุที่มีมวลสารมาก จะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัตถุที่มีมวลสารน้อย

การลดความร้อน และการกลั่นตัว

จุดน้ำค้าง (Dew Point) เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นจากอากาศ ในขณะที่อุณหภูมิลดลง

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศอิ่มตัวหรืออุณหภูมิที่อากาศถูกทำให้เย็นลงก่อนเกิดการควบแน่น

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry-bulb Temperature) หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป หรือเครื่องวัดอุณหภูมิโดยปกติจะต้องควบคุมไม่ให้ได้รับอิทธิพลต่อการแผ่รังสีความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อนต่างๆ เช่น ดวงอาทิตย์ เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออื่นๆ ซึ่งทำให้เกิดการดูดซับความร้อนระหว่าตัวรับรู้และแหล่งกำเนิดความร้อน

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb Temperature) หมายถึง ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้ที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไป หรือเครื่องวัดอุณหภูมิ ซึ่งตัวรับรู้ (Sensor) ถูกห่อหุ้มด้วยผ้าหรือสำลีชุบน้ำและมีความเร็วลมหรืออากาศพัดผ่านจนทำให้เกิดการระเหยของน้ำในบริเวณนั้น อันเป็นผลทำให้อุณหภูมิจากกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์หรือตัวรับรู้นั้นเย็นลง จนถึงจุดคงที่

จากลักษณะทฤษฎีข้างต้น จึงสามารถทำให้เกิดน้ำค้างที่ผิววัสดุขึ้นได้ โดยการที่อุณหภูมิผิวลดลงจากสภาวะอากาศปัจจุบันที่มีปริมาณความชื้นในอากาศ (Grain of Moisture)เท่าเดิม และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นเป็น 100 เปอร์เซนต์ จนกระทั่งมีอุณหภูมิผิวเท่ากับอุณหภูมิจุดน้ำค้าง จึงเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ และเรียกกระบวนการนี้ว่า “การกลั่นตัว (Condensation)”

2.1.2 <u>ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่สามารถใช้ประกอบการทำวิจัย</u>

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้วัสดุผนังของอาคาร

วัสดุผนังและวัสดุปิดผนัง (Wall and Wall Covering) เป็นส่วนที่สำคัญและมีพื้นที่มากกว่าส่วนอื่นๆของอาคาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งผนังภายนอกของอาคารซึ่งเป็นส่วนที่สัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง ทำให้มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุจึงต้องมีความพิถีพิถันมากเป็นพิเศษ การเลือกใช้วัสดุผนังอาคารต้องเลือกด้วยเหตุผลว่า ต้องการให้ผนังทำหน้าที่อะไรให้กับตัวอาคาร ตัวอย่างเช่น

- ผนังภายนอกอาคารต้องสามารถป้องกันความร้อนและความชื้นได้อย่างดี คงทน แข็งแรง และมีความสวยงาม
- ผนังห้องนอนหรือห้องทำงาน นอกจากคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นแล้ว ยังจะต้องสามารถป้องกันเสียงได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

- ผนังบริเวณส่วนซักล้าง ต้องมีความสามารถในการกันความชื้นได้เป็นอย่างดี และมีความคงทนแข็งแรง
- ผนังห้องน้ำ ต้องกันความชื้นได้ดี มีความแข็งแรง สามารถติดตั้งท่องานระบบได้สะดวก มีความสามารถในการกันเสียงได้
- ผนังห้องครัว ต้องสามารถป้องกันไฟได้เป็นอย่างดี คงทนต่อแรงกระทบ และทำความสะอาดได้ง่าย

ผนังภายนอกอาคารเป็นส่วนที่สำคัญที่ต้องพิจารณาเลือกใช้วัสดุอย่างรอบคอบ เนื่องจากผนังภายนอกอาคารเป็นส่วนของเปลือกอาคาร ซึ่งสัมผัสกับอากาศภายนอกโดยตรง ดังนั้นผนังภายนอกอาคารจึงต้องมีทั้งความสวยงาม คงทนแข็งแรง และมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นจากภายนอกได้เป็นอย่างดี ปัญหาใหญ่อย่างหนึ่งของการออกแบบอาคารในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้นคือ การลดปริมาณความร้อนที่จะเข้ามาในอาคาร จากการศึกษาพบว่า การที่จะนำเอาความเย็นตอนช่วงกลางคืนมาใช้กับกลางวัน โดยอาศัยการหน่วงเวลา (Time Lag) ของวัสดุนั้นทำได้ยากมาก เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนไม่มากพอ การลดปริมาณความร้อนเท่าที่เทคโนโลยีในยุคปัจจุบันจะเอื้ออำนวย จึงเป็นการควบคุมความร้อนให้เข้ามาในอาคารให้น้อยที่สุดเป็นหลัก และถ้าจะมองภาพรวมของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำผนังภายนอกของอาคาร ควรมีลักษณะดังนี้

- ควรมีคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการก่อสร้าง และการลงทุน คือ มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง มีความสามารถต้านทานแรงลมและการสั่นสะเทือน หาง่าย ทำงานง่าย ราคาประหยัด ค่าบำรุงรักษาต่ำ และมีความทนทานสูง
- ควรมีคุณสมบัติด้านความปลอดภัย และการรักษาสภาพแวดล้อม คือไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม มีความสวยงามและทนทาน และมีอัตราการทนไฟสูงหรือไม่ติดไฟ

การพิจารณาเลือกใช้วัสดุผนังภายนอกอาคารเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานนั้น จะต้องพิจารณาคุณสมบัติที่เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงาน คือค่าความต้านทานความร้อนสูง ไม่สะสมความร้อนหรือมีความจุความร้อนไม่สูง หรือเป็นวัสดุที่มีมวลสารต่ำ มีความทนทานต่อการขยายตัวหรือการหดตัวได้ดี เพื่อลดปัญหาการแตกร้าวและมีการดูดซับความชื้นต่ำ ตัวอย่างวัสดุผนังภายนอกอาคารที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน ผนังไม้ ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก ผนังคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น ผนังชนิดต่างๆ มีคุณสมบัติเบื้องต้นดังนี้

<u>ผนังก่ออิฐฉาบปูน</u> เป็นผนังภายนอกอาคารที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความคงทนแข็งแรง และนิยมใช้กันมาตั้งแต่ในอดีต ผนังก่ออิฐฉาบปูนมีมวลสารมาก จึงมีการดูดกลืนความร้อนสูง หากก่อสร้างให้มีความหนาที่พอเหมาะ ผนังชนิดนี้จะมีความเหมาะสมสำหรับอาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ เนื่องจากสามารถช่วยให้เกิดการหน่วงความร้อนไม่ให้เข้าไปภายในอาคารได้ในเวลากลางวัน ซึ่งอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง ภายในอาคารจึงเย็นกว่าภายนอก แต่หากเป็นอาคารที่มีการปรับอากาศ ผนังชนิดนี้ก็ไม่เหมาะสม เนื่องจากความร้อนที่ถูกดูดกลืนและสะสมเอาไว้จะเพิ่มภาระการทำความเย็น ทำให้เครื่องปรับอากาศต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการนำความร้อนออกจากวัสดุ นอกจากนั้นผนังชนิดนี้ยังมีข้อเสียในเรื่องของการดูดซับความชื้นสูง

ผนังไม้ ไม้เป็นวัสดุที่นิยมใช้กันมากในอดีต เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก และมีความสวยงามตามธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันไม้มีราคาสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณน้อยลง ทำให้ผนังไม้ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก ไม้จัดเป็นฉนวนกันความร้อนประเภทหนึ่ง การใช้ในส่วนของผนังภายนอกอาคารจึงทำให้ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามามีปริมาณไม่สูงนัก แต่จะต้องมีการติดตั้งที่พิถีพิถันไม่ให้มีช่องว่างระหว่างรอยต่อของแผ่นไม้ เนื่องจากจะทำให้ความร้อนรั่วซึมเข้ามาได้ อย่างไรก็ตามผู้เลือกใช้ควรทราบว่าไม้เป็นวัสดุที่มีการดูดซับความชื้นสูง ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นผนังของอาคารปรับอากาศ เพราะความชื้นดังกล่าวจะเพิ่มภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ หากต้องการใช้ไม้หรือมีความจำเป็นต้องใช้ผนังไม้ ควรมีการทา เคลือบ หรือปิดทับด้วยวัสดุที่มีการกันความชื้นได้ดี เช่น สี แลคเกอร์ แผ่นไวนิล ฯลฯ

ผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอก (EIFS) ระบบผนังชนิดนี้ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อทำหน้าที่ต่างๆของผนังนั่นเอง วัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นผนังระบบฉนวนกันความร้อนภายนอกสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้

- ส่วนที่ 1 ทำหน้าที่ป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคาร วัสดุที่ใช้สำหรับส่วนนี้เป็นวัสดุประเภทฉนวนซึ่งมีค่าความต้านทานความร้อนสูง เช่น โฟมโพลีสไตรีน หรือโฟมอีพีเอส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่อาคารน้อยที่สุด
- ส่วนที่ 2 ทำหน้าที่สร้างความแข็งแรงให้กับระบบผนัง วัสดุที่ใช้เป็นตาข่ายไฟเบอร์กลาส ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับผนังแล้วยังเป็นตัวยึดวัสดุในชั้นถัดไปด้วย
- ส่วนที่ 3 วัสดุเคลือบภายนอก เป็นกรดอะคริลิค 100% ที่ผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกรดเอ ในอัตราส่วนเท่าๆกัน แล้วจึงเททับลงบนตาข่ายที่วางอยู่บนโฟมอีพีเอส ใช้เป็นชั้นเสริมความแข็งแรงและเบสโค้ต (Adhesive Base Coat) สำหรับวัสดุปิดผิว
- ส่วนที่ 4 วัสดุเคลือบผิวชั้นนอกสุด เป็นผลิตภัณฑ์ปูนอะคริลิคสังเคราะห์ เป็นวัสดุปิดผิวสองชั้นอย่างหนา ซึ่งมีให้เลือกถึง 40เฉดสี สามารถกันกระเทาะ กันสีซีด และคงทนในทุกสภาวะอากาศ

ผนังคอนกรีตมวลเบา เป็นวัสดุคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตสังเคราะห์จากวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ทราย ปูนขาว ปูนซีเมนต์ ยิปซัม และสารกระจายฟองอากาศ ไม่มีส่วนประกอบที่ทำให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักเบากว่าอิฐธรรมดา 2-3 เท่า เนื่องจากเนื้อวัสดุประกอบด้วยฟองอากาศเล็กๆ กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอประมาณ 75% ของเนื้อวัสดุ น้ำหนักประมาณ 50 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (ความหนา 10 เซนติเมตร) แต่มีความแข็งแรง สามารถรับแรงกดได้ประมาณ 30-80 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นจึงสามารถใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร สามารถใช้ก่อได้ทั้งผนังรับแรง (Load Bearing Wall) และผนังปกติที่ไม่ได้รับแรง (Non-Load Bearing Wall) สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น แบบบล็อค แบบแผ่น แบบคานเสริมเหล็ก ฯลฯ มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน มีค่าความต้านทานความร้อนประมาณ 0.6-0.8 ตารางเมตร เคลวินต่อวัตต์ และสามารถป้องกันเสียงได้ไม่ต่ำกว่า 38 เดซิเบล ยิ่งไปกว่านั้นคอนกรีตมวลเบายังสามารถทนไฟได้นานถึง 4 ชั่วโมงอีกด้วย (ข้อมูลจากการทดสอบคอนกรีตมวลเบาคิวคอน โดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ทั้งนี้ในการก่อสร้างผนังคอนกรีตมวลเบา จะมีการฉาบปูนเช่นเดียวกับผนังก่ออิฐฉาบปูน คอนกรีตมวลเบาที่รู้จักกันดีในปัจจุบัน เช่น คิวคอน และซุบเปอร์บล็อค เป็นต้น

การพิจารณาเลือกใช้วัสดุฉนวนและมวลสาร

ในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดทางหนึ่ง คือการเลือกใช้วัสดุที่สามารถกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร หรือมีค่า R สูง “ฉนวน” คือ วัสดุที่มีคุณสมบัติในการกันความร้อน โดยมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Thermal Time Lag[1]) น้อย ทำให้อิทธิพลภายนอกที่เข้ามาภายในเกิดขึ้นค่อนข้างรุนแรง ซึ่งมีทางแก้โดยการเพิ่มความหนาของฉนวนให้มากขึ้น แต่จะทำให้มีราคาแพง ดังนั้นทางออกอีกทางหนึ่งคือ การประยุกต์ใช้มวลสาร (Thermal mass) ร่วมกับฉนวน การออกแบบโดยผสมผสานการใช้ฉนวนและมวลสารจะเป็นผลดีในการหน่วงความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารไม่เปลี่ยนแปลงรุนแรงเหมือนภายนอก และถ้าสามารถหน่วงความร้อนได้อย่างเหมาะสม คือทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงมากที่สุด ยิ่งทำให้ปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารได้น้อยลง

สิ่งที่จะต้องทราบและทำความเข้าใจในเบื้องต้นสำหรับการเลือกใช้ฉนวนคือ วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน ตลอดจนตำแหน่งที่ติดตั้งฉนวน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถกำหนดเกณฑ์เบื้องต้นของคุณสมบัติฉนวนที่ต้องการได้ การเลือกใช้ฉนวนมีข้อควรพิจารณาดังนี้

<u>รูปแบบทางกายภาพ (Physical Forms)</u>

รูปแบบทางกายภาพของฉนวนมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้งานได้ตามต้องการ เช่น ฉนวนแบบคลุมห่ม, แบบแผ่น, แบบพ่น, แบบฉีด ฯลฯ การเลือกใช้ฉนวนต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน และตำแหน่งที่ติดตั้ง นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย ความแข็งแรงคงทนร่วมด้วย ตัวอย่างการเลือกใช้ฉนวนที่มีรูปแบบทางกายภาพแตกต่างกัน เช่น ใช้ฉนวนโฟมชนิดพ่นสำหรับด้านบนหลังคาหรือผนังภายนอกอาคาร เพราะมีความแข็งแรงคงทนมากเป็นพิเศษ กันความร้อนและความชื้น และมีคุณสมบัติในการยึดเกาะกับหลังคาและผนังอาคารได้ดี การติดตั้งใช้วิธีพ่นฉนวนซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวลงบนพื้นผิวที่ต้องการให้มีความหนาที่เหมาะสม ทิ้งไว้ให้แห้ง ฉนวนก็จะยึดติดแน่นกับพื้นผิว นอกจากนั้นยังมีฉนวนที่มีรูปแบบทางกายภาพอื่นๆ อีก เช่น ฉนวนแบบแผ่น และแบบคลุมห่ม ซึ่งนิยมใช้ปูลาดบนโครงเคร่าเพดาน ฉนวนแบบเทบรรจุซึ่งใช้เทบรรจุลงในช่องว่างระหว่างชั้นของผนัง ฉนวนแบบทรงกระบอกกลวง ใช้สำหรับงานหุ้มท่อ เป็นต้น

<u>ความหนาแน่น (Bulk Density) และความจุความร้อน (Heat Capacity)</u>

ความหนาแน่นและความจุความร้อนเป็นคุณสมบัติซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ฉนวนที่มีคุณภาพดี จะมีความหนาแน่น และความจุความร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น (Optimum Bulk Density และ Optimum Heat Capacity) ซึ่งฉนวนแต่ละชนิดจะมีค่าดังกล่าวแตกต่างกันออกไป ในทางปฏิบัติข้อมูลเหล่านี้จะได้จากผู้ผลิต

---

[1] Thermal Time Lag หมายถึงระยะเวลาที่ความร้อนถ่ายเทจากด้านที่ร้อนกว่าไปยังด้านที่เย็นกว่าของผนังหรือหลังคา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับมวลสาร และค่าความจุความร้อนของผนังหรือหลังคา

อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม (Suitability for Service Temperature)

อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสมเป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกใช้ฉนวน เนื่องจากฉนวนแต่ละชนิดมีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิในการใช้งานที่แตกต่างกัน หากเลือกใช้ไม่เหมาะสมอาจเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวนได้ การแบ่งอุณหภูมิในการใช้งานของฉนวนอาจทำได้ดังนี้

1. ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ –270 องศาเซลเซียส ถึง 100 องศาเซลเซียส ได้แก่ กลาสโฟม (Glass Foam) เซลลูโลสโฟม (Cellulose Foam) เป็นต้น
2. ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส ถึง 500 องศาเซลเซียส ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกต กลาสโฟม ใยแร่ ฟอยล์ เป็นต้น
3. ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 500 องศาเซลเซียส ได้แก่ ฉนวนพวกอนินทรีย์ประเภทคาร์บอนหรือโลหะ เช่น ฟอยล์ เซรามิกโฟม (Ceramics Foam) ใยเซรามิก (Ceramics Fiber) ใยคาร์บอน (Carbon Fiber) เป็นต้น

การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal Expansion)

การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของฉนวน อาจทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเลือกใช้ฉนวนจึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากอุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสมข้างต้น โดยเลือกใช้ฉนวนที่มีช่วงอุณหภูมิใช้งานตรงตามความต้องการ เพื่อให้การใช้งานฉนวนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนาน

ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Thermal Resistivity)

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฉนวน ดูได้จากค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance; R – Value) โดยฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงจะกันความร้อนได้ดี เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการใช้ฉนวนสำหรับอาคารในประเทศไทย ซึ่งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น คือกันความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้ามาภายในอาคาร ซึ่งนอกจากจะทำให้ภายในอาคารเย็นสบายแล้ว ยังเป็นการประหยัดพลังงานให้กับระบบปรับอากาศของอาคารที่มีการปรับอากาศอีกด้วย ตัวอย่างฉนวนที่กันความร้อนได้ดีมาก เช่น โฟมโพลียูรีเทน และโฟมโพลีสไตรีน แต่ในการเลือกฉนวนเพื่อกันความร้อนสำหรับอาคารจะต้องพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ ในการใช้งานฉนวนร่วมด้วย

ความต้านทานต่อความชื้น (Resistance to Water Penetration)

ความต้านทานต่อความชื้นเป็นวัตถุประสงค์อีกข้อหนึ่งของการใช้ฉนวนสำหรับอาคาร โดยเฉพาะอาคารที่มีการปรับอากาศ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้องกันความชื้นให้กับฉนวน แม้ว่าที่ผ่านมาการใช้ฉนวนกันความชื้นให้กับอาคารอาจไม่ได้เป็นวัตถุประสงค์หลักสำหรับวิศวกรและสถาปนิก แต่จากผลการศึกษาสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ซึ่งมีความชื้นสูงเกือบตลอดเวลา พบว่าการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจะสูญเสียไปกับการลดความชื้น ดังนั้นการกันความชื้นให้กับฉนวนอาคารจึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรมองข้าม เพราะหากเกิดความชื้นในฉนวนจะทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพหรือสูญเสียคุณสมบัติความเป็นฉนวนไป การใช้ฉนวนที่เหมาะสมสำหรับอาคาร จึงสามารถช่วยป้องกันความชื้นให้กับอาคารได้ด้วย หากฉนวนที่ใช้ไม่มีการกันความชื้น ควรป้องกันความชื้นให้กับฉนวน โดยการใช้วัสดุกันความชื้น เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นโพลีเอทิลีน แผ่นพีวีซี หรือแผ่นโพลีเอสเตอร์ฉนวนมาสติก แอสฟัลต์ ฯลฯ ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติกันความชื้นได้แตกต่างกัน

ความต้านทานต่อแรงอัด (Resistance Compaction)

ความต้านทานต่อแรงอัดเป็นคุณสมบัติที่ใช้สำหรับพิจารณาเลือกใช้ฉนวนเพื่อให้เกิดความคงทนแข็งแรงและมีอายุการใช้งานยาวนาน โดยเฉพาะฉนวนในส่วนที่ต้องรับแรงอัดสูง เช่น ฉนวนพื้น ฉนวนที่ขอบประตูหน้าต่าง ฉนวนท่อและอุปกรณ์ เป็นต้น ฉนวนที่ต้องรับแรงอัดสูงอาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย ดังนั้นการเลือกใช้ จึงต้องคำนึงถึงความต้านทานต่อแรงอัดด้วย ฉนวนที่มีคุณสมบัติต่อการต้านทานแรงอัดสูง ได้แก่ ฉนวนประเภทโฟม และโพลีเมอร์บางชนิด เป็นต้น

ความแข็งแรงทางกล (Mechanical Strength)

ความแข็งแรงทางกลของฉนวน หมายถึง ความสามารถของฉนวนในการทนทานต่อแรงต่างๆ หลายรูปแบบ ดังนี้

- การรับน้ำหนัก และแรงอัด
- ความต้านทานต่อแรงดึง และแรงเฉือน
- ทนต่อการกระแทก และการสั่นสะเทือน
- ทนต่อการบิดงอ

ซึ่งความสามารถดังกล่าวของฉนวนจะขึ้นกับองค์ประกอบ ความหนาแน่น ขนาดของเซลล์ ขนาดและการจัดเรียงตัวของเส้นใยฉนวน ชนิดและปริมาณของตัวประสาน นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการใช้งานด้วย

อันตรายจากไฟไหม้ (Fire Hazard)

อันตรายจากไฟไหม้เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญอีกข้อหนึ่ง สำหรับการใช้ฉนวนภายในอาคาร เพราะฉนวนที่กันความร้อนได้ดี อาจมีคุณสมบัติการกันไฟที่ไม่ดี สำหรับบางส่วนของอาคาร เช่นห้องครัว หรือห้องที่มีอุปกรณ์เกี่ยวกับความร้อน การกันไฟไหม้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาด้วยว่าการเผาไหม้ของฉนวนก่อให้เกิดสารที่เป็นพิษหรือไม่ด้วย ตัวอย่างฉนวนที่กันไฟได้ดี ได้แก่ ใยแร่ แคลเซียมซิลิเกต และเวอร์มิคูไลท์ เป็นต้น สำหรับวัสดุที่สามารถป้องกันไฟไหม้ได้ดี ได้แก่ ยิปซัม ซึ่งไม่จัดว่าเป็นฉนวนกันความร้อน แต่หากใช้ประกอบกับฉนวนชนิดอื่นๆ ก็จะสามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านดารกันไฟได้เป็นอย่างดี

ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to Vermin & Fungus) และความปลอดภัยต่อสุขภาพ

ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา และความปลอดภัยต่อสุขภาพ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญซึ่งมักถูกมองข้ามไปในการเลือกใช้ฉนวน สภาพอากาศของประเทศไทยซึ่งมีความชื้นสูงเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพได้ง่าย ฉนวนที่มีความชื้นสูง นอกจากจะมีประสิทธิภาพความเป็นฉนวนต่ำลงแล้วยังเป็นแหล่งเจริญเติบโตของเชื้อรา ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารอีกด้วย ฉนวนบางชนิดโดยเฉพาะฉนวนพวกสารอินทรีย์ เช่น เส้นใยเซลลูโลส เป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของแมลงบางชนิด ดังนั้นจึงอาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายหากมีแมลงรบกวน การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการเลือกใช้ฉนวนที่มีความต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา เช่น ฉนวนพวกสารอนินทรีย์ ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกต โฟม ใยแร่ ใยคาร์บอน เป็นต้น หรืออาจมีการติดตั้งวัสดุเพื่อป้องกันแมลงและความชื้น เช่นแผ่นกันความชื้นซึ่งทำจากวัสดุประเภทพลาสติก เป็นต้น

การกันเสียง (Acoustical Resistance)

การกันเสียงสำหรับบางส่วนของอาคารที่ต้องการลดการรบกวนจากเสียง เช่น ห้องนอน ห้องประชุม ห้องสัมมนา ฯลฯ จำเป็นต้องเลือกฉนวนที่มีคุณสมบัติการกันเสียงที่ดี ซึ่งได้แก่ฉนวนที่มีความพรุน หรือฉนวนที่มีช่องว่างอากาศมาก ซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับวัสดุที่มีน้ำหนักมากจะมีส่วนช่วยในการกันเสียงได้ดีขึ้น เช่น ใยแร่ หรือใยแก้ว เป็นต้น

การปลอดจากกลิ่น (Freedom from Odour)

การปลอดจากกลิ่นเป็นข้อพิจารณาข้อหนึ่งที่สำคัญต่อการใช้ฉนวน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นฉนวนที่ติดตั้งภายในอาคาร ฉนวนที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบ หากเกิดการเสื่อมสภาพ หรือเกิดการเผาไหม้ จะทำให้ผู้ที่อยู่อาศัยภายในอาคารได้รับอันตรายจากการสูดดมไอระเหยของสารเคมี ในการเลือกใช้ฉนวนจึงควรพิจารณาเลือกใช้ฉนวนที่มีส่วนประกอบที่เหมาะสม ไม่ก่อให้เกิดอันตรายในขณะใช้งาน เมื่อเกิดการเสื่อมสภาพและเกิดการเผาไหม้

ความต้านทานต่อการกัดกร่อน และสารเคมี (Corrosion & Chemical Resistance)

ความต้านทานต่อการกัดกร่อน และสารเคมีของฉนวนเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการใช้งาน การเสื่อมสภาพของฉนวนด้วยสาเหตุต่างๆ เช่น สารเคมี และสภาพอากาศ ฯลฯ จะทำให้ฉนวนมีประสิทธิภาพลดต่ำลง ดังนั้นฉนวนที่ดีควรมีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพดังกล่าวได้ โดยพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมในการใช้งานฉนวนว่าได้รับผลกระทบอย่างไรบ้าง แล้วเลือกใช้ฉนวนที่มีความคงทนต่อสภาพนั้นๆ

การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษาเป็นสิ่งที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายภายหลังการติดตั้งฉนวน ซึ่งจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การเลือกใช้ฉนวนสำหรับอาคารส่วนใหญ่มีวัตถุประสงค์ในการใช้งานหลายวัตถุประสงค์ ดังนั้นการพิจารณาเลือกชนิดฉนวนจึงจำเป็นต้องพิจารณาคุณสมบัติหลายๆ ข้อร่วมกัน จากนั้นจึงเลือกฉนวนที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสูงสุดสำหรับการใช้งาน หรืออาจใช้ฉนวนหลายๆ ชนิดประกอบกันเพื่อให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ตัวอย่าง เช่น

- ควรเลือกใยแก้ว หรือใยแร่ เมื่อต้องการกันความร้อนและกันเสียง
- ควรเลือกใช้แคลเซียมซิลิเกต หรือเวอร์มิคูไลท์ เมื่อต้องการกันความร้อน และกันไฟ
- ควรเลือกใช้ฉนวนประเภทโฟม เมื่อต้องการกันความร้อน และความชื้น

สำหรับการผสมผสานการใช้มวลสารร่วมกับฉนวน จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความสามารถในการหน่วงความร้อนของมวลสารที่เหมาะสม เนื่องจากวัสดุที่มีมวลสารมากจะมีผลในการหน่วงความร้อนได้มาก ทำให้ความร้อนไม่เข้ามาภายในอาคาร โดยเฉพาะช่วงที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำกว่าอุณหภูมิภายใน ซึ่งจะทำให้มีการถ่ายเทความร้อนออกสู่ภายนอกจึงสามารถลดภาระการทำความเย็นสูงสุดของอาคารได้ ขนาดของมวลสารที่เหมาะสม คือ มวลสารที่ทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาภายในอาคารในช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกลดต่ำลงมากที่สุด

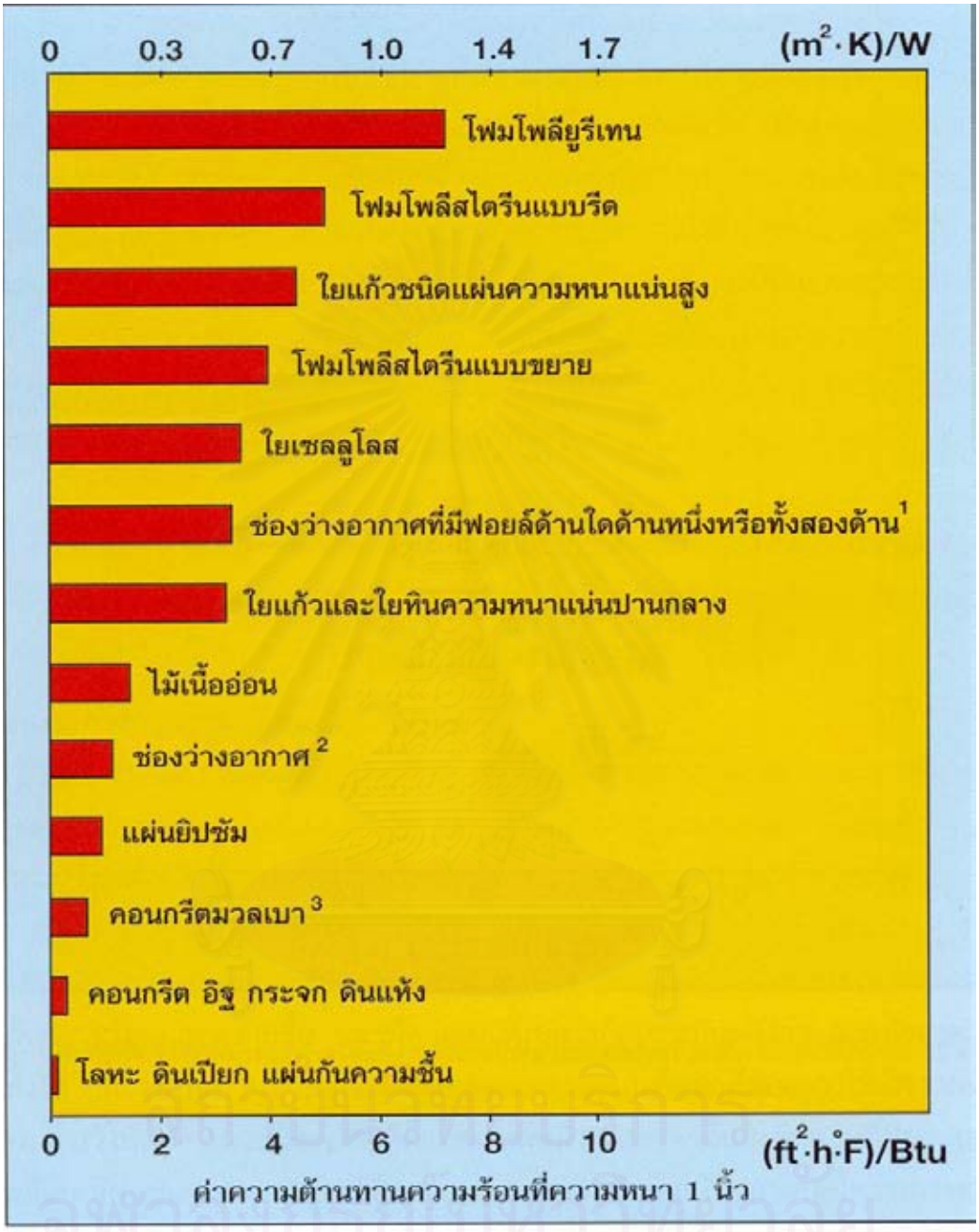
ลักษณะและคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 2-1 สรุปเปรียบเทียบข้อดีและข้อจำกัดของฉนวนบางประเภท[2]

ชนิดของฉนวน	ข้อดี	ข้อจำกัด
ใยแก้ว (Glass Fiber)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ไม่เป็นพิษ -อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 700 องศาเซลเซียส	-ไม่กันไฟ -ตัวประสาน (Binder) ลุกไหม้ได้ -การแทรกซึมของไอน้ำสูง ควรมีวัสดุหุ้มกันน้ำ
ใยแร่หรือใยหิน (Mineral Fiber or Rock Wool)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ไม่ติดไฟ -ไม่เป็นพิษ -อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 1300 องศาเซลเซียส	-ตัวประสาน (Binder) ลุกไหม้ได้ -การแทรกซึมของไอน้ำสูง ควรมีวัสดุหุ้มกันน้ำ
ใยเซลลูโลส (Cellulose)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ไม่เป็นพิษ	-ติดไฟได้ -การดูดซึมน้ำสูง -อาจมีการยุบตัวตามอายุการใช้งาน
โฟมโพลีสไตรีน (Polystyrene Foam)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ใช้เป็นตัวผนึกหรือกันซึมได้ -การแทรกซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ -ไม่เป็นพิษ	-ติดไฟได้ -อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 82 องศาเซลเซียส
โฟมโพลียูริเทน (Polyurethane Foam)	-สภาพการนำความร้อนต่ำที่สุด -ใช้เป็นตัวผนึกหรือกันซึมได้ -การแทรกซึมของไอน้ำ และการดูดซึมน้ำต่ำ	-ติดไฟได้ -เกิดควันที่เป็นพิษ ขณะลุกไหม้ แก้ไขโดยใส่สารกันไฟลาม
โฟมชนิดยืดหยุ่น (Elastomeric Foam)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ไม่เป็นพิษ -ติดตั้งง่าย	-ติดไฟได้และเกิดควันมาก -ไวต่อรังสีอัลตราไวโอเลต -อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 105 องศาเซลเซียส
แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate)	-ไม่ติดไฟ -อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 650 องศาเซลเซียส	-สภาพการนำความร้อนปานกลาง -ไอน้ำแทรกซึมได้ง่าย -การดูดซึมน้ำสูง
เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite)	-ไม่ติดไฟ -ไม่เป็นพิษ	-สภาพการนำความร้อนสูง -การดูดซึมน้ำสูง -อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 405 องศาเซลเซียส

[2] ข้อมูลปรับปรุงจาก คู่มือฉนวนกันความร้อน, 2537.

เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานความร้อน ที่ความหนา 1 นิ้ว ของฉนวนเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป จะพบว่ามีค่าดังต่อไปนี้



แผนภูมิที่ 2-1 *แสดงการเปรียบเทียบค่าความต้านทานความร้อน (ค่า R) ของวัสดุต่าง ๆ ที่ความหนา 1 นิ้ว (ที่มา : เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า, 2542)*

อิทธิพลจากฉนวนและมวลสาร

โดยปกติวัสดุที่เป็นฉนวน (เท่าที่ใช้ในปัจจุบัน) จะมีน้ำหนักเบา และมีมวลสารน้อยมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้น้อย แต่มีคุณสมบัติในการกีดกันการถ่ายเทความร้อนเป็นไปในอัตราที่ช้า ในทางตรงข้ามวัสดุที่มีมวลสาร (Thermal Mass) มาก จะมีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้มาก เมื่อปริมาณความร้อนที่กักเก็บไว้มีมากขึ้นก็จะส่งผ่านตัวไปเรื่อยๆ ด้วยเหตุนี้ความร้อนที่สะสมไว้จึงค่อยๆ เคลื่อนตัวผ่านอาคารในเวลาถัดไป ทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าจะเดินทางเข้าสู่อาคาร อิทธิพลนี้เรียกว่าการหน่วงเหนี่ยวเวลาหรือ Time Lag Effect และหากในช่วงที่ผนังกักเก็บความร้อนอยู่นั้น อุณหภูมิของอากาศภายนอกเย็นลงกว่าอุณหภูมิของผนังแล้ว ในช่วงเวลานั้นจะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากผนังสู่อากาศภายนอกด้วย จะเห็นได้ว่า ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนังนั้นส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่อาคาร และอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนตัวออกจากผนังสู่อากาศภายนอก ซึ่งถ้าหากผนังมีมวลสารมากและมีการหน่วงเหนี่ยวเวลานาน โอกาสที่ความร้อนที่สะสมอยู่ในผนัง จะสูญเสียให้กับอากาศภายนอกก็มีมาก

อิทธิพลของมวลสารต่อการถ่ายเทความร้อน

การที่มวลสาร (Thermal Mass) มีความสามารถในการเก็บกักความร้อน และหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากน้อยต่างกันนั้น จึงทำให้ยากต่อการคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจริงๆ ทั้งนี้เพราะอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารจริงมาจากหลายองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

- <u>ความจุความร้อนของผนัง</u> (Thermal Heat Capacity) ผนังที่มีความจุความร้อนมากจะดูดและกักเก็บความร้อนไว้ได้มาก ทำให้ความร้อนที่จะไหลผ่านผนัง เป็นไปในอัตราที่ช้าลง
- <u>การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวผนัง กับสภาพแวดล้อม</u> (Long Wave Radiation Heat Exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังกับผิววัสดุอื่นๆ ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นโดยเฉพาะในรูปของการแผ่รังสี
- <u>การถ่ายเทความร้อนของผนังให้กับอากาศโดยตรง โดยการพาความร้อน</u> (Surface Conduction) การถ่ายเทความร้อนของผนังด้วยวิธีนี้ ขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านผิว และลักษณะของพื้นผิว อิทธิพลของ Surface Conduction ที่มีต่อปริมาณการถ่ายเทความร้อนของผนังจะมีค่าน้อยมาก ในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ อิทธิพลอันนี้จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังนั้นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น
- <u>ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายพลังงานความร้อนของผนัง</u> (Surface Absorption & Surface Emission) โดยปกติแล้ว หากเป็นสีของผนังธรรมดา หรือสีผิวของวัสดุตามธรรมชาติ ค่า Surface Emission จะค่อนข้างสูง คือประมาณ 0.8 – 0.9 เป็นส่วนใหญ่ นอกจากว่าเป็นสีเคลือบผิวพิเศษ (Selective Coating) อาจจะมีค่าการดูดความร้อนต่ำ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การกกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิวผนังเย็นกว่าปกติ สำหรับค่าการดูดกลืนความร้อน (Surface Absorption) ส่วนมากจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือ เข้มมากก็จะดูดกลืนความร้อนสูง
- <u>การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนัง</u> (Time Lag) โดยปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยกว่า แต่ในสภาพการใช้งานจริง การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ (Givoni, 1994: 56) และที่สำคัญคือ

ปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุ ในแต่ละชั้นร้อนขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว (Fill up the heat Capacity) ก่อนที่จะถ่ายเทไปในชั้นต่อไป ด้วยเหตุนี้จึงพบว่า ในผนังก่ออิฐฉาบปูนเหมือนกัน แต่ใส่ฉนวนไว้ในตำแหน่งต่างกัน คือภายนอกและภายใน ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายนอกจะมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่า ผนังที่ใส่ฉนวนไว้ภายใน ทั้งนี้เพราะการที่มีฉนวนอยู่ภายนอก ทำให้ความร้อนผ่านฉนวนเข้ามาได้ยาก ทำให้การ Fill up the heat Capacity ของผนังเป็นไปได้ช้า จึงทำให้การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของผนังนั้นมีค่ายาวนานขึ้น

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U – Value) โดยปกติการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารหรือออกจากอาคาร อันเนื่องมาจากความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกกับภายในมักจะใช้ค่า U เป็นหลักในการคำนวณ

2.1.3 แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม

ในการพิจารณาเลือกแนวทางการปรับปรุงผนังอาคารเดิม ต้องคำนึงถึงรูปแบบและระบบของอาคาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. อาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

อาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ หมายถึง อาคารที่ใช้เฉพาะระบบการระบายอากาศแบบธรรมชาติ โดยไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคารจะมีความสัมพันธ์กับสภาวะภายนอกมาก ผู้ออกแบบจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับอาคารในช่วงเวลาต่างๆ เมื่อเลือกใช้วัสดุต่างชนิดกัน เพราะวัสดุผนังที่มีมวลสารแตกต่างกัน จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคารแต่ละช่วงเวลา ถ้าเป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูน หรือผนังคอนกรีตจะทำให้อุณหภูมิภายในมีการเปลี่ยนแปลงไม่รุนแรง เมื่อเปรียบเทียบกับผนังที่มีมวลสารน้อย เพราะมวลสารของผนังจะทำหน้าที่สะสมความร้อนไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง ก่อนจะถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร (เกิดการหน่วงความร้อน) ทำให้ในเวลากลางวันที่ภายนอกมีอากาศร้อนจัด แต่ภายในอาคารมีอุณหภูมิไม่สูงนัก บางครั้งอาจต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกได้ ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับการที่อุณหภูมิภายในโบสถ์ไทยโบราณเย็นสบายในเวลากลางวัน

ลักษณะของระบบผนังหรือเปลือกอาคารที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานในอาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร คือ

- ความหนามากกว่าปกติ เพื่อให้เกิดการหน่วงความร้อนไว้เป็นระยะเวลานาน หรือตลอดช่วงระยะเวลาที่อุณหภูมิภายนอกสูงกว่าภายในอาคาร
- ค่าความต้านทานความร้อนสูง เพื่อให้มีความร้อนผ่านเข้ามาภายในอาคารน้อยที่สุด
- ดูดกลืนความร้อนและดูดซับความชื้นน้อย

ซึ่งการปรับปรุงผนังเดิมของอาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ สามารถกระทำได้โดยการเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติข้างต้น มาผสมผสานกับวัสดุผนังของอาคารเดิม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารให้ได้มากที่สุด

2. อาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

อาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ หมายถึง อาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ เพื่อควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารให้ผู้ใช้อาคารอยู่ในสภาวะน่าสบาย ผู้ออกแบบจำเป็นต้องพิจารณาถึงรูปแบบการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศที่แตกต่างกันในอาคารแต่ละประเภท เพราะรูปแบบของการควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารที่แตกต่างกัน มีผลกระทบอย่างมากต่อปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการทำความเย็นให้กับอาคาร ลักษณะของระบบผนังหรือเปลือกอาคารที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานของอาคารที่แตกต่างกันมีดังนี้

อาคารที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา

อาคารที่มีการปรับอากาศภายในตลอดเวลา ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ในระดับที่ต้องการ ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอก แนวทางในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารทำได้โดยการเลือกใช้วัสดุที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูง หรือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ เพื่อลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

อาคารที่มีการเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศระยะยาว

อาคารที่มีการใช้งานเครื่องปรับอากาศระยะเวลานานๆ เช่น เปิดตลอดเวลากลางวันและปิดตอนกลางคืน ต้องมีการเลือกใช้วัสดุต่างๆ ให้ผสมผสานกันอย่างเหมาะสม เพื่อให้สามารถควบคุมสภาวะอากาศภายในอาคารและประหยัดพลังงาน โดยอาจพิจารณาจากตำแหน่งในการติดตั้งและคุณสมบัติของวัสดุดังนี้

- การนำมวลสารไว้ด้านนอก เป็นการลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากสภาวะภายนอก
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนไว้ด้านในของอาคารเพื่อลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร
- การใช้ฉนวนสะท้อนความร้อน เช่น ฟอยล์ เพื่อเพิ่มค่าความต้านทานความร้อนให้กับช่องว่างอากาศ

อาคารที่มีการเปิดและปิดเครื่องปรับอากาศระยะสั้น

อาคารที่ต้องมีการเปิด-ปิดเครื่องปรับอากาศบ่อยๆ เป็นระยะเวลาสั้นๆ ควรเลือกใช้ผนังที่มีมวลสารน้อย มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน และใช้วัสดุที่มีการสะสมความร้อนและความชื้นน้อย

2.1.4 **ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ**

สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณความร้อนเข้าออกจากอาคาร

โดยทั่วๆ ไปมี 2 สมการ คือ $Q = U * A * \Delta T$ ..... (1)

$Q = C * A * \Delta T$ ..... (2)

และ $Q = U * A * CLTD$..... (3)

เมื่อ $C = 1 / R = k / \Delta x$

โดยที่ U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนัง (Btu / hr.Sf.^{o}F)

C = ค่าความนำความร้อนของวัสดุ (Btu / hr.Sf.^{o}F)

R = ค่าความต้านทานของวัสดุ (hr.Sf.^{o}F /Btu)

K = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Btu / hr.f.^{o}F)

Δx = ความหนาของวัสดุ (ft.)

A = พื้นที่ของผนังที่ถ่ายเทความร้อน (Sf.)

ΔT = ความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน ($^{\circ}F$)

CLTD = ภาระความแตกต่างความร้อนเทียบเท่า หรือ Cooling Load Temperature Difference ($^{\circ}F$)

ทั้งสามสมการข้างบนนี้ จะพบว่าการคำนวณจะใช้สมการที่ 1 ในกรณีที่ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน มีค่าคงที่ (Steady State Condition) หรืออิทธิพลจากองค์ประกอบภายนอกไม่มีผลกระทบรุนแรงนัก อีกกรณีหนึ่งที่จะใช้สมการที่ 1 ในการคำนวณ คือ เพื่อความสะดวกในกรณีที่มีอัตราเสี่ยงต่ำในการคำนวณค่า Heat Load ของอาคารในเมืองหนาว ซึ่งถือว่าอิทธิพลอันเนื่องมาจากมวลสาร การหน่วงเวลา หรืออื่นๆ เป็นเสมือนค่า Safety Factor ในการคำนวณ

สมการที่ 2 จะใช้ในกรณีที่ต้องการค่าความแน่นอนมากกว่าสมการที่ 1 โดยนำค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิววัสดุภายในกับอุณหภูมิอากาศภายในห้อง และค่าความต้านทานที่ผิวภายใน เพื่อลดผลกระทบจากอิทธิพลภายนอกที่มีค่าไม่คงที่ตลอดวัน

ในสมการที่ 3 ค่า ΔT ถูกเปลี่ยนเป็น CLTD เพื่อปรับให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เพราะในทางปฏิบัติค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในมีค่าไม่คงที่ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้การคำนวณค่า Peak Load[3] ของอาคารจึงใช้ค่า CLTD แทน ΔT จากการศึกษารายละเอียดในการคำนวณ (American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers (ASHRAE), 1989) พบว่าค่า CLTD ดัดแปลงมาจาก ΔT หากแต่ว่าปรับให้เข้ากับอิทธิพลจากภายนอกหลายองค์ประกอบ เช่น เวลา, วัน, เดือน, เขตละติจูดที่เกิด Peak Load, มวลสารของผนัง, สีของผนัง, การหน่วงเวลาของผนังตลอดจนผลกระทบของแสงแดด ซึ่งหากมองอย่างลึกซึ้ง พบว่าค่า CLTD นั้นพยายามปรับให้ใกล้กับความเป็นจริงมากที่สุด โดยการคำนวณได้พยายามคำนึงถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน

การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิวัสดุ

ในการถ่ายเทความร้อนผ่านจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร พลังงานความร้อนที่ผิวผนังภายนอกได้รับไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของผนังสูงขึ้นในทันที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดต้องการปริมาณความร้อนจำเพาะที่แตกต่างกันจำนวนหนึ่งในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุขึ้นไปทุกๆ 1 องศา

ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (Specific Heat) เป็นปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการทำให้วัสดุหนัก 1 หน่วย มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา จากความรู้เกี่ยวกับความจุความร้อนจำเพาะ ทำให้สามารถคำนวณค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุต่างๆได้

ในการคำนวณค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ของวัสดุต่างๆ เพื่อทราบค่าปริมาณความร้อนที่วัสดุชนิดหนึ่งต้องการในการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไป 1 องศา ในทุกๆ 1 หน่วยปริมาตร สามารถคำนวณได้จากสมการ

[3] Peak Load คือ ปริมาณความร้อนที่เข้าหรือออกจากอาคารที่มากที่สุด (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)

$$C = pc \quad \text{โดยที่} \quad p = m / v$$

โดยกำหนดให้ C = ค่าความจุความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu / Cft°F

p = ค่าความหนาแน่นของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb / Cft

c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu / lb°F

m = มวลของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb

v = ปริมาตรของวัสดุ มีหน่วยเป็น Cft

ค่าความจุความร้อนจำเพาะยังสามารถใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิวัสดุให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ โดยมีสมการดังนี้

$$Q = mc * \Delta T$$

โดยกำหนดให้ Q = ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น Btu

m = มวลของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb

c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu / lb°F

ΔT = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ มีหน่วยเป็น °F

อิทธิพลจากแสงแดดและการจำลองสภาพในห้องทดลอง

แสงแดดจัดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลมาก ต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังสู่อาคาร เมื่อผนังอาคารถูกแสงแดดจะร้อนขึ้น เนื่องจากการดูดรังสีความร้อนจากแสงแดดของผนัง และการที่ผิวผนังร้อนขึ้นนี้เอง ทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารต้องเปลี่ยนไป และจะใช้ค่าความแตกต่างของความร้อนระหว่างข้างในกับข้างนอก หรือ ΔT ไม่ได้อีกต่อไป เพราะค่าของ ΔT จะต่ำกว่าความเป็นจริงมาก แต่จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ และเพื่อที่จะศึกษาถึงอิทธิพลของแสงแดดและองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารจึงได้มีผู้ประยุกต์อิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้ขึ้น (American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers (ASHRAE), 1989) โดยสร้างเป็นสมการดังนี้

$$\text{Sol – Air Temperature (Te)} = T_{out} + (I * \alpha / ho) - (\Sigma \Delta R / ho)$$

โดยที่ Te = Sol – Air Temperature

T_{out} = อุณหภูมิอากาศภายนอก

I = รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด (Total Solar Radiation Incident on the Surface) (Btu / hr.Sf.)

α = สัมประสิทธิ์การดูดความร้อนของผิววัสดุ (ไม่มีหน่วย)

ho = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ผิว ซึ่งรวมทั้ง Long Wave Radiation & Convection (Btu / hr.Sf.)

ΔR = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและ ท้องฟ้า (Btu / hr.Sf.)

Σ = สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนออกจากผิววัสดุ(ไม่มีหน่วย)

โดยคำจำกัดความแล้ว Sol – Air Temperature[4] คือ อุณหภูมิสมมุติของอากาศที่ติดกับผิววัสดุ ตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสี ที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจริงจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า จากสภาพแวดล้อมรอบตัว และจากการถ่ายเทความร้อนกับอากาศ

ในห้องปฏิบัติการ เมื่อต้องการจะให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนเทียบเท่ากับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงๆ จึงได้มีการจำลองสภาพนี้ขึ้นโดยใช้ หลักของ Sol – Air Temperature

อย่างไรก็ตาม หลักของ Sol – Air Temperature ในทางปฏิบัติคงทำให้เหมือนสภาพจริงได้ยาก นอกจากจะจำลองเพื่อศึกษาใน สภาพแวดล้อมของแต่ละสถานที่นั้นๆ

สมการที่ใช้ในการคำนวณอุณหภูมิที่ลดลง (Temperature Gradient)

เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณเพื่อให้ทราบถึงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆของวัสดุต่างชนิดที่นำมาประกอบร่วมกัน และทำให้สามารถทราบถึงตำแหน่งที่เกิดการกลั่นตัวเมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ลดลงในแต่ละช่วงของวัสดุต่างๆ กับ Psychometric Chart ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{อุณหภูมิที่ลดลงที่จุด n (Temp. Drop)} = \frac{(R1 + R2 + \ldots + Rn) * \Delta T}{\Sigma R}$$

โดยกำหนดให้ R1 = ค่าความต้านทานตัวที่ 1

R2 = ค่าความต้านทานตัวที่ 2

Rn = ค่าความต้านทาน ณ ตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าอุณหภูมิ

ΣR = ค่าความต้านทานรวมทั้งหมด

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก

โดยค่าอุณหภูมิที่ลดลงที่จุด n ที่ได้ต้องนำไปรวมกับอุณหภูมิเริ่มต้น จึงจะเป็นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่ง n

---

[4] Sol – Air Temperature is the outdoor air that, in the absence of all radiation change, gives the same rate of heat entry into the surface as would the combination of incident solar radiation, radiant energy exchange with the sky and other outdoor surroundings, and convective heat exchange with the outdoor air. (American Society of Heating Refrigerating and Air – Conditioning Engineers (ASHRAE), 1989)

2.1.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความชื้น

ความหมายของความชื้น

ความชื้น (Humidity) คือ ละอองไอน้ำในอากาศซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539: 159)

ปริมาณไอน้ำในอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาวะของอุณหภูมิในขณะนั้น ความชื้นในอากาศจะอยู่ในรูปของไอน้ำ ซึ่งอากาศสามารถอุ้มความชื้นได้ปริมาณมากเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น และความสามารถในการอุ้มความชื้นของอากาศจะลดลง เมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำลง อาจกล่าวได้ว่าเมื่ออากาศมีการอิ่มตัว (Saturated) แสดงว่า ณ เวลานั้นอากาศไม่สามารถอุ้มน้ำได้อีก หมายถึง การที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100% ซึ่งก็คือ สภาวะที่อากาศมีปริมาณไอน้ำสูงสุดที่สภาวะอุณหภูมินั้นๆ

การวัดความชื้น (Humidity Parameters)

อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio : W) คือ อัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง

$$\text{อัตราส่วนความชื้น (W)} = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศ } (M_w)}{\text{มวลของอากาศแห้ง } (M_a)}$$

หรือสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$\text{อัตราส่วนความชื้น (W)} = \frac{0.62198\, X_w}{X_a}$$

เมื่อ W = อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio)

X_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Water vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (Moist air)

X_a = อัตราส่วนมวลของอากาศแห้ง (Dry air) ต่อมวลของอากาศผสม (Moist air)

ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity : d_v) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง หน่วยที่ใช้ในการวัดจะใช้เป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต

สามารถคำนวนได้จากสมการ

$$d_v = \frac{M_w}{V}$$

เมื่อ d_v = ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity)

M_w = มวลของไอน้ำ (Water vapor) ในอากาศผสม (Moist Air)

V = ปริมาตรของอากาศ

หรืออีกสมการหนึ่งคือ

$$d_v = \frac{[\ (10)^6 e\ ]\ T}{R_{\text{Water Vapor}}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อ d_v = ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute humidity)

e = ความดันไอน้ำ (Vapor pressure)

T = อุณหภูมิ (Temperature)

R = ค่าก๊าซคงที่ของไอน้ำ

โดยที่ $$R = \frac{623e \text{ (In gram of water vapor)}}{Pd \text{(Kilogram of dry air)}}$$

เมื่อ Pd = ความดันของอากาศแห้ง ซึ่งเท่ากับ (P-e)

P = ความดันบรรยากาศมาตราฐานที่ระดับน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 1.01325 บาร์ (bar) โดยที่ 1 บาร์ (bar) เท่ากับ 100 กิโลปาสคาล (kPa)

<u>ความชื้นสัมพัทธ์</u> (Humidity ratio : Φ) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำสูงสุดในอากาศต่อมวลของไอน้ำทั้งหมดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ดังนั้นการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 0% หมายถึงอากาศขณะนั้นไม่มีไอน้ำอยู่เลย ณ อุณหภูมินั้นๆ หรือการที่ความชื้นสัมพัทธ์ 100% แสดงว่า อากาศขณะนั้นอิ่มตัว กล่าวคือ ไม่สามารถรับไอน้ำในอากาศมาเก็บไว้ได้อีก

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์ } (\Phi) = \frac{\text{มวลไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิหนึ่ง}}{\text{มวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมิหนึ่ง}}$$

ความชื้นสัมพัทธ์หาได้จากสมการ

$$\Phi = \frac{X_w}{X_{ws\ at\ t,p}}$$

เมื่อ Φ = ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)

X_w = อัตราส่วนของมวลไอน้ำ (Water vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (Moist air) ณ อุณหภูมิและความดันหนึ่งๆ

$X_{ws\ at\ t,p}$ = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Vapor) ต่อมวลของอากาศผสมในสภาวะอากาศอิ่มตัว (Saturated mixture) ณ อุณหภูมิและความดันนั้นๆ

<u>อุณหภูมิจุดน้ำค้าง</u> (Dewpoint temperature) เป็นอุณหภูมิที่ไอน้ำเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่ออากาศมีอุณหภูมิลดลงแต่ปริมาณไอน้ำในอากาศยังคงเท่าเดิม และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100% แสดงว่า ณ ขณะนั้นเป็นสภาวะที่อากาศอิ่มตัว คือ ไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มขึ้นได้อีก หากมีปริมาณไอน้ำเพิ่มสูงขึ้นทำให้ไอน้ำในอากาศเกิดการควบแน่นและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ สภาวะดังกล่าวจึงเรียกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่พื้นผิวของวัสดุใดๆ มีอุณหภูมิพื้นผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะทำให้เกิดหยดน้ำบนพื้นผิววัสดุนั้น

<u>ความดันไอน้ำ</u> (Vapor pressure) จากการที่อากาศมีส่วนผสมของก๊าซหลากหลายชนิด เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ เป็นต้น โดยผลรวมของความดันอากาศทั้งหมดสามารถแสดงในลักษณะของปริมาตรอากาศที่ผสมผสานจากก๊าซหลายๆ ชนิดดังกล่าว และก๊าซแต่ละชนิดก็จะมีความดันไอที่ต่างกัน

ออกไปแต่ทั้งหมดก็ประกอบรวมกันเป็นความดันอากาศ โดยที่ความดันไอน้ำก็คือความดันของก๊าซที่เป็นไอน้ำในอากาศนั่นเอง

การคำนวนหาค่าความดันไอน้ำตามวิธีเดียวกันกับกรมอุตุนิยมวิทยา มีวิธีการคำนวนตามสูตรต่อไปนี้

$$es(T) = 0.611 * EXP\left(\frac{17.27 * t}{t + 237.3}\right)$$

โดยที่

$$e = \frac{(rh) * es(T)}{100}$$

เมื่อ es(T) = ความดันไอน้ำอิ่มตัว ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ที่บรรยากาศขณะนั้นมีความชื้นสูงสุด หน่วย กิโลปาสคาล (kpa)

t = อุณหภูมิอากาศ หน่วย องศาเซลเซียส (^{o}C)

e = ความดันไอน้ำ (Vapor pressure) หน่วย กิโลปาสคาล (kpa)

rh = ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) หน่วย เปอร์เซนต์ (%)

<u>ค่าความจุความร้อนของไอน้ำ</u> (Enthalpy of moist air : h) ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศ จะมีความร้อนสะสมอยู่ทั้งในส่วนของความร้อนแฝง (Latent heat) และความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสามารถรวมเรียกได้ว่า Enthalpy ในการคำนวนสามารถหาได้จากสมการ

$$h = h_a + Wh_g$$

โดยที่

$$h_a = 0.240t$$

$$h_g = 1064 + 0.444t$$

ดังนั้น

$$h = 0.240t + W(1064 + 0.444t)$$

เมื่อ h = Enthalpy of moist air หน่วย Btu per pound of dry air

h_a = Specific enthalpy of dry air หน่วย Btu per pound

W = ความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity ratio)

h_g = Specific enthalpy of saturated water vapor หน่วย Btu per pound

t = อุณหภูมิอากาศ (Dry bulb temperature) หน่วย ^{o}F

การถ่ายเทความชื้น

การถ่ายเทความชื้นซึ่งอยู่ในรูปของไอน้ำนั้น มีรูปแบบที่หลากหลายซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. ความแตกต่างของความดันอากาศ หรือ แรงโน้มถ่วงของโลก
2. แรงดูดความชื้นภายในช่องว่างของเนื้อวัสดุ
3. ความแตกต่างของค่าความจุความชื้น
4. การเคลื่อนตัวของไอน้ำในอากาศที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. ความแตกต่างของความดันไอน้ำ

โดยกระบวนการถ่ายเทความชื้นสกัดกั้นการถ่ายเทความชื้น สามารถกระทำได้ด้วยการติดตั้งฉนวนป้องกันความชื้น (Vapor retarder) เพื่อลดความแตกต่างของความดันอากาศ หรือแรงโน้มถ่วงของโลก นอกจากนี้การป้องกันการถ่ายเทความชื้นที่เกิดจากกระบวนการแรงดูดความชื้นภายในมวลสาร และการเคลื่อนตัวของไอน้ำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศก็เป็นกระบวนการที่สำคัญ เพราะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมากเช่นกัน

<u>การถ่ายเทความชื้นโดยแรงดูดความชื้น</u> ภายในรูพรุนของวัสดุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1 μm โมเลกุลของไอน้ำในวัสดุจะสร้างแรงดึงระหว่างผิวของโมเลกุลด้วยกัน ซึ่งแรงดูดดังกล่าวสามารถคำนวนหาได้จากสมการ

$$s = \frac{2\sigma \cos\theta}{R}$$

เมื่อ s = แรงดูดความชื้น (Capillary suction)

σ = แรงดึงผิวของน้ำ (Surface tension of water)

θ = มุมสัมผัส (Contact of wetting angle)

r = รัศมีส่วนโค้งของผิว (Radius of the capillary)

โดยมุมสัมผัส (Contact of wetting angle) มุมระหว่างส่วนผิวหน้าของของเหลวที่เห็นเป็นเส้นโค้ง ซึ่งภายในวัสดุที่มีการดูดซับความชื้น (Hydrophilic) มุมสัมผัสจะมีค่าน้อยกว่า 90° และสำหรับวัสดุที่ไม่ดูดซับความชื้น (Hydrophobic) มุมสัมผัสจะอยู่ระหว่าง 90°-180° และการถ่ายเทความชื้นที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ เกิดจากความแตกต่างของแรงดูดความชื้น เมื่อแรงดูดความชื้นมีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของน้ำ และในส่วนของแรงตึงผิวของน้ำนั้น เป็นส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นโดยความแตกต่างของแรงตึงผิวจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ในสภาวะ Isothermal และ Nonisothermal แม้ว่าปริมาณแรงดูดความชื้นจะมีจำนวนน้อย แต่กระบวนการถ่ายเทความชื้นยังคงดำเนินการอยู่ ทั้งในส่วนกระบวนการของของเหลว และไอน้ำ ซึ่งในส่วนของกระบวนการที่เกิดจากไอน้ำนั้น จะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัว (Vapor saturation pressure) ซึ่งสามารถคำนวนได้จากกฎของทอมส์สัน (Thomson's law) จากสมการ

$$p'' = p' \exp(s / \rho RT) = p' \exp(2\sigma \cos\theta / r\rho RT)$$

เมื่อ p'' = ความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุ

p' = ความดันไอน้ำอิ่มตัวในบรรยากาศ

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ

R = ค่าคงที่สถานะก๊าซของไอน้ำ

T = อุณหภูมิองศาสมบูรณ์

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณสูงกว่าช่องว่างที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากไอน้ำจากช่องว่างขนาดใหญ่จะแพร่กระจายไปสู่ช่องว่างที่มีขนาดเล็กกว่า และ

จากสมการแสดงให้เห็นว่า ความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุจะต่ำลงเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิลดลง เพราะไอน้ำจะแพร่กระจายจากช่องว่างที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปสู่ช่องว่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ถ้าความดันไอน้ำของบรรยากาศเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้น (Equilibrium) เทียบเท่ากับความดันไอน้ำอิ่มตัวภายในช่องว่างวัสดุ จะสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$s = \rho RT \ln \Phi$$

เมื่อ Φ = ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ

และการถ่ายเทความชื้นสามารถแสดงให้เห็นได้ในลักษณะสมการของ Suction pressure gradient

$$W_m = -k_m \, ds / dx$$

เมื่อ W_m = Water flux

k_m = Water permeability coefficient

<u>การถ่ายเทความชื้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศ</u> (Air movement) การถ่ายเทความชื้นจากการเคลื่อนที่ของอากาศสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$w = W\rho v$$

เมื่อ w = Water vapor flux (flow per unit area)

W = อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (Density of air)

v = ความเร็วลม (Airflow velocity)

การเคลื่อนที่ของอากาศและการแพร่ความชื้น (Vapor diffusion) จะสามารถนำความชื้นเข้ามาในอาคารได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งจะมีผลต่อพลังงานที่ใช้ในอาคาร แสดงว่า การติดตั้งแผงกำบังลมและการติดตั้งฉนวนกันความชื้น ยังคงมีความจำเป็นสำหรับการป้องกันการแทรกซึมความชื้นแก่อาคาร

<u>การแพร่ความชื้น</u> (Water vapor diffusion) ความชื้นที่อยู่ในรูปของไอน้ำในอากาศสามารถแพร่กระจายผ่านอากาศ รวมถึงวัสดุต่างๆของอาคาร ความชื้นสามารถแพร่กระจายผ่านพื้นที่ที่ต่อเนื่องกัน รวมถึงพื้นผิวที่เกิดการควบแน่นได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดความแตกต่างของความดันความชื้น เช่น พื้นผิวกระจกที่เย็น เป็นต้น เมื่อความชื้นสามารถเคลื่อนที่ผ่านวัสดุต่างๆเข้ามาในอาคารแล้วจะเข้ามาผสมกับอากาศภายใน ซึ่งสามารถคำนวนหาการแพร่ความชื้นที่ผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ (Water vapor diffusion flux) ตามสมการของ Fick's law

$$w = -\mu \, dp / dx$$

เมื่อ w = การแพร่ความชื้นที่ผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ (Water vapor flux)

μ = Water vapor permeability

p = ความดันความชื้น (Water vapor pressure)

x = ระยะทางการแพร่ความชื้น (Distance along flow path)

การวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น

ในการวัดค่าความจุความชื้นและการถ่ายเทความชื้น (Moisture content and transfer measurement) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

<u>การดูดซับความชื้นของวัสดุ</u> (Sorption Isotherm) ค่าการดูดซับความชื้นของวัสดุจะสัมพันธ์กับสมดุลความชื้นของวัสดุ (Equilibrium moisture content หรือ EMC) ภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ ค่าความจุความชื้น (moisture content หรือ MC) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณ (มวล) ของน้ำในวัสดุต่อมวลของวัสดุในสภาวะแห้ง (Dry mass) ในเบื้องต้น การพิจารณาค่าการดูดซับความชื้นจำเป็นที่จะต้องทราบอุณหภูมิและปริมาณความชื้นของสภาวะแวดล้อม จากนั้นจึงนำวัสดุที่ต้องการทดสอบไปตั้งไว้ในสภาวะแวดล้อมดังกล่าว เพื่อให้วัสดุทำการดูดซับความชื้นจากสภาพแวดล้อมดังกล่าวจนเข้าสู่สภาวะสมดุลของความจุความชื้น คือ เป็นสภาวะที่เกิดความสมดุลของความชื้นในวัสดุกับความชื้นของสภาวะแวดล้อม ผลที่ได้รับจากการวัดจะพบว่า พฤติกรรมของการดูดซับความชื้นของวัสดุแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อวัสดุดูดซับความชื้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้นแล้ว ผลที่ปรากฏอาจจะพบทั้งปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้น (Adsorption Isotherm) หรือลดลง (Desorption Isotherm)

การควบคุมความชื้นของสภาพแวดล้อมจะต้องอาศัยเครื่องปรับอากาศ หรือการใช้สารเคมีพวกเกลือ (Salt solution) ความแม่นยำในการวัดความชื้นโดยการใช้สารเคมีนั้น จะต้องใช้สารจำพวกเกลือหลายๆชนิดผสมกัน ซึ่งใน ASTM Standard E 104 ได้อธิบายไว้ว่า ความแม่นยำในการวัดจะพิจารณาจากค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ การทำให้วัสดุที่ต้องการทดสอบแห้ง จะใช้วิธีการอบแห้งด้วยเตาอบหรือวิธีการทำให้แห้ง (Disc cant drying) ซึ่งวิธีการทำให้แห้งนั้นจะทำให้ความชื้นในวัสดุสามารถระเหยออกมาได้ดีกว่าการใช้ตู้อบ

สำหรับวัสดุที่ต้องใช้เวลานานๆในการเข้าสู่สภาวะสมดุลความชื้น เช่น ต้องใช้เวลาเป็นสัปดาห์ หรือเป็นเดือน จะทำให้เกิดข้อจำกัดในการวัด เนื่องจากจะมีการระเหยของไอน้ำที่สะสมในเนื้อวัสดุระหว่างกระบวนการเข้าสู่สภาวะสมดุลดังกล่าว ดังนั้นจึงควรพิจารณาเลือกขนาดของวัสดุทดสอบที่เหมาะสม เพื่อจะได้ลดระยะเวลาในการระเหยของไอน้ำในเนื้อวัสดุ

<u>Vapor Permeability</u> ค่าการแทรกซึมความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุที่สามารถวัดได้นั้น เป็นคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นของวัสดุมีหน่วยเป็น perm โดย 1 perm จะเท่ากับปริมาณไอน้ำจำนวน $5.72 * 10^{-11}$ กิโลกรัม (ประมาณ $1.26 * 10^{-12}$ ปอนด์) ที่ถ่ายเทผ่านพื้นผิว 1 ตารางเมตร ในเวลา 1 วินาที โดยมีผลต่างของความดันไอน้ำเท่ากับ 1 ปาสคาล (Pa) และสามารถอธิบายได้โดยอาศัย Fick's law ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$W_v'' = -\mu \, dp / dx$$

เมื่อ W_v'' = มวลของไอน้ำที่แทรกซึมผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ต่อช่วงเวลา หน่วย $gr/h.ft^2$

μ = Vapor permeability หน่วย gr.in/h.Hg

dp/dx = Vapor gradient หน่วย in.Hg/in

พฤติกรรมการถ่ายเทความชื้นสามารถประมาณได้โดยการพิจารณาจากความหนาของวัสดุและทิศทางการเคลื่อนตัวของไอน้ำ ซึ่งในกระบวนการวัดค่าการแทรกซึมของความชื้นผ่านช่องว่างในวัสดุสามารถวัดได้จากการทดสอบวัสดุ ด้วยวิธีการต่างๆดังนี้

1. Dry cup method
2. Wet cup method
3. Modified cup test

โดยในการพิจารณาค่าการแทรกซึมความชื้นของวัสดุต่างๆนั้น การทดสอบด้วยวิธี Dry cup และ Wet cup นั้นไม่สามารถนำผลการทดสอบมาพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยของการแทรกซึมความชื้นที่นำมาแสดงเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ เนื่องจากในการทดสอบนั้นจะใช้วิธีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยสำคัญ ส่วนการทดสอบด้วยวิธี Modified cup test จะสามารถแสดงผลเป็นความชื้นสัมพัทธ์ได้ ซึ่งการทดสอบด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ไอน้ำที่ถูกดูดซับออกมาจากกระบวนการทดสอบ ถูกแทนที่ด้วยสารประเภทเกลืออิ่มตัว ทำให้สามารถอ่านค่าความชื้นสัมพัทธ์ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 100 เปอร์เซนต์

สำหรับการวัดวัสดุที่มีค่าการถ่ายเทความชื้นสูงนั้น ขีดจำกัดของอัตราการกระจายของไอน้ำผ่านอากาศในกระบวนการเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาค่า Air film resistance ซึ่งจะมีนัยยะสำคัญต่อการต้านทานการถ่ายเทความชื้นของวัสดุ โดยในการทดสอบวัสดุที่มีคุณสมบัติการถ่ายเทความชื้นสูงๆนี้ จำเป็นต้องใช้การบันทึกค่าการทดสอบอัตราการกระจายความชื้นผ่านช่องว่างอากาศทุกๆช่อง จึงจะทำให้สามารถวัดผลได้เที่ยงตรงมากขึ้น

Liquid Diffusivity การแทรกตัวของไอน้ำในวัสดุต่างๆ เป็นการเคลื่อนตัวตามรูพรุน หรือช่องว่างในวัสดุ ซึ่งสามารถคำนวนได้จากสมการ

$$W_t'' = \rho D_t \, dy / dx$$

เมื่อ W_t'' = มวลของไอน้ำที่แทรกซึมผ่านวัสดุต่อหน่วยพื้นที่ต่อ 1 หน่วยเวลา หน่วย $lb/h.ft^2$

ρ = ความหนาแน่นของไอน้ำ (Liquid dewnsity) หน่วย lb/ft^3

D_t = ค่าการแทรกซึมผ่านของไอน้ำ หน่วย ft^2/h

dy / dx = Moisture content Gradient หน่วย ft^{-1}

โดยที่ค่าการแทรกซึมผ่านของไอน้ำ (D_t) จะขึ้นอยู่กับค่าความจุความชื้น (Moisture content) ของวัสดุแต่ละชนิด

ผลกระทบจากความชื้นต่ออาคารและผู้ใช้อาคาร

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการใช้พลังงานในอาคาร เพราะความชื้นจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุและอุปกรณ์ของอาคาร การบำรุงรักษาอาคาร อายุการใช้งาน การเสื่อมสภาพของวัสดุ ซึ่งการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นดังกล่าว จะเกิดขึ้นตลอดเวลาทั้งที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า และที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งมักพบเห็นได้บ่อยในรูปของการเกิดเชื้อรา สีซีด การผุกร่อนของวัสดุก่อ การเกิดสนิมโลหะ การโก่ง

ตัวของวัสดุ รวมถึงความเสียหายจากการโก่งตัวของวัสดุ การเสื่อมสภาพความเป็นฉนวน การลดกำลังการรับแรงของวัสดุ เป็นต้น

นอกจากนี้ความชื้นยังมีผลต่อสภาวะน่าสบายและสุขภาพของผู้ใช้อาคารด้วย เนื่องจากความชื้นจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อรา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่สามารถแฝงตัวอยู่กับอากาศภายในอาคาร ทำให้เกิดกลิ่นอับชื้น ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร (Indoor Air Quality)

<u>เชื้อรา ไรฝุ่น และสุขภาพของผู้ใช้อาคาร</u> ความชื้นที่สะสมในอาคารเป็นสาเหตุของการเกิดเชื้อรา ไรฝุ่น ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการภูมิแพ้ต่างๆ เนื่องจากเชื้อราจะเจริญเติบโตได้เมื่อมีสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งเชื้อราส่วนมากสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 4 °C ส่วนไรฝุ่นสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงเกินกว่า 70% หากสามารถควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่า 50% ไรฝุ่นก็ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งนอกจากการควบคุมปริมาณความชื้นของอากาศภายในอาคารเพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อราและไรฝุ่นแล้ว ยังต้องควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของเฟอร์นิเจอร์และวัสดุตกแต่งภายในอาคาร ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตต่างๆเหล่านั้นด้วย ตัวอย่างเช่น หากมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกเฉลี่ยตลอดทั้งเดือนประมาณ 80% ดังนั้นจึงควรควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และพื้นผิวของวัสดุภายในอาคารอยู่ที่ระดับต่ำกว่า 70% ตลอดเวลา

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่ผิวของวัสดุ จะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ โดยเฉพาะคุณสมบัติความจุความชื้น (Moisture content) เพราะหากพื้นผิวของวัสดุมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง จะทำให้ค่าความจุความชื้นของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศสำหรับควบคุมปริมาณความชื้นภายในอาคารเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นสาเหตุของการหลุดร่อนของสีทาอาคาร การเกิดคราบบนผนัง การโก่งตัวของไม้ รวมถึงการเสียกำลังของโครงสร้างโดยเฉพาะโครงสร้างไม้ เนื่องจากภายในเนื้อไม้หากมีปริมาณความชื้นสูงจะทำให้เกิดการผุกร่อน นอกจากนี้การยึดโครงสร้างไม้ด้วยการใช้อุปกรณ์ เช่น ตะปู น็อต โลหะ หากมีปริมาณความชื้นที่พอเหมาะในบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อไม้กับอุปกรณ์ยึดเหล่านั้น จะทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำของความชื้นบริเวณนั้น เมื่อกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นเวลานาน ก็จะเกิดสนิมที่อุปกรณ์ยึดโครงสร้างดังกล่าว ซึ่งเป็นการลดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ยึด รวมถึงการลดกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างด้วย

<u>ผลกระทบจากความชื้นต่อคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อน</u> ความชื้นที่สะสมภายในเปลือกอาคาร เป็นสาเหตุสำคัญของการลดทอนประสิทธิภาพของความเป็นฉนวนของวัสดุ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ความจุความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาการใช้งาน รวมถึงสภาพแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในอาคาร

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่สามารถแทรกซึมผ่านวัสดุกับคุณสมบัติการเป็นฉนวนของวัสดุ จะเกิดการแปรผันตามช่องว่างในเนื้อฉนวน โดยเฉพาะฉนวนแบบเซลเปิด (Open cell) หรือประเภทเส้นใยธรรมชาติ เพราะความชื้นสามารถถ่ายเทผ่านฉนวนประเภทดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว

การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่เกิดจากการถ่ายเทความชื้น จะปรากฏในรูปแบบของความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง ซึ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความแตกต่างของความดันไอน้ำ (Vapor pressure) ที่ถ่ายเทจากบริเวณที่มีความดันไอน้ำสูงไปยังบริเวณที่มีความดันไอน้ำต่ำกว่า นอกจากนี้การระเหยของ

ความชื้นจากผนังด้านที่ร้อนหรือการดูดซับความชื้นของผนังด้านที่เย็น จะเพิ่มปริมาณความร้อนแฝงในการถ่ายเทความร้อนเข้ามาในอาคาร

พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนแบบเซลปิด (Close cell) เช่น ฉนวนโฟมจะเกิดผลแตกต่างกันออกไป เนื่องจากความชื้นไม่สามารถแทรกซึมผ่านฉนวนดังกล่าวได้ ทำให้ไม่มีการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำภายในเนื้อฉนวนเกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อความชื้นไม่สามารถถ่ายเทผ่านฉนวนเซลปิดได้จึงทำให้คุณสมบัติความเป็นฉนวนยังคงอยู่ ซึ่งฉนวนชนิดนี้จึงมีความเหมาะสมในการป้องกันความชื้นได้ดีกว่าฉนวนแบบเซลเปิด หรือประเภทเส้นใยธรรมชาติ

<u>ความชื้นที่สะสมในวัสดุ</u> วัสดุก่อสร้างส่วนมากเป็นวัสดุที่มีความพรุนในเนื้อวัสดุจำนวนมาก ซึ่งรูพรุนดังกล่าวเป็นเสมือนช่องว่างขนาดใหญ่ภายในผนัง ที่ความชื้นจากภายนอกอาคารสามารถแทรกซึมผ่านเข้ามาภายในอาคารได้โดยง่าย โดยปริมาณความชื้นที่สะสมภายในเนื้อวัสดุจะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม กล่าวคือ เมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น รูพรุนอากาศในวัสดุจะถูกแทนที่ด้วยความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาในเนื้อวัสดุ ทำให้วัสดุมีการดูดซับความชื้นไว้มากขึ้น ในทางตรงข้ามเมื่อสภาพแวดล้อมมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ลดลง วัสดุจะคายความชื้นที่สะสมไว้ออกมา ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์กับปริมาณความจุความชื้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้โดยกราฟที่เรียกว่า “Sorption Isotherm” แต่บางครั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณความจุความชื้นของวัสดุก็ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกตามที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากวัสดุบางชนิดพยายามรักษาระดับปริมาณความชื้นภายในเนื้อวัสดุไว้ จึงไม่มีการคายความชื้นออกมา

ปริมาณความชื้นที่เข้ามาสะสมในเนื้อวัสดุจะทำให้ค่าความจุความร้อนของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในการลดปริมาณความร้อนที่สะสมในมวลสารของวัสดุ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่ไม่สะสมความร้อนแและความชื้น จะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานในอาคารลงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 อิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน (รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ, 2543)

เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการเลือกตำแหน่งมวลสารและฉนวนในการทดสอบมีทั้งในสภาพปรับอากาศและสภาพไม่ปรับอากาศ โดยการวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางฉนวนและมวลสาร ในลำดับถัดมาคือการทดสอบพฤติกรรมการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการใช้งานในสภาพปรับอากาศและสภาพไม่ปรับอากาศ ในขั้นตอนสุดท้ายคือ การทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

ในขั้นตอนแรก ได้ทำการติดตั้งฉนวนด้านนอกแผ่นคอนกรีต กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต และด้านในแผ่นคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า ตำแหน่งฉนวนและมวลสารที่เหมาะสมคือ การใช้วัสดุฉนวนด้านนอกเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงจากสภาพอากาศภายนอกและใช้วัสดุมวลสารที่มีค่าความจุความร้อนไว้ด้านใน เพื่อหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ผ่านวัสดุฉนวนเข้ามา

ในขั้นตอนที่ 2 ผลจากการทดสอบการใช้งานในสภาพปรับอากาศและสภาพไม่ปรับอากาศ พบว่า ควรใช้การติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารด้านในทั้ง 2 กรณี อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังในการเลือกใช้มวลสารภายในของระบบปรับอากาศ เนื่องจากมวลสารปริมาณมากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมภายในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

ในขั้นตอนที่ 3 การทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อน พบว่าการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ส่งผลให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในเซลล์ทดสอบ โดยวัสดุที่เคลือบด้วยสีดำ ทำให้อุณหภูมิภายในสูงกว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่เคลือบด้วยสีขาว และวัสดุที่มีการบังแสงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในต่ำกว่าวัสดุที่ไม่มีการบังแสงอาทิตย์

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารภายในมีความเหมาะสมทั้งการใช้งานในสภาพปรับอากาศและสภาพไม่ปรับอากาศ อาคารที่ไม่ปรับอากาศควรใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารปริมาณมากภายในอาคาร เพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะน่าสบายในเวลากลางวัน อาคารที่ปรับอากาศควรใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารปริมาณน้อยภายในอาคาร เพื่อให้เครื่องปรับอากาศไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมภายในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

2.2.2 การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยระบบผนังที่มีช่องอากาศ: กรณีศึกษาอาคารในเขตร้อนชื้น (ประพันธ์ จงปติยัตต์, 2538)

เป็นการวิจัยเปรียบเทียบของระบบผนัง ที่มีช่องอากาศระหว่างแบบเปิดและแบบปิด โดยที่เลือกทำการทดสอบกับผนังมวลมาก (ผนังก่ออิฐฉาบปูน) และผนังมวลสารน้อย (ผนังโฟม) รวมทั้งผนังซีเมนต์แผ่นเรียบ (วัสดุ 2 ชนิดหลังเป็นวัสดุที่มีความจุความร้อนต่ำ) แบ่งผนังทดสอบเป็น 5 ตัวอย่างดังนี้

1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน
2. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ช่องว่างอากาศ + ผนังก่ออิฐฉาบปูน
3. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ช่องว่างอากาศ + โฟม

4. โฟม + ช่องว่างอากาศ + ผนังก่ออิฐฉาบปูน
5. ผนังซีเมนต์แผ่นเรียบ + ช่องว่างอากาศ + โฟม

จากการวิจัยพบว่า

- ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด สามารถระบายความร้อนภายในช่องอากาศและมีประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อน ดีกว่าระบบผนังที่มีช่องอากาศแบบปิด
- ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด (อาคารที่ไม่ปรับอากาศในช่วงอุณหภูมิสูงสุดของวัน) ผนังชั้นในเป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารต่ำกว่าภายนอกมากกว่าที่ผนังชั้นในเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อย
- ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด (อาคารปรับอากาศ) สามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนได้ดี ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในช่องว่างอากาศ และความสามารถในการกันความร้อนของผนังด้านใน
- ระบบผนังอาคารที่มีช่องอากาศแบบเปิด สามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ได้แก่ ผนังภายนอกเป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก และผนังภายในเป็นวัสดุมวลสารน้อย สามารถลดปริมาณความร้อนเฉลี่ยต่อวันได้ดี ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว ทั่วไปได้ถึงประมาณ 12.5 เท่า

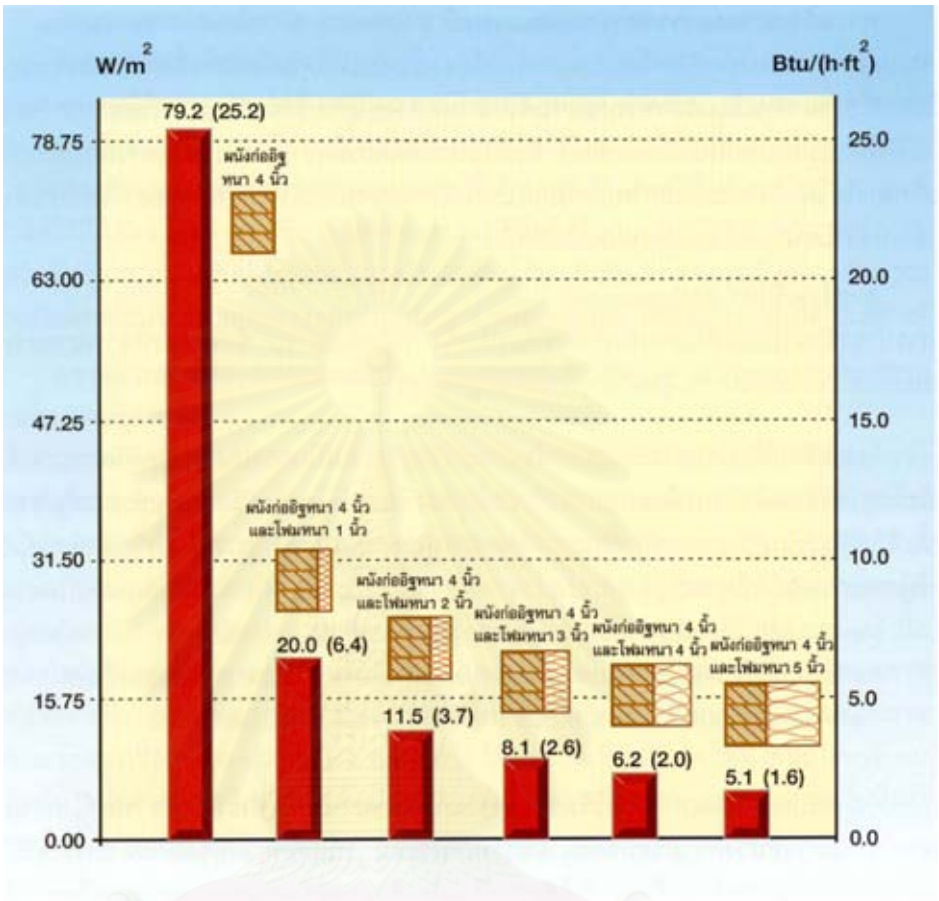
2.2.3 การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน: กรณีศึกษาอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (สิทธชัย วุฒิวรวงศ์, 2539)

เป็นการวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อประเมินประสิทธิภาพและคุณสมบัติของฉนวนที่เหมาะสม เพื่อนำมาปรับปรุงอาคารในจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในการลดการถ่ายเทความร้อน และเป็นการลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศในอาคาร ช่วยประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าลงได้

ในการวิจัยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนแรก ศึกษาทางด้านกายภาพของผนังอาคารจริง 4 อาคาร (เป็นอาคารในจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย) ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนที่ใช้กับผนังก่ออิฐฉาบปูน 8 แบบ โดยเน้นไปที่การศึกษาความหนาของฉนวนกันความร้อนที่ต่างกัน คือ 1, 2 และ 3 นิ้ว นำมาประกอบทั้งภายในและภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน

ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว ที่วัดได้จริงจากอาคารมีค่ามากกว่าการคำนวณ และค่าสัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพฉนวน 8 แบบ กับผนังก่ออิฐฉาบปูน พบว่าสัดส่วนค่าความต้านทานความร้อนที่เพิ่มขึ้น ไม่ได้เป็นสัดส่วนเดียวกับปริมาณความร้อนที่ลดลง โดยที่ฉนวนกันความร้อนที่หนา 1 นิ้ว ทำให้ปริมาณความร้อนลดลง 50% ฉนวนกันความร้อนที่หนา 2 กับ 3 นิ้ว ทำให้ปริมาณความร้อนลดลง 60% กับ 62% ตามลำดับ มีระยะเวลาในการคืนทุนใกล้เคียงกัน (ที่อัตราค่าไฟฟ้าแบบใหม่มีการคืนทุนเร็วขึ้น 70%) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนหนา 2 นิ้วกับ 3 นิ้ว ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน เพื่ออนุรักษ์พลังงาน ค่าความต้านทานความร้อน 8 Hr.Sq.ft.^{o}F / Btu. ติดตั้งภายนอกอาคารจะเหมาะสมกว่า

2.2.4 **การวิจัยเกี่ยวกับอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้วทั่วไป และเมื่อมีการเพิ่มฉนวนโฟมโพลีสไตรีนที่ความหนาต่าง ๆกันตั้งแต่ 1-5 นิ้ว** (สุนทร บุญญาธิการ, 2542)



แผนภูมิที่ 2-2 *แสดงอัตราความร้อนที่ผ่านเข้าสู่อาคารเปรียบเทียบระหว่างผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้วทั่วไป และเมื่อมีการเพิ่มฉนวนโฟมโพลีสไตรีนที่ความหนาต่างๆ กันตั้งแต่ 1-5 นิ้ว*
(ที่มา : เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า, 2542)

จากการวิจัยพบว่า การเพิ่มฉนวนโฟมเข้าไปในระบบผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้ว ของอากาศทั่วไปนั้นจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งหมายถึงสามารถลดอัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารได้มากที่สุดที่ความหนา 1 นิ้วแรกของฉนวน เพราะจะลดอัตราความร้อนเข้าสู่อาคารได้มากถึงประมาณ 75% แสดงว่า ค่าความต้านทานความร้อนของผนังที่มีการใส่ฉนวนเพิ่มเข้าไปนั้น ไม่ได้เป็นอัตราส่วนที่แปรผันโดยตรงกับอัตราความร้อนที่เข้าสู่อาคาร ดังนั้นการเพิ่มปริมาณฉนวนมากเกินไปจึงอาจไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

2.2.5 **การวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของสีผนังที่มีต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนัง** (Givoni, 1994)

จากผลการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของสีผนังที่มีต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนัง (Givoni, 1994) ทำการทดสอบที่ Haifa, Israel ได้ใช้ผนังทดสอบคือ ผนังคอนกรีต และผนังคอนกรีตมวลเบา หนา 12 และ

22 ซม. ในขั้นแรกทาสีเทากับผนังทดสอบทั้ง 4 ผนัง พบว่าผนังทดสอบสีเทามีค่าอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกประมาณ 4.5°C

หลังจากนั้น ทาสีขาวกับผนังทดสอบทั้ง 4 ผนัง พบว่าผนังทดสอบสีขาวมีค่าอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกประมาณ 1.1°C

จากผลการทดลองพอจะสรุปเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยได้ว่า ความเข้มและความอ่อนของสีผนัง มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน และสามารถพิจารณาความเข้มและความอ่อนของสี ได้จากอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์(Solar Absorptance หรือ α) กับค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีความร้อน (Longwave Emittance หรือ Σ) ได้ดังนี้

ถ้าสีที่มีค่า α / Σ ต่ำกว่า 1 หมายถึง สีนั้นจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนน้อยกว่าค่าการคายความร้อนและเป็นสีอ่อน

ถ้าสีที่มีค่า α / Σ สูงกว่า 1 หมายถึง สีนั้นจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนมากกว่าค่าการคายความร้อนและเป็นสีเข้ม

ถ้าสีที่มีค่า α / Σ เท่ากับ 1 หมายถึง สีนั้นจะมีค่าการดูดกลืนความร้อนเท่ากับค่าการคายความร้อนและเป็นสีที่เป็นกลาง คือไม่อ่อนหรือเข้มจนเกินไป

2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.3.1 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคารเพื่อแสดงให้เห็นถึงปริมาณ หรือจำนวนของวัสดุ หรือองค์ประกอบของอาคารที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่สุดกับเงินที่ลงทุน การออกแบบอาคารให้ประหยัดพลังงานไม่ใช่เรื่องยาก เพราะด้วยวัสดุและเทคโนโลยีอาคารใหม่ๆ ที่มีให้เลือกใช้มากมาย ล้วนเอื้อให้อาคารสามารถประหยัดพลังงานได้ เมื่อนำไปใช้ หรือประกอบในอาคาร แต่ปัญหาอยู่ที่ว่า สถาปนิกจะเลือกใช้วัสดุหรือระบบใด จึงจะพอเหมาะและคุ้มค่าที่สุด การเลือกใช้วัสดุหรือระบบประกอบอาคารที่ช่วยประหยัดพลังงาน หรือที่เรียกว่า “Energy Strategy” นั้น อันที่จริงจะต้องทำการศึกษาวิเคราะห์ทางเลือกหลายๆแบบ ด้วยวิธีการคำนวนบ้าง ทดลองด้วยหุ่นจำลองในห้องปฏิบัติการด้านพลังงานบ้าง หรือจำลองสภาพอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน แล้วทำการวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน เพื่อคัดสรรทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในที่สุดปัญหาก็กลับมาเกี่ยวข้องกับเรื่องงบประมาณคือ เราควรจะใช้ทางเลือกนั้นๆ ปริมาณเท่าใด จึงจะคุ้มค่ากับการลงทุนที่สุด เพื่อตอบปัญหาดังกล่าว จึงเกิดศาสตร์การเรียนรู้แขนงหนึ่ง ที่เรียกว่า “Building energy optimization” ซึ่งใช้ความรู้ด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร (Building economic) เพื่อวิเคราะปัญหาดังกล่าว

2.3.2 ค่าใช้จ่ายโดยรวมตลอดอายุการใช้งาน

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีความสำคัญยิ่งกับการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร นั่นคือ Life-Cycle Cost (LCC) ก็คือค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของอาคาร ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้ประกอบด้วย

- เงินลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost, First Cost) ได้แก่เงินลงทุนที่ใช้ก่อสร้างอาคาร ในกรณีวิเคราะห์อาคารทั้งหลัง หรือเงินลงทุนที่ใช้ซื้อ และติดตั้งวัสดุ หรือระบบประกอบอาคาร (Energy Strategy) ที่ถูกศึกษาวิเคราะห์

- ค่าใช้จ่ายในการใช้อาคาร (Operating Costs) ส่วนใหญ่จะเป็นค่าใช้จ่าย ที่เกิดจากการใช้พลังงาน หรือสาธารณูปโภคในอาคาร ได้แก่ ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา ค่าน้ำมัน เป็นต้น

- ค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาอาคาร (Repair and Maintenance)

- ค่าเปลี่ยนอุปกรณ์และวัสดุประกอบอาคาร (Amortization or Replacement Cost) โดยทั่วไป มักจะไม่ค่อยนำค่าใช้จ่ายรายการนี้ มาใช้ในการคำนวนหา LCC

ด้วยสาเหตุที่เราต้องคำนวนหรือรวบรวมค่าใช้จ่ายต่างๆ ตามที่กล่าวข้างต้นตลอดอายุการใช้งานของอาคาร หรือเฉพาะของระบบประกอบอาคารที่ต้องการศึกษา จึงมีทั้งค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ณ วันที่ทำการคำนวน ได้แก่ เงินลงทุนเริ่มต้น และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเป็นรายปี (หรือรายเดือน) ได้แก่ ค่าพลังงานและสาธารณูปโภคต่างๆ รวมทั้งค่าซ่อมแซม บำรุงรักษา ระบบประกอบอาคารและวัสดุอาคาร ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เราประมาณการว่า จะเกิดขึ้นในอนาคตเป็นจำนวนเท่าๆ กันทุกปี ที่เราเรียกว่า “Annual cost” ตามหลักทางเศรษฐศาสตร์แล้ว เราไม่สามารถนำค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน รวมเข้าโดยตรงกับค่าใช้จ่ายประจำปี (Annual cost) ได้ เนื่องจากคงเคยได้ยินที่เขาพูดกันว่า “เงิน 10 บาทในวันนี้ กับเงิน 10 บาท อีก 10 ปีข้างหน้า มีค่าไม่เท่ากัน” หรือจากประสบการณ์ที่ผ่านมา เราคงเข้าใจว่า เมื่อ 10-20 ปีก่อน เงิน 100 บาท สามารถซื้อของได้มากกว่า 100 บาทในปัจจุบัน ฉะนั้นจึงเกิดศัพท์ทางเศรษฐศาสตร์อีก 2 ตัวคือ

- Present Worth (P) หมายถึง ค่าของเงินในปัจจุบัน หรือความหมายทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร คือ เงินจำนวนหนึ่งซึ่งลงทุนในวันนี้ ที่อัตราดอกเบี้ย i% เพื่อเป็นเจ้าของและเป็นค่าใช้จ่ายในการใช้อาคารตลอดอายุของอาคารนั้นๆ
- Future Value (F) หมายถึง ค่าของเงินจำนวนเดียวกันในอนาคต
- Annual Cost (A) คือ ค่าใช้จ่ายเป็นรายปี (หรือรายงวด) จำนวนเท่าๆ กัน เพื่อเป็นเจ้าของ และเป็นค่าใช้จ่ายในการใช้อาคารตลอดอายุอาคาร n ปี ที่อัตราดอกเบี้ย i%

แนวความคิดเกี่ยวกับเรื่องค่าของเงินในปัจจุบัน (P) เงินค่าใช้จ่ายรายปี (A) และเงินในอนาคต (F) เป็นหัวใจสำคัญในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์อาคาร กล่าวคือ เราจะต้องแปลงเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายทุกส่วนให้มีค่าอยู่ในห้วงเวลาเดียวกัน จึงจะนำมารวมกันได้ โดย

$$PWIF = (1+r) * \{1 - [(1+r)/(1+r)]^{n}\} / (i-r)$$

เมื่อ n = ระยะเวลาเป็นปี

i = อัตราดอกเบี้ย (%)

r = อัตราการขึ้นราคาค่าพลังงาน (%)

หมายเหตุ การแทนค่า i และ r ในสมการ จะต้องแทนค่าเป็นจำนวนทศนิยม เช่น i = 3% และ r = 12% ต้องแทนค่าด้วย 0.03 และ 0.12 ตามลำดับ

2.3.3 การคำนวนระยะเวลาคืนทุน

หลักเกณฑ์การคิดคำนวณระยะเวลาคืนทุนควรใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ จะได้ค่าที่ละเอียด แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเราสามารถศึกษาการคำนวณระยะเวลาการคืนทุนอย่างง่าย โดยพิจารณาจากการคำนวณเปรียบเทียบหามูลค่า พลังงานไฟฟ้าที่ไดเพื่อหาการคืนทุนตามขั้นตอน ดังนี้

- หาค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงที่ใช้งานของผนังที่ใช้งานในอาคารแต่ละประเภท นำมาคิดมูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการขจัดปริมาณความร้อน ในหน่วย Btu/hr Sq.ft. หรือ W/Sm.
- นำค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมาแปลงค่าเป็น [จาก COP = 2.51 = out put (Q) / in put]

สำหรับเครื่องปรับอากาศทั่วไปที่ใช้ในประเทศไทยใช้มาตราฐานความสามารถของเครื่องปรับอากาศที่ 1.4 KW / Ton นั่นคือการลดความร้อนที่เกิดขึ้น 12000 Btu.hr. จะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 1.4 KW. Hr. หรือ 4776 Btu.hr. (1.4 x 3.412 = 4776 Btu.)

ประสิทธิภาพของพลังงานที่ใช้จริง (Coefficient of Performance: COP)

จาก COP = out put (Q) / in put

โดย out put = พลังงานที่ได้จากภาระการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน

in put = พลังงานที่ใช้ในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ 1 ตัน เท่ากับ 1.4 KW. Hr. หรือ 4776 Btu.hr.

COP = out put (Q) / in put = 12000 / 4776 = 2.51

$$\text{พลังงานที่ใช้ในการปรับอากาศ} = \frac{\text{ปริมาณความร้อนที่ต้องการขจัดออก}}{2.51}$$

โดยต้องนำปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นทุกๆ 1 ชั่วโมงในช่วงการใช้งาน มาคิดคำนวณ หน่วยที่ได้ (WH/Sm/Day)

- หาอัตราพลังงานที่ลดลง โดยการหักลบจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้กับผนังก่ออิฐฉาบปูน ในหน่วย 1000 Watt จะได้ KWH/Sm/Day
- หาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 ปี (30 วัน X 12 เดือน) หน่วย KWH/Year
- หาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (หน่วย Bath / KWH / Year) โดยคิดจากอัตราค่าไฟต่อหนึ่งหน่วย (1 หน่วย = 1 Kw.hr หรือ 3412 Btu.hr)

ดังนั้นมูลค่าของพลังงาน $= \frac{\text{Energy (Btu/hr.Sq.ft.) X อัตราค่าไฟต่อหน่วย}}{3412}$ หรือ

$=$ Energy (W/Sm) X อัตราค่าไฟต่อหน่วย

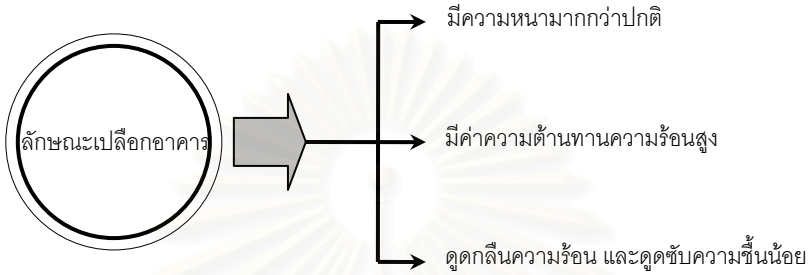
- คิดระยะเวลาในการคืนทุนจาก

$$\text{Payback Period / ปี} = \text{ราคาติดตั้งฉนวน / มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี}$$

2.4 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้สามารถวิเคราะห์ถึงรูปแบบผนังต่างๆ ที่จะทำการปรับปรุงโดยการผสมผสานวัสดุที่มีความเหมาะสมเข้าด้วยกัน หรือเข้ากับผนังอาคารเดิม ซึ่งสามารถแบ่งการปรับปรุงตามประเภทของอาคาร โดยแบ่งตามลักษณะของการปรับอากาศภายในดังนี้

1. อาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร



2. อาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร

ประเภทอาคาร	ลักษณะเปลือกอาคาร	หมายเหตุ
1. อาคารที่เปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา	- มีค่าความต้านทานสูง	ลดปริมาณความร้อน
2. อาคารที่เปิดและปิดเครื่องปรับอากาศระยะยาว	- มวลสารไว้ด้านนอก	เพิ่มการหน่วงเวลา
	- ฉนวนไว้ด้านใน	ลดปริมาณความร้อน
	- ใช้ช่องว่างอากาศ	เพิ่มค่าความต้านทาน
3. อาคารที่เปิดและปิดเครื่องปรับอากาศระยะสั้น	- มวลสารน้อย	ลดการสะสมความร้อน
	- มีการติดตั้งฉนวน	ลดปริมาณความร้อน

ตารางที่ 2-2 แสดงลักษณะของเปลือกอาคาร ในกรณีปรับอากาศ

จากลักษณะของเปลือกอาคารที่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร จะเห็นได้ว่า การนำเอาวัสดุฉนวนกันความร้อน ,มวลสารและช่องว่างอากาศ มาผสมผสานกัน เป็นแนวทางที่ช่วยลดปริมาณความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบและการจัดวางตำแหน่งของวัสดุทั้ง 3 ให้เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภท

ในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม นอกจากการผสมผสานและการจัดวางรูปแบบของวัสดุทั้ง 3 ชนิดแล้ว ยังต้องคำนึงถึงเรื่อง พื้นที่ใช้สอยหลังทำการปรับปรุง, พระราชบัญญัติหรือกฎหมายควบคุมอาคารที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเรื่องของความสวยงามและการคงรูปแบบของสถาปัตยกรรมเดิมไว้

ดังนั้นในการวิจัยการปรับปรุงผนังอาคารเดิม จึงควรเสนอทางเลือกที่เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภท เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจก่อนทำการปรับปรุง

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัย แนวทางในการปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิของผนังอาคารเดิมกับวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง โดยมีระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการศึกษาโครงการแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหลักการและวิธีการเพื่อสร้างแนวทางในการออกแบบปรับปรุงผนังอาคารเดิม
- ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์
- ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบรูปแบบผนังที่ทำการปรับปรุง
- ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ
- ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหลักการและวิธีการเพื่อสร้างแนวทางในการออกแบบปรับปรุงผนังอาคารเดิม

การปรับปรุงผนังอาคารเดิม เพื่อลดปริมาณความร้อนและความชื้นที่เข้าสู่อาคาร โดยการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวและการป้องกันความชื้น สามารถทำได้โดยอาศัยหลักการใช้อิทธิพลจากมวลสารผสมผสานกับการใช้วัสดุฉนวนกันความร้อน โดย

1. การใช้อิทธิพลจากมวลสาร
    - เพื่อหน่วงเหนี่ยวความร้อน เป็นการยืดระยะเวลาของปริมาณความร้อนให้เข้ามาช้ากว่าช่วง Peak ของอุณหภูมิอากาศภายนอก
    - ทำให้ปริมาณความร้อนเข้ามาในอาคารน้อยลง คือการหน่วงเวลาจนอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิภายในผนัง ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน 2 ทาง
2. การใช้วัสดุฉนวนกันความร้อน
    - เพื่อเพิ่มค่าความต้านทานให้กับผนังอาคารเดิม
    - เพื่อป้องกันและลดปริมาณความร้อนให้เข้าสู่อาคารน้อยลง
    - เพื่อป้องกันและลดปริมาณความชื้นให้เข้าสู่อาคารน้อยลง

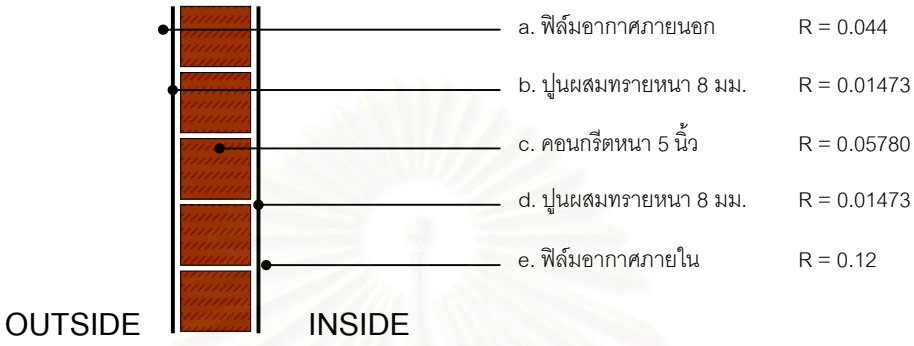
ผนังอาคารเดิมที่เป็นที่นิยมในการก่อสร้าง สามารถแบ่งตามมวลสารและความหนาแน่นออกเป็น 2 ประเภท คือ ผนังที่มีมวลสารมาก (ผนังก่ออิฐฉาบปูน) และผนังที่มีมวลสารน้อย (ผนังมวลเบา) ซึ่งผนังทั้ง 2 ชนิด มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันดังนี้

ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุ

มวลสารของวัสดุ	**ความหนาแน่น** (lb/ft^3)	**วัสดุที่เลือกเป็นตัวแทน**
มวลสารมาก	ตั้งแต่ 70	อิฐก่อ มีความหนาแน่น 117 lb/ft^3
มวลสารน้อย	ต่ำกว่า 70	วัสดุก่อมวลเบา มีความหนาแน่น 37.5 lb/ft^3

หมายเหตุ วัสดุที่เลือกเป็นตัวแทนของวัสดุที่มีความนิยมใช้สำหรับการทำผนังอาคารที่มีอยู่เดิมทั้งในอดีต ปัจจุบัน และมีแนวโน้มจะใช้ต่อไปในอนาคต

1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน เป็นตัวแทนของผนังที่มีมวลสารมาก



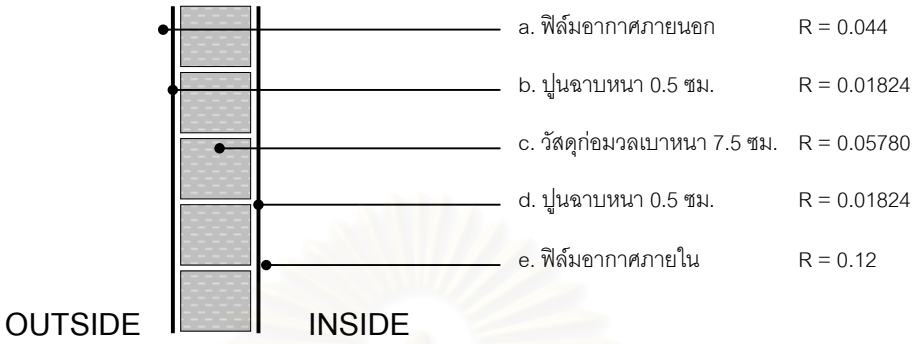
ตารางที่ 3-2 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำผนังก่ออิฐฉาบปูน

วัสดุ	x / k	R (m^2.C/W)	p (kg/m^3)	specific heat (kcal/kg C)	หมายเหตุ
a. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	-	-	ในกรณีที่ผิวด้านนอกมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
b. ปูนผสมทรายหนา 8 มม.	0.008/0.543	0.01473	1568	0.20	-
c. อิฐมอญ 7 ซม.	0.07/1.211	0.05780	1872	0.19	-
d. ปูนผสมทรายหนา 8 มม.	0.008/0.543	0.01473	1568	0.20	-
e. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.12	-	-	ในกรณีที่ผิวด้านในมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปี 2536 และ Mechanical and Electrical Equipment for Building , 8th Edition.

ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ΣR)	0.25126	m^2C/W
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	3.97990	W/m^2C
ค่าความจุความร้อนรวม (C)	29.90	$kcal/m^2C$
มวลของผนัง (W)	156.12	kg/m^2

2. <u>ผนังมวลเบา</u> เป็นตัวแทนของผนังที่มีมวลสารน้อย



ตารางที่ 3-3 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทำผนังมวลเบา

วัสดุ	x / k	R (Sm.C/W)	p (kg/m)	specific heat (kcal/kg C)	**หมายเหตุ**
a. ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.044	-	-	ในกรณีที่ผิวด้านนอกมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
b. ปูนฉาบน้ำหนักขนาดกลางหนา 0.5 ซม.	0.005/0.274	0.01824	1104	0.18	-
c. วัสดุก่อมวลเบาหนา 7.5 ซม.	0.075/0.089	0.84269	600	0.19	-
d. ปูนฉาบน้ำหนักขนาดกลางหนา 0.5 ซม.	0.005/0.274	0.01824	1104	0.18	-
e. ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.12	-	-	ในกรณีที่ผิวด้านในมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง

ที่มา : คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคารปี 2536 และ Mechanical and Electrical Equipment for Building , 8th Edition.

ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum$R)	1.04318	m^2C/W
ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.95860	W/m^2C
ค่าความจุความร้อนรวม (C)	10.53	$kcal/m^2C$
มวลของผนัง (W)	56.04	kg/m^2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

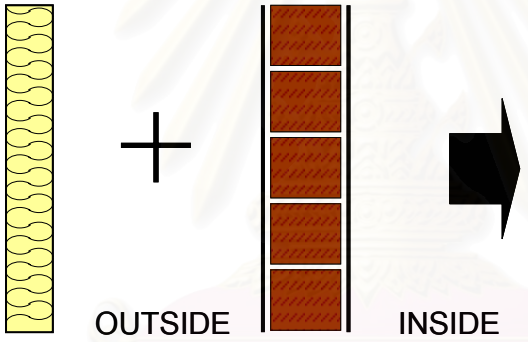
เมื่อทำการศึกษาผนังอาคารที่มีอยู่เดิมร่วมกับหลักการปรับปรุงโดยใช้วัสดุฉนวนกันความร้อน ทำให้ทราบแนวทางในการกำหนดรูปแบบผนัง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะจากการติดตั้งฉนวนกันความร้อนกับผนังอาคารที่มีอยู่เดิม ดังนี้

1. การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกผนังอาคารเดิม
2. การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในผนังอาคารเดิม

<u>การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกของผนังอาคารเดิม</u>

ทำการศึกษาโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกผนังอาคารเดิมทั้ง 2 ชนิด (ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังมวลเบา) และเพิ่มความหนาของฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 1 – 5 นิ้ว เพื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นทั้งภายในและภายนอกอาคารหลังทำการปรับปรุง หลังจากนั้นทำการศึกษาหาความหนาของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการคำนวนระยะเวลาคืนทุน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนที่มีความหนาที่เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภท

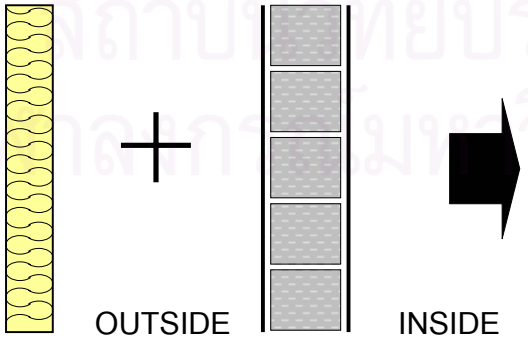
- ผนังก่ออิฐฉาบปูน



เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นทั้งก่อนและหลังทำการปรับปรุง พร้อมทั้งพิจารณาค่าความหนาของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม จากระยะเวลาในการคืนทุน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนให้เหมาะกับแต่ละประเภทของอาคาร

ฉนวนกันความร้อนหนา 1-5 นิ้ว
(ติดตั้งภายนอก)

- ผนังมวลเบา



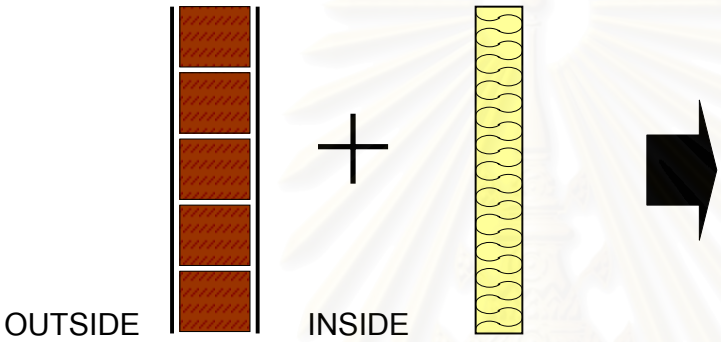
เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นทั้งก่อนและหลังทำการปรับปรุง พร้อมทั้งพิจารณาค่าความหนาของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม จากระยะเวลาในการคืนทุน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนให้เหมาะกับแต่ละประเภทของอาคาร

ฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว
(ติดตั้งภายนอก)

<u>การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในของผนังอาคารเดิม</u>

ทำการศึกษาโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในผนังอาคารเดิมทั้ง 2 ชนิด (ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังมวลเบา) และเพิ่มความหนาของฉนวนกันความร้อนตั้งแต่ 1 – 5 นิ้ว เพื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นทั้งภายในและภายนอกอาคารหลังทำการปรับปรุง หลังจากนั้นทำการศึกษาหาความหนาของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการคำนวนระยะเวลาคืนทุน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนที่มีความหนาที่เหมาะสมกับอาคารแต่ละประเภท

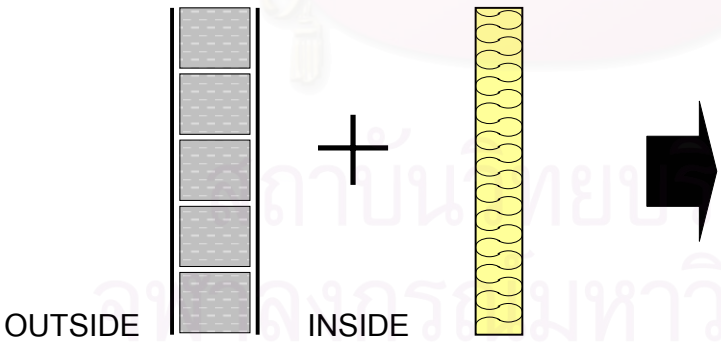
- ผนังก่ออิฐฉาบปูน



ฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว
(ติดตั้งภายใน)

เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นทั้งก่อนและหลังทำการปรับปรุง พร้อมทั้งพิจารณาค่าความหนาของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม จากระยะเวลาในการคืนทุน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนให้เหมาะกับแต่ละประเภทของอาคาร

- ผนังมวลเบา



ฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว
(ติดตั้งภายใน)

เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นทั้งก่อนและหลังทำการปรับปรุง พร้อมทั้งพิจารณาค่าความหนาของฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม จากระยะเวลาในการคืนทุน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ฉนวนให้เหมาะกับแต่ละประเภทของอาคาร

หลังจากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนของการปรับปรุงผนังโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอก ทำให้สามารถสรุปผลออกมาในรูปของดัชนี เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ให้เหมาะกับแต่ละประเภทของอาคาร

ตารางที่3-4 สรุปคุณสมบัติของวัสดุทั้งก่อนและหลังทำการปรับปรุง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางดังนี้

รูปแบบผนัง	R-Value	ราคาในการติดตั้งฉนวน
ผนังก่ออิฐฉาบปูน	1.43	
<u>ฉนวนโฟมติดตั้งภายใน</u>		
1. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนโฟม 1 นิ้ว ภายใน	5.75	213
2. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนโฟม 2 นิ้ว ภายใน	9.75	253
3. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนโฟม 3 นิ้ว ภายใน	13.75	293
4. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนโฟม 4 นิ้ว ภายใน	17.75	333
5. ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนโฟม 5 นิ้ว ภายใน	21.75	373
<u>ฉนวนโฟมติดตั้งภายนอก</u>		
1. ฉนวนโฟม 1 นิ้ว ภายนอก + ผนังก่ออิฐฉาบปูน	5.82	451
2. ฉนวนโฟม 2 นิ้ว ภายนอก + ผนังก่ออิฐฉาบปูน	9.82	491
3. ฉนวนโฟม 3 นิ้ว ภายนอก + ผนังก่ออิฐฉาบปูน	13.82	531
4. ฉนวนโฟม 4 นิ้ว ภายนอก + ผนังก่ออิฐฉาบปูน	17.82	571
5. ฉนวนโฟม 5 นิ้ว ภายนอก + ผนังก่ออิฐฉาบปูน	21.82	611
ผนังมวลเบา	5.92	
<u>ฉนวนโฟมติดตั้งภายใน</u>		
1. ผนังมวลเบา + ฉนวนโฟม 1 นิ้ว ภายใน	10.24	213
2. ผนังมวลเบา + ฉนวนโฟม 2 นิ้ว ภายใน	14.24	253
3. ผนังมวลเบา + ฉนวนโฟม 3 นิ้ว ภายใน	18.24	293
4. ผนังมวลเบา + ฉนวนโฟม 4 นิ้ว ภายใน	22.24	333
5. ผนังมวลเบา + ฉนวนโฟม 5 นิ้ว ภายใน	26.24	373
<u>ฉนวนโฟมติดตั้งภายนอก</u>		
1. ฉนวนโฟม 1 นิ้ว ภายนอก + ผนังมวลเบา	10.31	451
2. ฉนวนโฟม 2 นิ้ว ภายนอก + ผนังมวลเบา	14.31	491
3. ฉนวนโฟม 3 นิ้ว ภายนอก + ผนังมวลเบา	18.31	531
4. ฉนวนโฟม 4 นิ้ว ภายนอก + ผนังมวลเบา	22.31	571
5. ฉนวนโฟม 5 นิ้ว ภายนอก + ผนังมวลเบา	26.31	611

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบเครื่องมือและอุปกรณ์

การตั้งมาตรฐานเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่า เครื่องมือทั้งหมดที่มีอยู่สามารถอ่านค่าได้เท่าเทียมกันภายใต้เงื่อนไขและสภาพแวดล้อมเดียวกัน การตั้งมาตรฐานเครื่องมือจะช่วยให้สามารถนำค่าที่วัดมาเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่

- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- เครื่องมือวัดความชื้น
- เซลควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการทดสอบ
- อาคารปรับอากาศ

1. <u>เครื่องมือวัดอุณหภูมิ</u>

เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ เครื่อง System 200 เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภท Analog/Digital Converter เครื่องมือนี้จะแปลงค่าความต้านทานจากหัวเซนเซอร์ซึ่งเป็นหัว เทอร์มิสเตอร์ขนาด 10 kilo-Ohms กลับมาเป็นค่าอุณหภูมิด้วยโปรแกรมภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อเข้ากับ System 200 ในการใช้งานจึงจำเป็นต้องตั้งมาตรฐานหัวเซนเซอร์ที่จะใช้วัดอุณหภูมิทุกแชนแนลให้สามารถอ่านค่าได้เท่าเทียมกัน

ภาพที่ 3-1 แสดงเครื่อง Data Logger

จำนวนหัวเซนเซอร์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 48 หัว โดยใช้วัดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ภายในเซลทดลอง ดังนั้นในการทดสอบจึงต้องตั้งหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 ให้สามารถอ่านค่าได้เท่าเทียมกันภายใต้สภาวะเดียวกัน

การตั้งหัวเทอร์มิสเตอร์ทำได้โดยการนำหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงแล้วทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกันภายหลังโดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 แช่น้ำร้อนและเก็บค่าอุณหภูมิจนกว่าน้ำร้อนจะกลับเข้าสู่อุณหภูมิห้อง
- นำค่าอุณหภูมิที่อ่านได้มา Plot กราฟ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ในแต่ละช่วงเวลาว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

- ถ้าค่าที่ได้จากการทดสอบทางสถิติมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ให้ถือว่าหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 อ่านค่าอุณหภูมิได้เท่าเทียมกัน แต่ถ้าค่าที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญให้ปรับแก้ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Regression) เพื่อปรับค่าที่อ่านได้ให้ใกล้เคียงกัน

2. <u>เครื่องมือวัดความชื้น</u>

- เครื่องมือวัดความชื้นอากาศ

การหาค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นในอากาศ ใช้เครื่อง HOBO รุ่น RH Temp 2 x External ของบริษัท E for M International Company Limited เป็นเครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิในตัวเดียวกัน ซึ่งการวัดค่าจะแสดงผลออกมาเป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity : RH) และค่าอุณหภูมิ (^{o}F และ ^{o}C)

ภาพที่ 3-2 แสดงเครื่องมือวัดความชื้นอากาศ

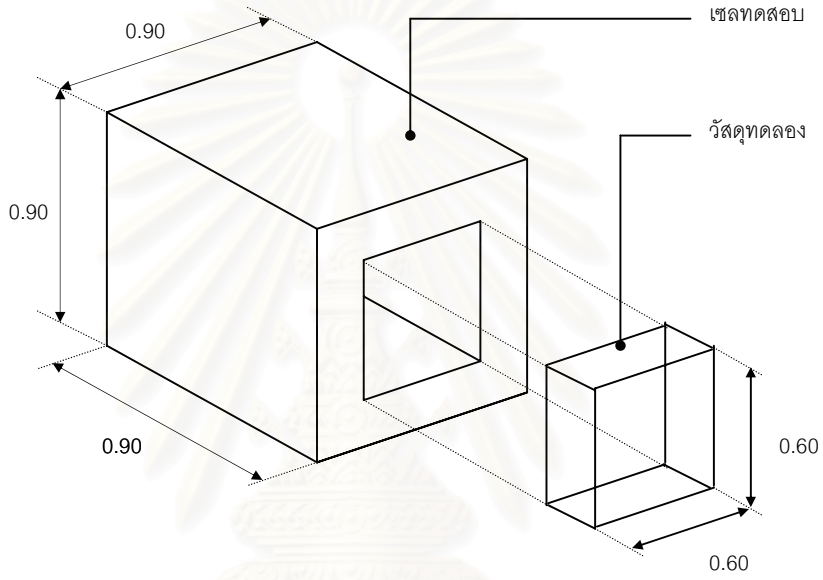
- เครื่องมือวัดความชื้นที่ผิววัสดุ

เครื่องมือวัดความชื้นที่ผิววัสดุ Humitest รุ่น MC-100S wood-/Building material ของบริษัท Exotek ใช้วัดความชื้นที่ผิวและภายในเนื้อวัสดุ โดยสามารถเลือกใช้งานได้ใน Mode ต่างๆที่มีอยู่ในเครื่อง

ภาพที่ 3-3 แสดงเครื่องมือวัดความชื้นที่ผิววัสดุ

3. <u>เซลควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการทดสอบ</u>

เซลทดลองที่สร้างด้วยวัสดุฉนวน 4 ด้าน และเปิดผนังเซล 2 ด้าน ด้านหนึ่งสำหรับเปลี่ยนใส่วัสดุทดสอบ อีกด้านหนึ่งเปิดเชื่อมต่อกับอาคารปรับอากาศ ซึ่งการสร้างเซลด้วยวัสดุฉนวนเพื่อที่จะควบคุมสภาพภายในเซลไม่ให้ได้รับผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเซล ทำให้ไม่สามารถประเมินค่าอุณหภูมิที่ถูกต้องได้ ลักษณะของเซลจะเป็นเซลลูกบาศก์ ขนาดภายนอก 0.90*0.90*0.90 เมตร สร้างด้วยโฟมโพลีสไตรีนความหนา 6 นิ้ว เปิดผนังด้านหนึ่งขนาดหน้าตัด 0.60*0.60 เมตร สำหรับใส่วัสดุทดลอง



ภาพที่ 3-4 แสดงเซลควบคุมสภาพแวดล้อม

เซลทดลองที่สร้างขึ้นจำเป็นต้องมีคุณสมบัติในการควบคุมอุณหภูมิภายในให้เท่าเทียมกันเช่นเดียวกับการอ่านค่าอุณหภูมิของหัวเซนเซอร์ เพื่อที่จะทำให้สามารถเปรียบเทียบวัสดุทดลองได้อย่างถูกต้อง ในการทดลองครั้งนี้จึงได้สร้างเซลควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยวิธีการและวัสดุชนิดเดียวกันทั้งหมด เพื่อที่จะทำให้เซลมีความสามารถในการควบคุมสภาพแวดล้อมได้ใกล้เคียงกันที่สุด จึงทำการทดสอบเซลทดลองด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- นำหัวเซนเซอร์ที่ได้มีการทดสอบแล้วว่ามีความสามารถในการวัดอุณหภูมิได้เท่าเทียมกันใส่ไว้ภายในกึ่งกลางเซลทั้งหมด
- ปิดด้านวัสดุทดสอบด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน ซึ่งในที่นี้ใช้โฟมโพลีสไตรีนขนาด 1 นิ้ว เพื่อที่จะทำให้อุณหภุมิภายในเซลอยู่ในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน
- ตั้งเซลทิ้งไว้ภายนอกอาคารภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (ตั้งอยู่ในระดับเดียวกัน ในเขตพื้นที่เดียวกัน และหันหน้าไปทางทิศทางเดียวกัน) โดยวางแต่ละเซลให้ห่างกันประมาณ 2-3 เมตร เพื่อป้องกันการแผ่รังสีจากตัวเซลแต่ละเซล

- เก็บค่าอุณหภูมิภายในเซลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 1 วันเพื่อให้ครบวงจรของสภาพตามธรรมชาติ
- ค่าที่ได้มา Plot กราฟ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ในแต่ละช่วงเวลาว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยนำไปเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติโดยใช้การทดสอบของฟรีดแมน
- ถ้าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส ให้ถือว่าเซลทดลองทั้งหมดมีความสามารถในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเซลได้อย่างเท่าเทียมกัน

4. อาคารปรับอากาศ

คารทดสอบที่ใช้มีขนาด 4.4*7.9 ตารางเมตร สร้างจากวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงเพื่อการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่สุด และมีความสามารถในการป้องกันความชื้นทำให้สามารถใช้เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กเพื่อควบคุมความชื้นภายในได้

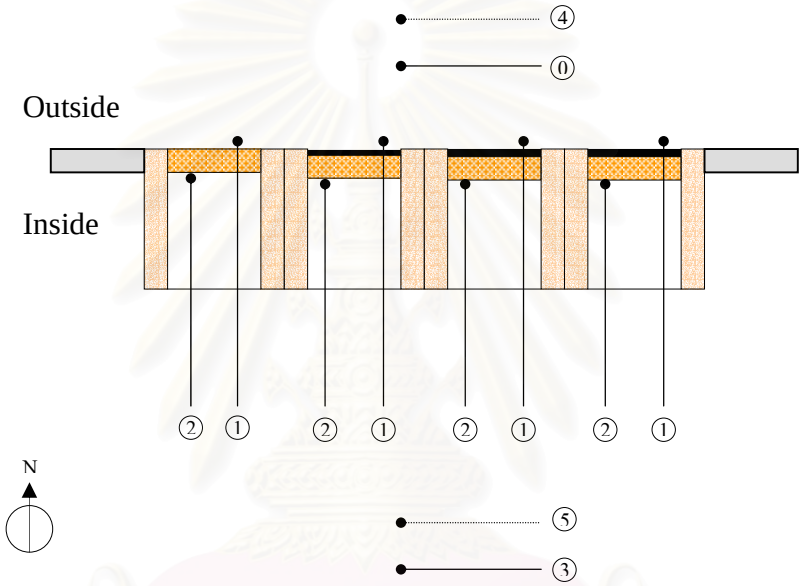
ด้านทั้ง 4 ของอาคารหันหน้าเข้าหาทิศเหนือ ตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก เพื่อความสะดวกในการคำนวนมุมดวงอาทิตย์ ด้านทั้ง 4 ถูกเว้นช่องว่างขนาดความสูง 0.90 เมตร ตลอดความยาวของแต่ละด้าน เพื่อใช้ในการติดตั้งวัสดุทดสอบที่ได้มีการผนึกในเซลควบคุมสภาพแวดล้อม

ภาพที่ 3-5 แสดงอาคารปรับอากาศที่ใช้ในการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบรูปแบบผนังก่ออิฐและผนังมวลเบา ที่ทำการปรับปรุง ดังนี้

<u>การทดสอบที่</u> 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ภายนอกและภายใน

- ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)



ภาพที่ 3-6 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นของการทดสอบที่ 1

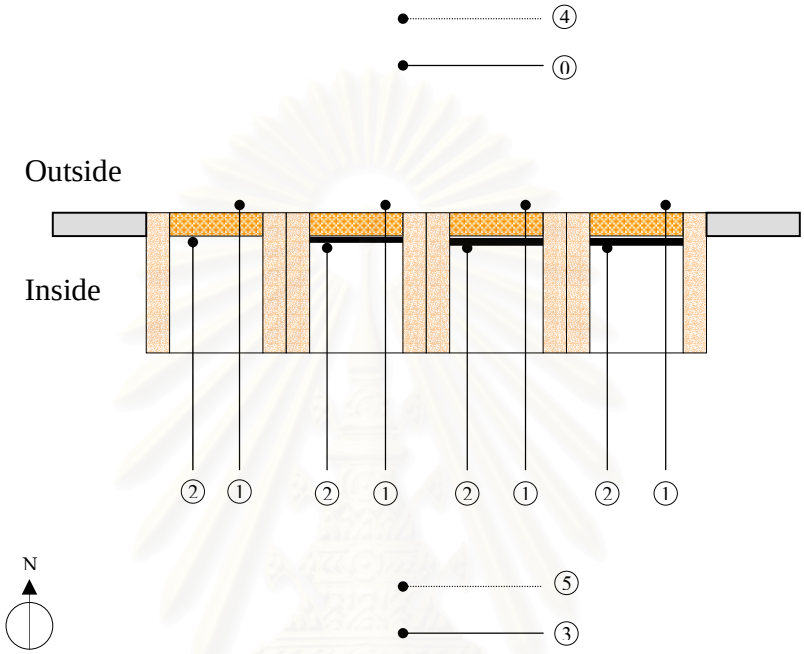
<u>หมายเหตุ</u> ทำการวัดอุณหภูมิทั้ง 4 ทิศทาง โดยใช้การวัดในลักษณะข้างต้นเป็นเกณฑ์

ทำการติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 0 อุณหภูมิอากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอกผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิผิวภายในผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายใน
ตำแหน่งที่ 4 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 5 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)



ภาพที่ 3-7 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นของการทดสอบที่ 1

<u>หมายเหตุ</u> ทำการวัดอุณหภูมิทั้ง 4 ทิศทาง โดยใช้การวัดในลักษณะข้างต้นเป็นเกณฑ์

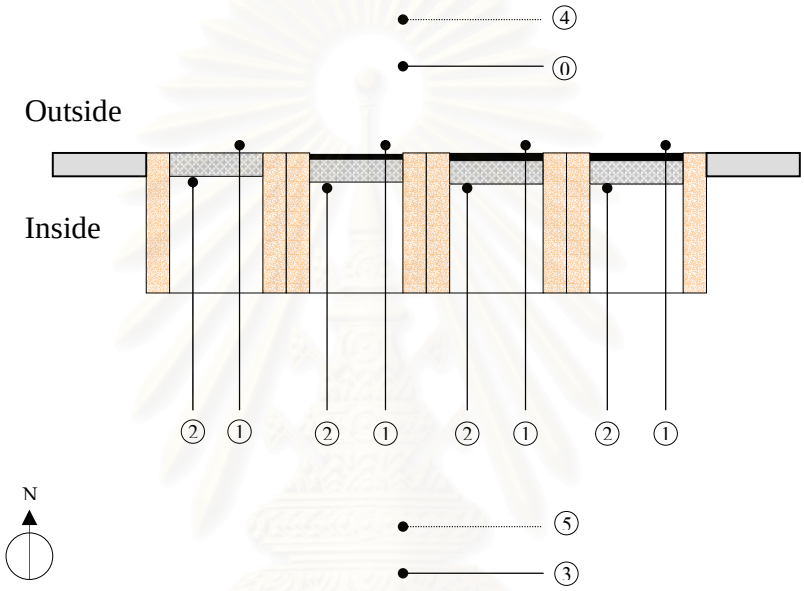
ทำการติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 0 อุณหภูมิอากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอกผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิผิวภายในผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายใน
ตำแหน่งที่ 4 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 5 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดสอบที่</u> 2 ผนังมวลเบาที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ภายนอกและภายใน

- ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)



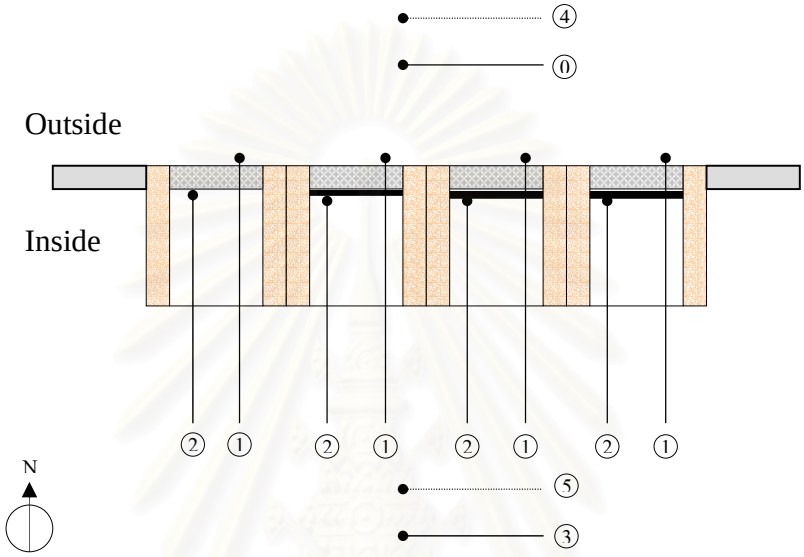
ภาพที่ 3-8 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นของการทดสอบที่ 2

<u>หมายเหตุ</u> ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นทั้ง 4 ทิศทาง โดยใช้การวัดในลักษณะข้างต้นเป็นเกณฑ์

ทำการติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 0 อุณหภูมิอากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอกผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิผิวภายในผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายใน
ตำแหน่งที่ 4 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 5 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน

- ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)



ภาพที่ 3-9 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นของการทดสอบที่ 2

หมายเหตุ ทำการวัดอุณหภูมิทั้ง 4 ทิศทาง โดยใช้การวัดในลักษณะข้างต้นเป็นเกณฑ์

ทำการติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 0 อุณหภูมิอากาศภายนอก

ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอกผนังทดสอบ

ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิผิวภายในผนังทดสอบ

ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายใน

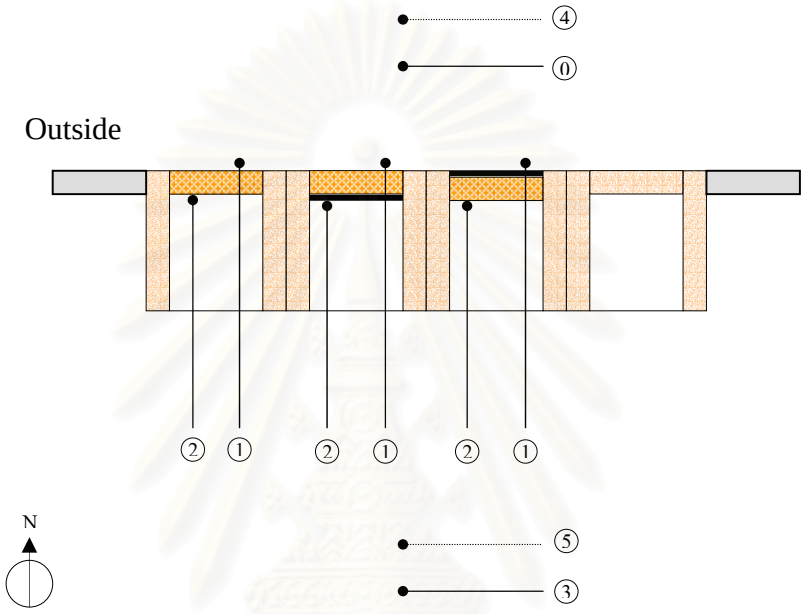
ตำแหน่งที่ 4 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก

ตำแหน่งที่ 5 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การทดสอบที่</u> 3 ผนังก่ออิฐและผนังมวลเบาที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1นิ้ว ภายนอกและภายใน

- ทำการทดสอบผนังก่ออิฐที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้วภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน



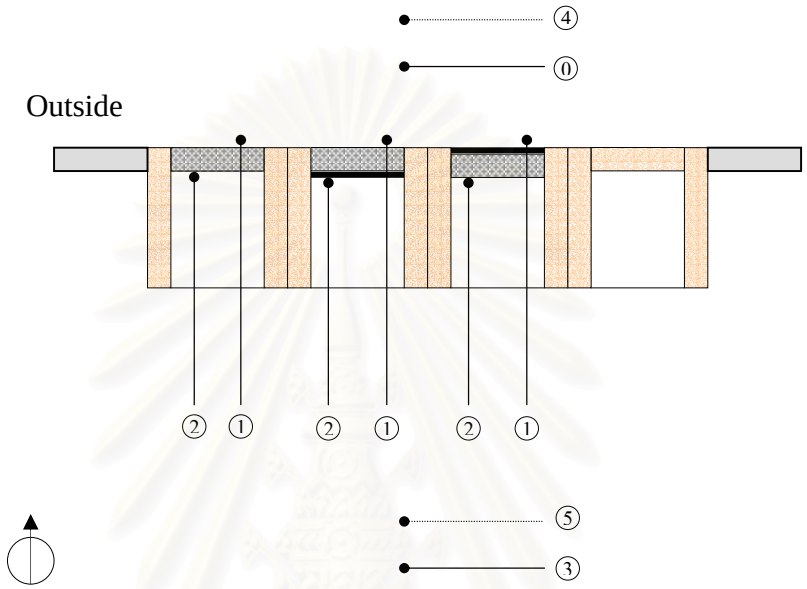
ภาพที่ 3-10 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นของการทดสอบที่ 3

<u>หมายเหตุ</u> ทำการวัดอุณหภูมิทางทิศตะวันตกทิศเดียว เพื่อดูความเป็นไปได้ในการเลือกใช้งาน

ทำการติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 0 อุณหภูมิอากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอกผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิผิวภายในผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายใน
ตำแหน่งที่ 4 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 5 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน

- ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้วภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน



ภาพที่ 3-11 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นของการทดสอบที่ 3

<u>หมายเหตุ</u> ทำการวัดอุณหภูมิทางทิศตะวันตกทิศเดียว เพื่อดูความเป็นไปได้ในการเลือกใช้งาน

ทำการติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

ตำแหน่งที่ 0 อุณหภูมิอากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอกผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิผิวภายในผนังทดสอบ
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิอากาศภายใน
ตำแหน่งที่ 4 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก
ตำแหน่งที่ 5 วัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายใน

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

- เปรียบเทียบความแตกต่างของอุณหภูมิผิว, ปริมาณความร้อนและตำแหน่งที่เกิดการกลั่นตัวของผนังทดสอบแต่ละชนิดที่ทำการปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆทั้งภายในและภายนอก กับผนังเดิม ในทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก เพื่อหาความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศที่ทำการปรับปรุง
- เปรียบเทียบความแตกต่างในด้านอุณหภูมิ, ปริมาณความร้อนและตำแหน่งที่เกิดการกลั่นตัวระหว่างผนังที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในกับภายนอกที่ความหนา 1 นิ้ว เพื่อหาความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน
- ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, ค่าพลังงานที่สูญเสีย, ราคาวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุง และระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูความเหมาะสมในการลงทุน

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลการทดสอบ

นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งในด้านอุณหภูมิมาพิจารณาร่วมกัน อเพื่อทำการหาระยะเวลาในการคืนทุน โดยเปรียบเทียบกับราคาในการติดตั้ง และนำผลที่ได้เสนอออกมาในรูปแบบของดัชนี เพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ผนังในรูปแบบต่างๆ ให้เข้ากับอาคารแต่ละประเภทต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดสอบในการวิจัย

การทดสอบในการวิจัยครั้งนี้เพื่อจะทราบถึงผลกระทบและพฤติกรรมของตัวแปรที่เกิดขึ้นกับวัสดุทดลอง เพื่อค้นหารูปแบบของวิธีติดตั้งและความหนาของฉนวนที่เหมาะสมในการปรับปรุงผนังอาคารแต่ละทิศทาง โดยในการปรับปรุงได้ทำการคัดเลือกวัสดุผนังที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ประกอบด้วยผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบา นำมาติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอกผนังทดสอบที่ความหนา 1–3 นิ้ว และศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณความร้อนและตำแหน่งที่เกิดการกลั่นตัวของผนังทดสอบแต่ละรูปแบบ ซึ่งสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณีดังนี้

การทดสอบที่ 1 ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ภายนอกและภายใน

4.1.1 ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

4.1.2 ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

การทดสอบที่ 2 ผนังมวลเบาที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว ภายนอกและภายใน

4.2.1 ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

4.2.2 ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

การทดสอบที่ 3 ผนังก่ออิฐและผนังมวลเบาที่ทำการปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1นิ้ว ภายนอกและภายใน

4.3.1 ทำการทดสอบผนังก่ออิฐที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้วภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

4.3.2 ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้วภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 1

ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาและสร้างแนวทางการปรับปรุงระบบผนังอาคารเดิม โดยใช้ฉนวนหนา 1-3 นิ้วในทิศต่างๆ ให้เกิดการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
- ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, ค่าพลังงานที่สูญเสีย และราคาวัสดุที่ใช้ประกอบการปรับปรุงผนังอาคาร เพื่อดูความเหมาะสมในการลงทุน

ตัวแปรควบคุม

-กำหนดให้กล่องทดสอบในแต่ละด้าน ทั้ง 4 กล่องหันทิศทางเดียวกัน ในเวลาและสถานที่เดียวกัน เพื่อให้ได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน

- มวลสารของผนังทดสอบ เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนความหนารวม 0.10ม .

-เนื่องจากเป็นผนังที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารในประเทศ กระทำการก่อสร้างด้วยวัสดุและเทคนิคเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกัน

-สีเคลือบพื้นผิวภายนอกและภายใน เลือกใช้สีขาวชนิดเดียวกัน

-ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอาคารทดลอง ด้วยระบบปรับอากาศ

การเตรียมการทดลอง

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงการปรับปรุงระบบผนังอาคารโดยใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างกันดังนั้นจึงกระทำการเก็บข้อมูลทั้ง 4ทิศทาง โดยแต่ละทิศทางประกอบด้วย : กล่องทดลองจำนวน 4 กล่อง มีรายละเอียด ดังนี้

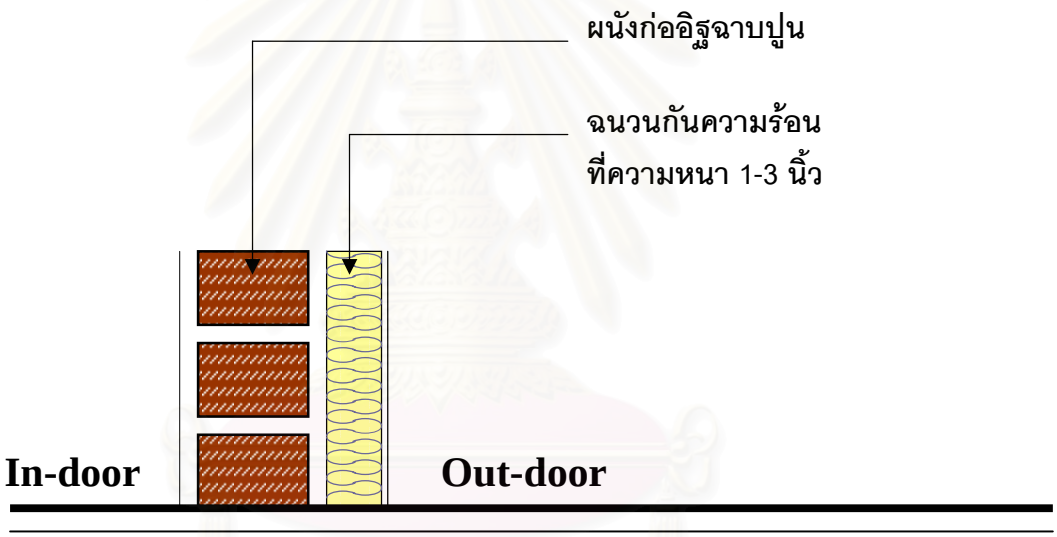
<u>กล่องที่ 1</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 0.10เมตร

<u>กล่องที่ 2</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 1 นิ้ว

<u>กล่องที่ 3</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว

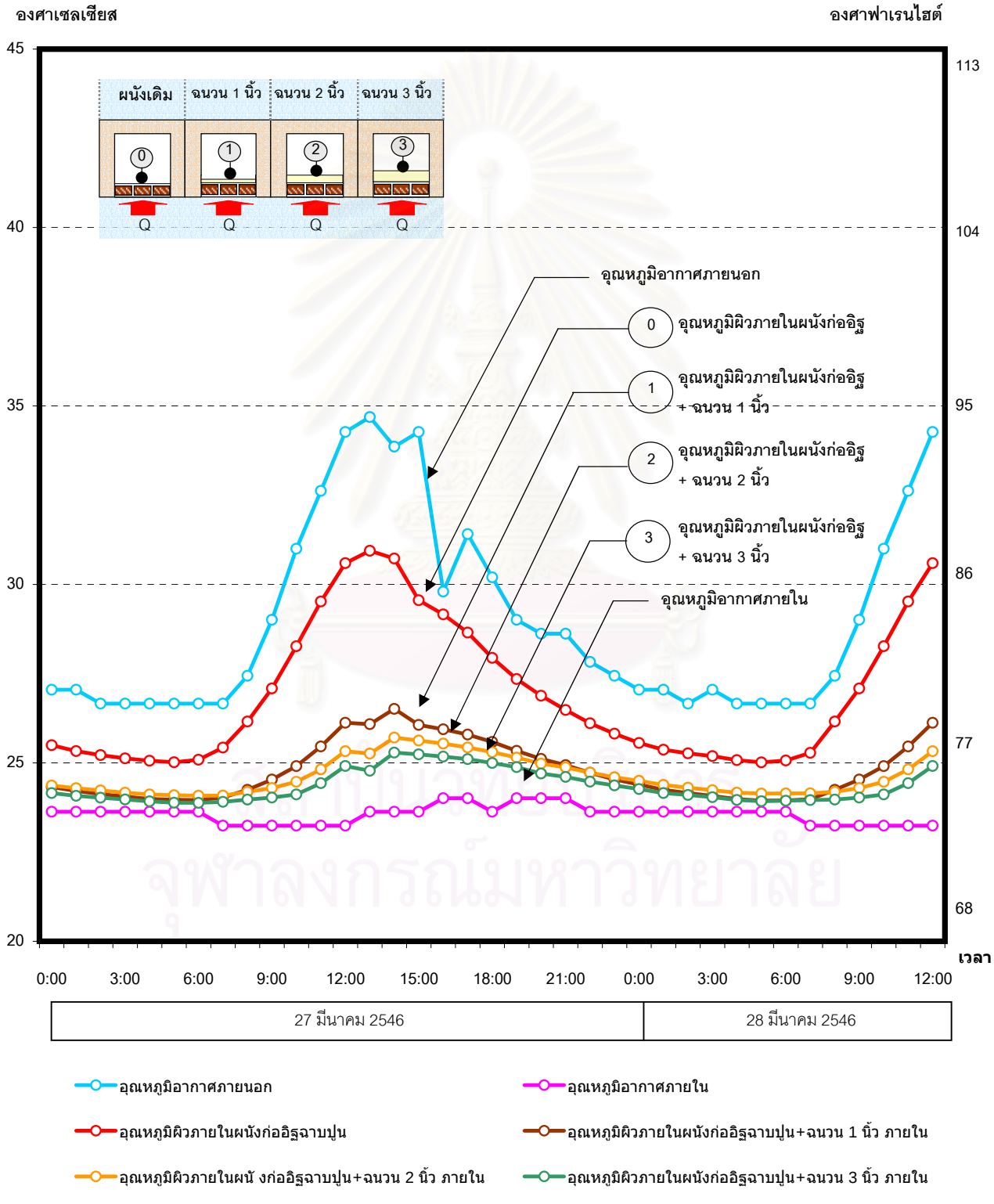
<u>กล่องที่ 4</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังก่ออิฐฉาบปูน หนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว

4.1.1 การปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว ภายนอกอาคาร

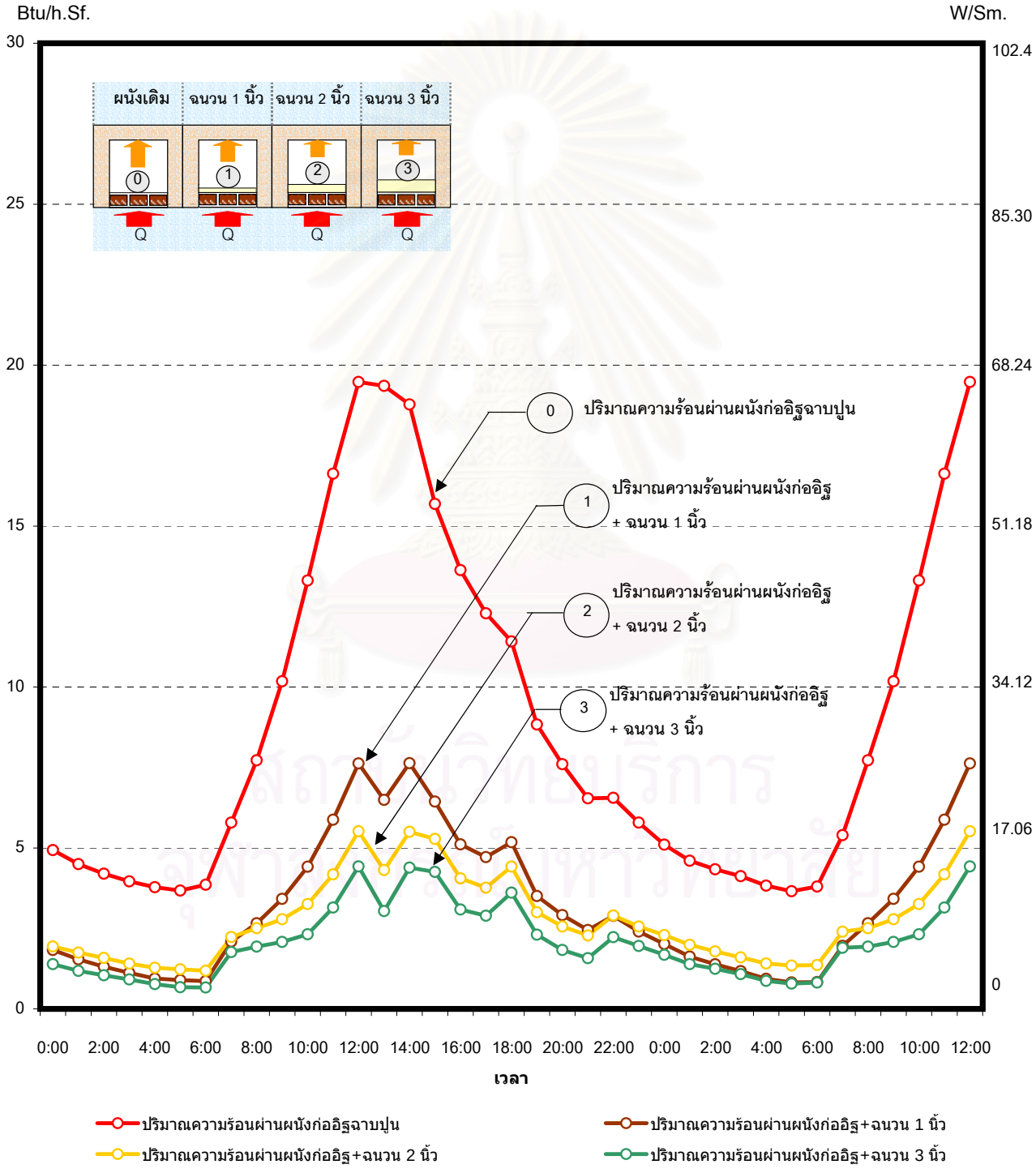


ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก) จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

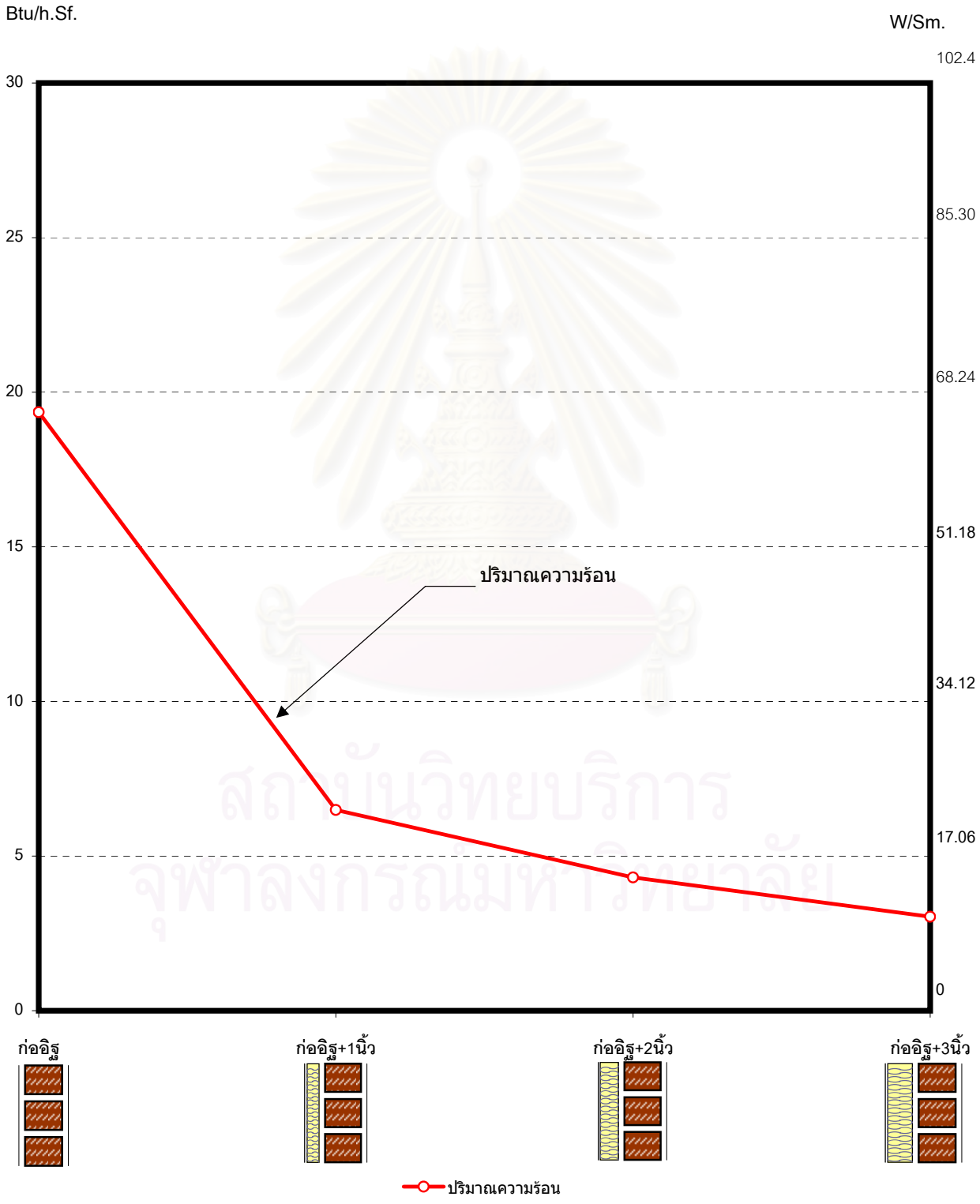
แผนภูมิที่ 4-26 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-27 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบ
กับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศเหนือ

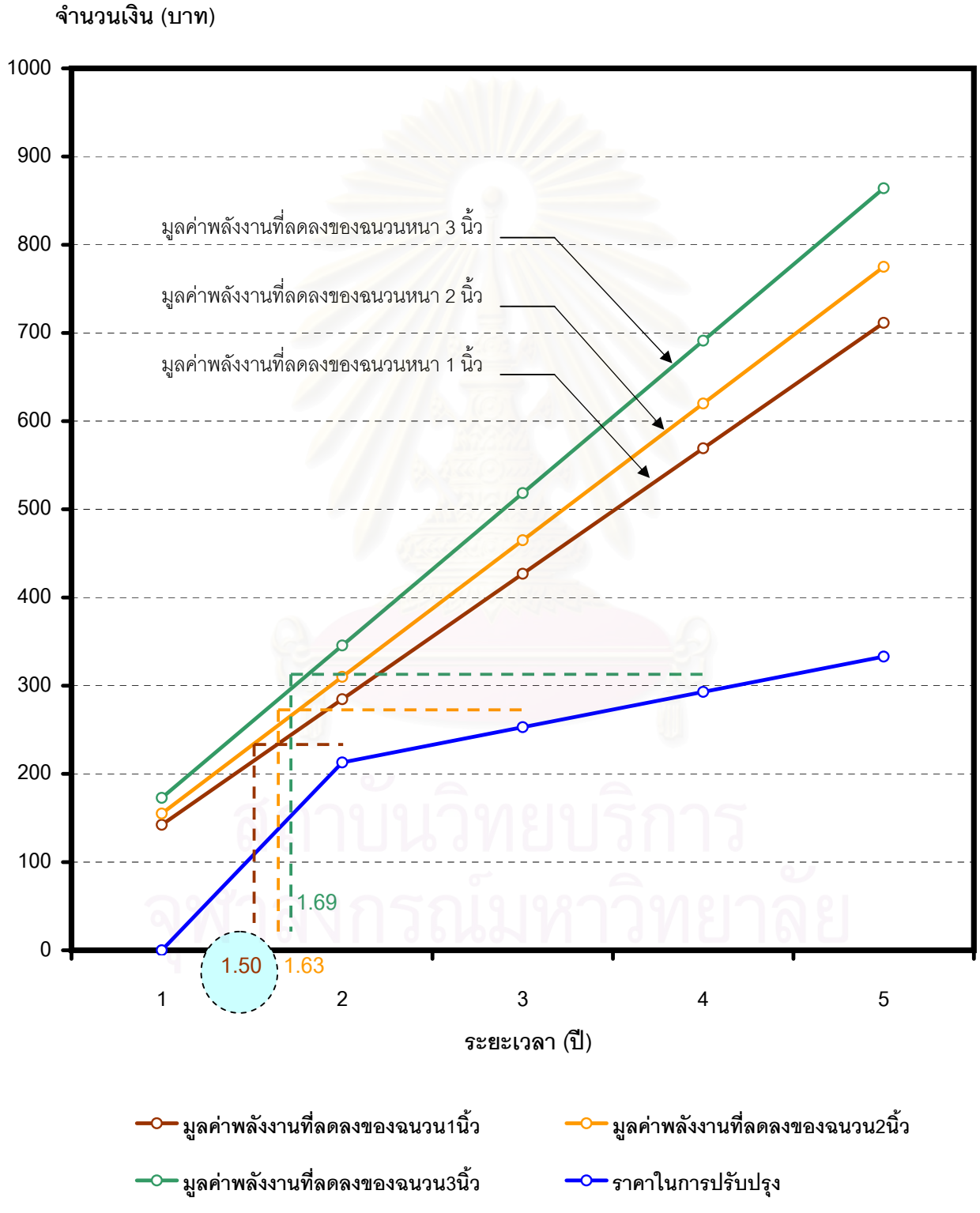


แผนภูมิที่ 4-28 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายใน

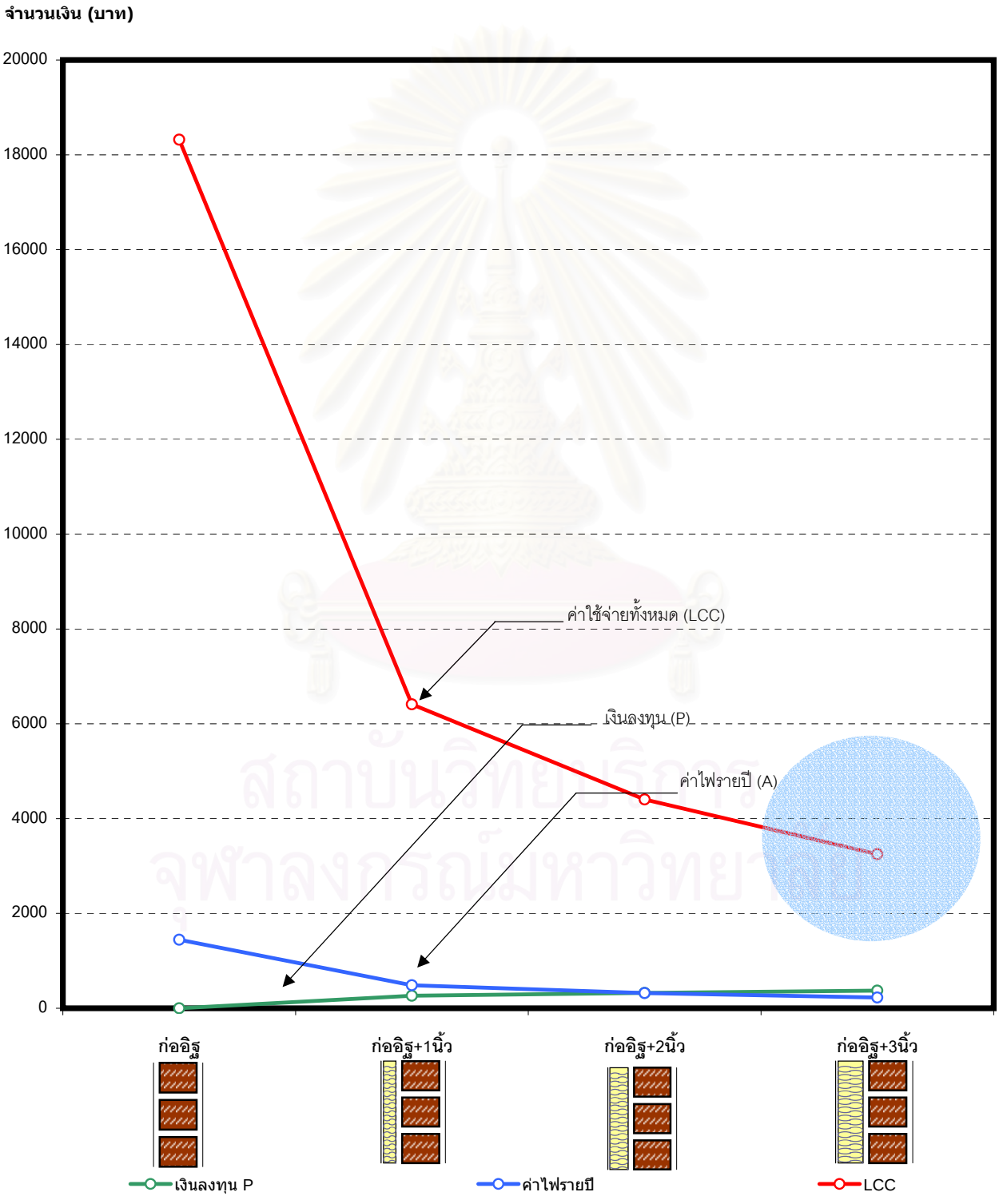


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

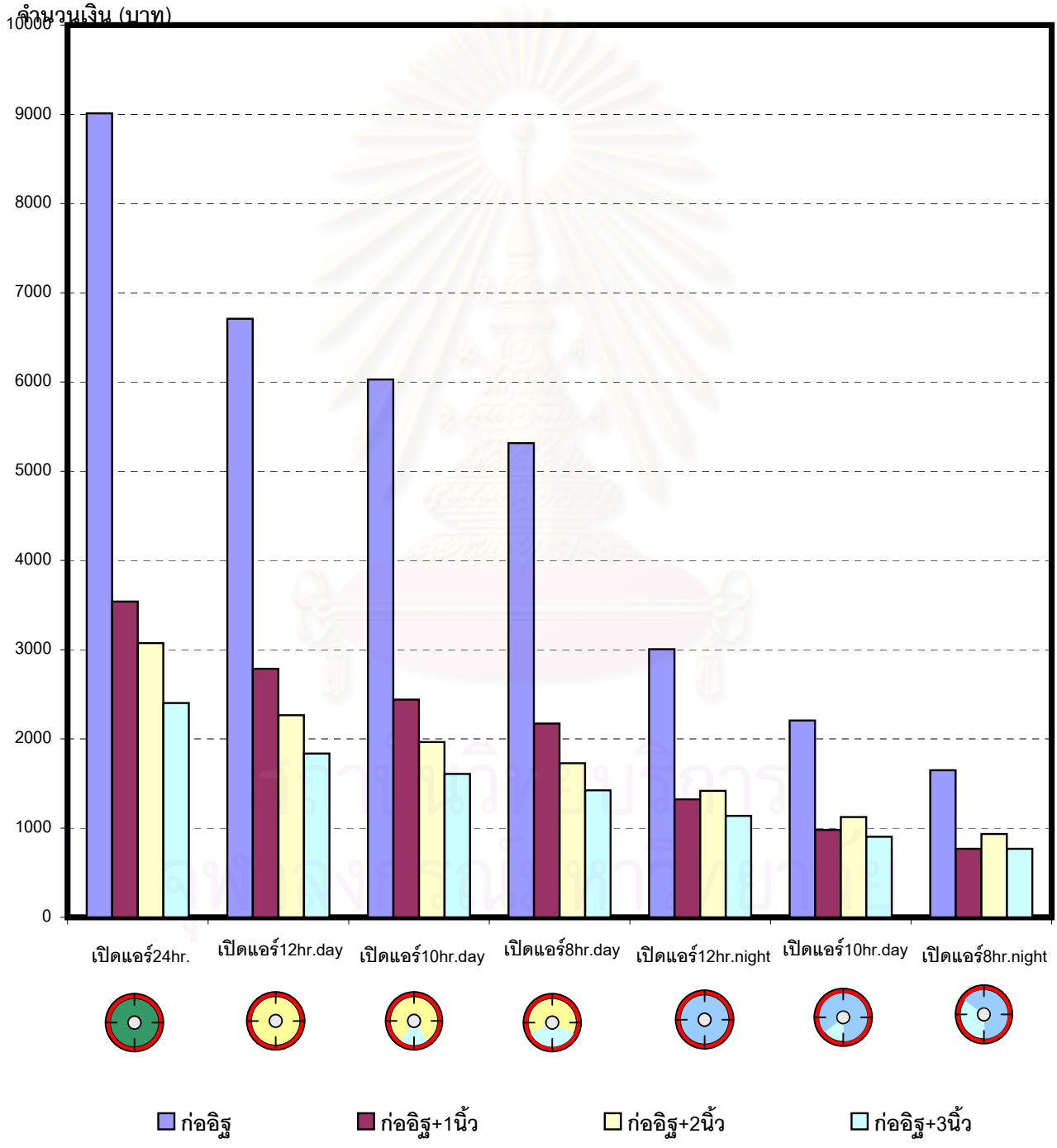
แผนภูมิที่ 4- 29 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-30 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-31 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐ
ฉาบปูนโดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิด
เครื่องปรับอากาศ ทางทิศเหนือ



ตารางที่ 4-1 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ

North	BRICK-OUT						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	191.1703791	61.46957528	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	59.29982206	19.0674669	42.40210838	52083.35776	130.2083944	451	3.463678375
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	46.94209412	15.09392094	46.37565434	56964.14374	142.4103593	491	3.447782888
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	42.71263147	13.7339651	47.73561018	58634.60469	146.5865117	531	3.622434245

จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศเหนือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 3.44 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.011%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.014%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.966%

นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศเหนือ ควรติดฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศเหนือ (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 24-25 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.7 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 0.9 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.6 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 7.5 องศาเซลเซียส)

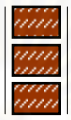
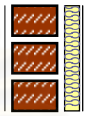
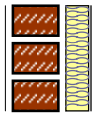
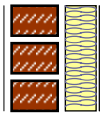
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-2 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

NORTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศเหนือ

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

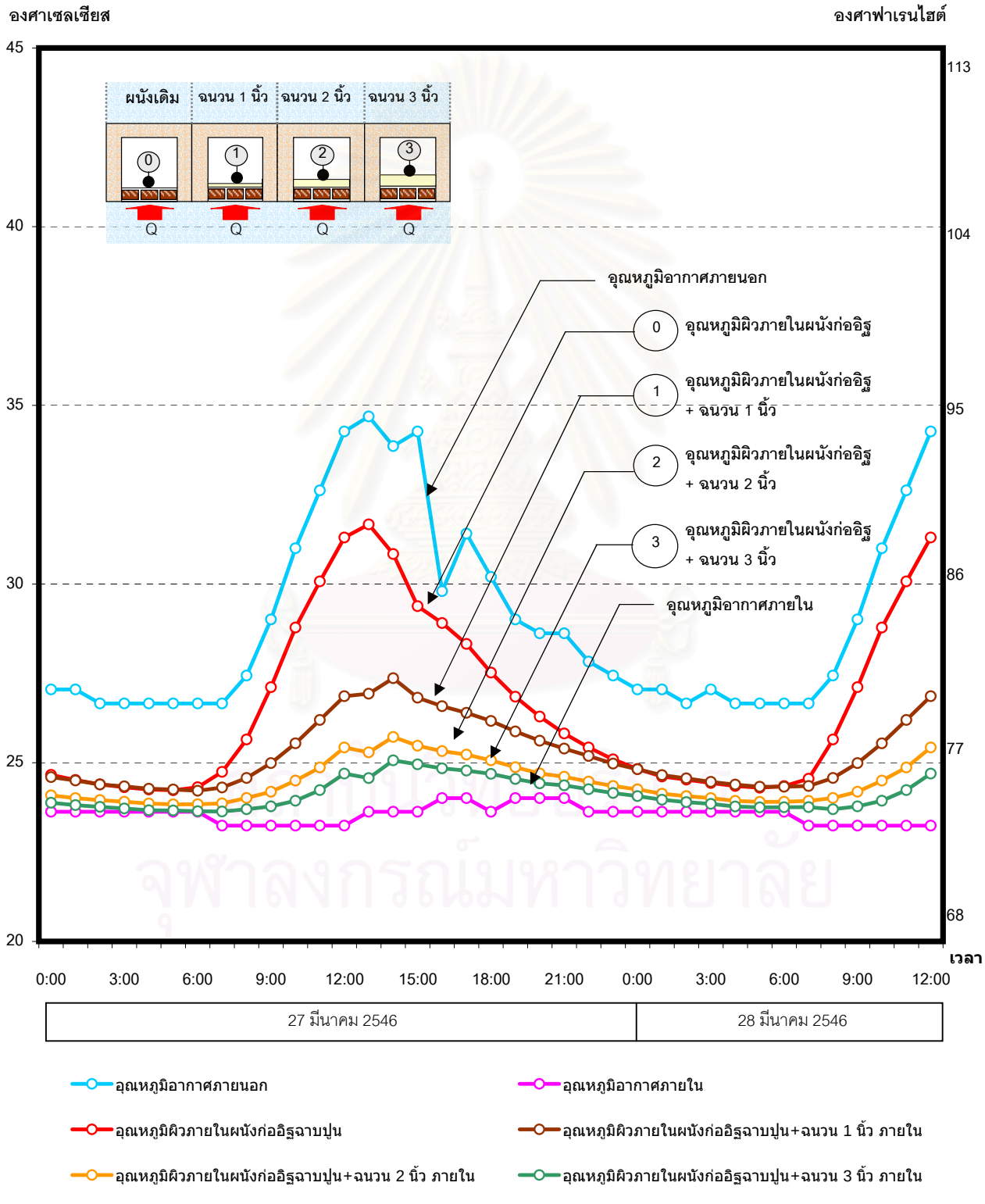
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

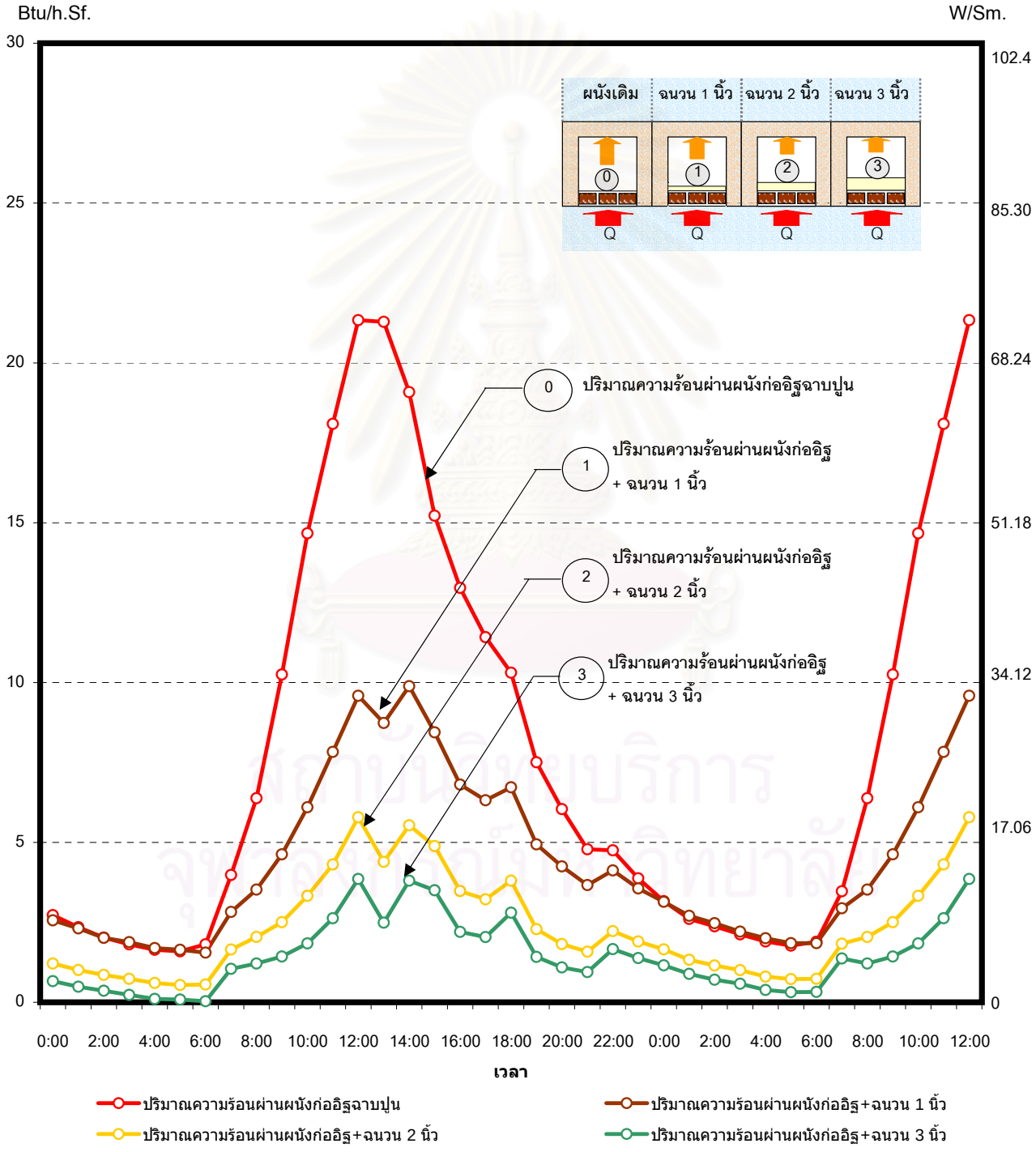
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศเหนือ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

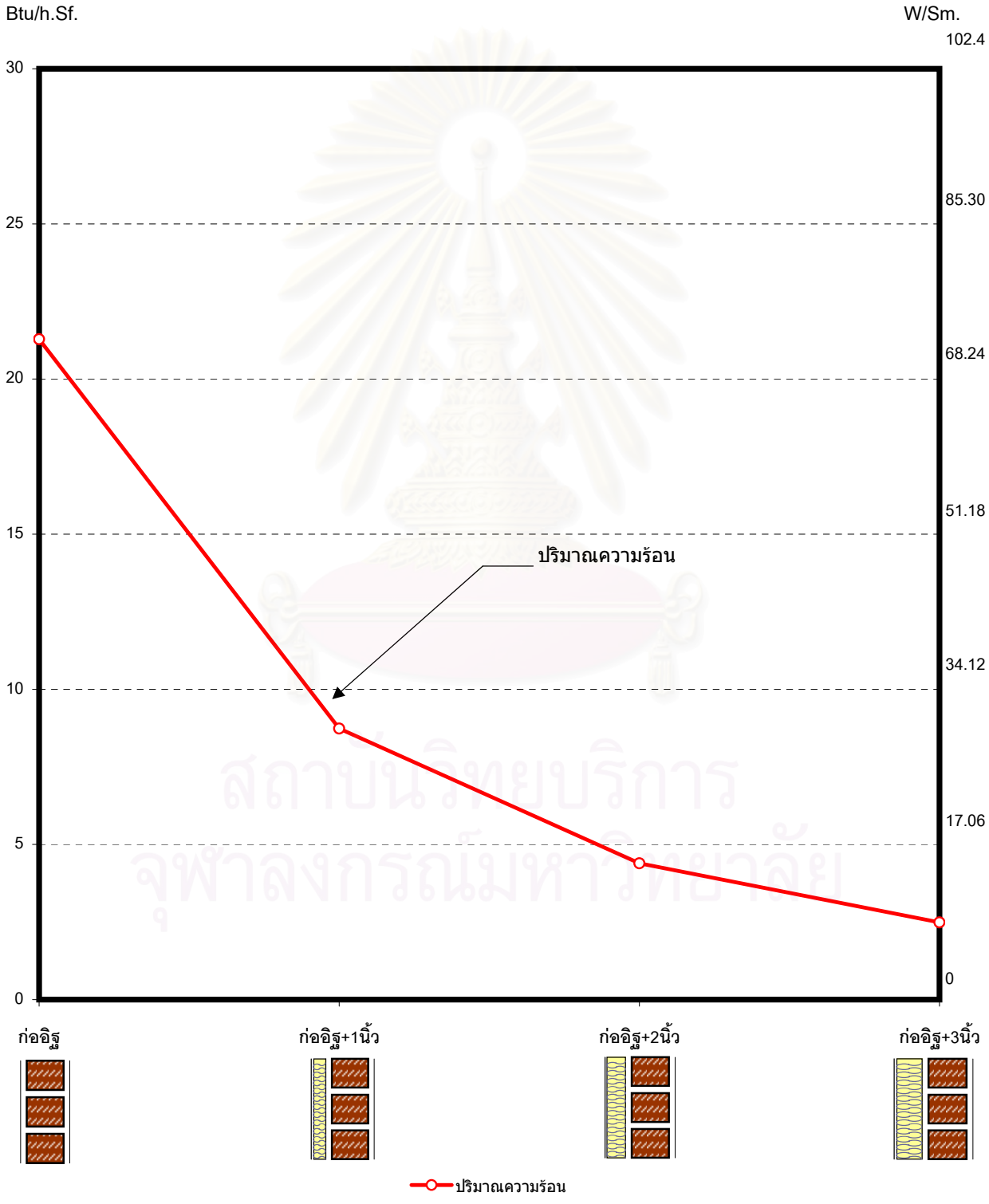
แผนภูมิที่ 4-32 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกัน
ความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-33 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบ
กับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศใต้

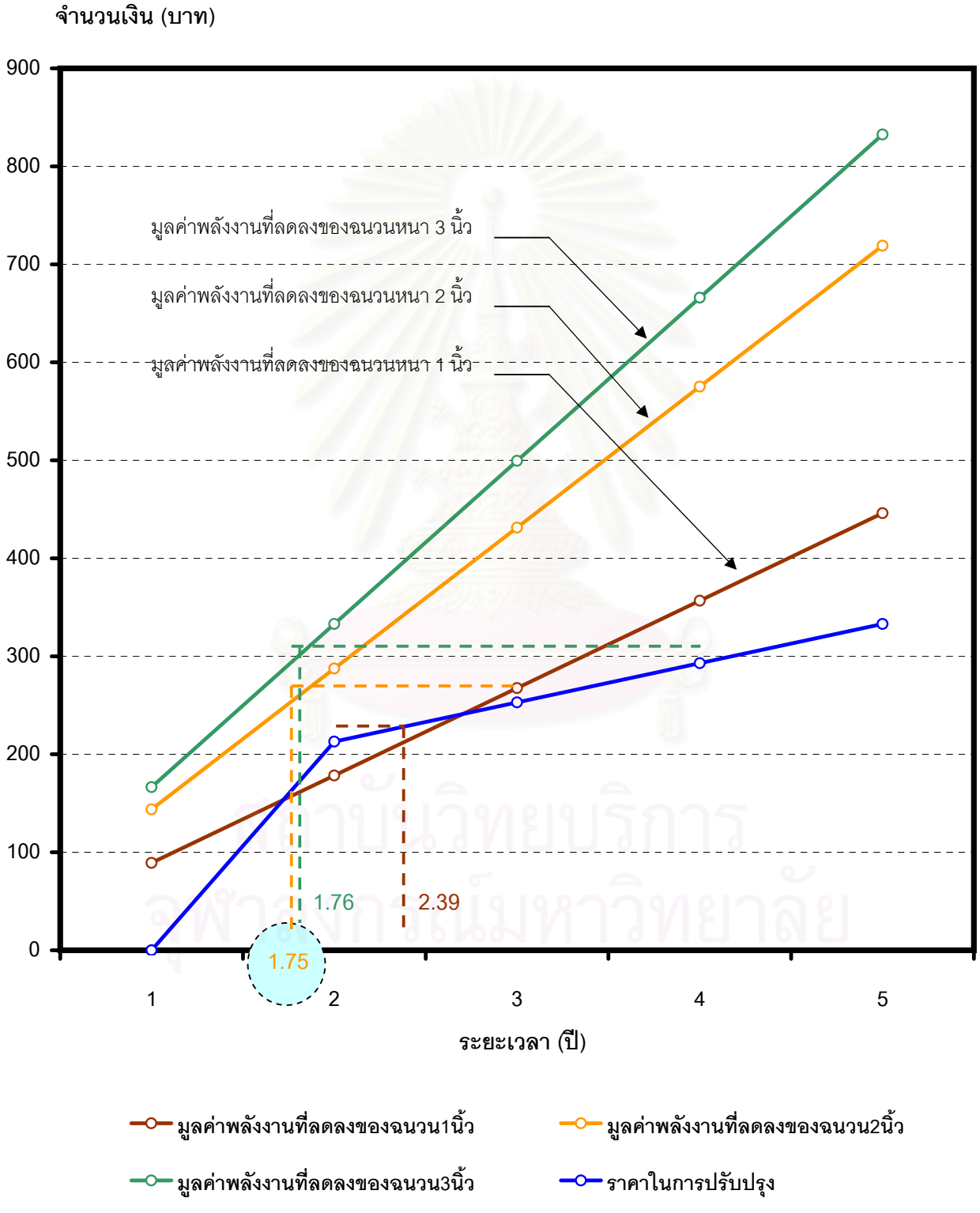


แผนภูมิที่ 4-34 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 35 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศใต้



ตารางที่ 4-11 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้

South	BRICK-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	205.9252412	66.21390392	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	115.6151012	37.17527369	29.03863023	35668.73028	89.1718257	213	2.388646844
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	60.27540882	19.38116039	46.83274352	57525.59552	143.8139888	253	1.759216903
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	37.33009147	12.00324485	54.21065907	66588.03675	166.4700919	293	1.760075919

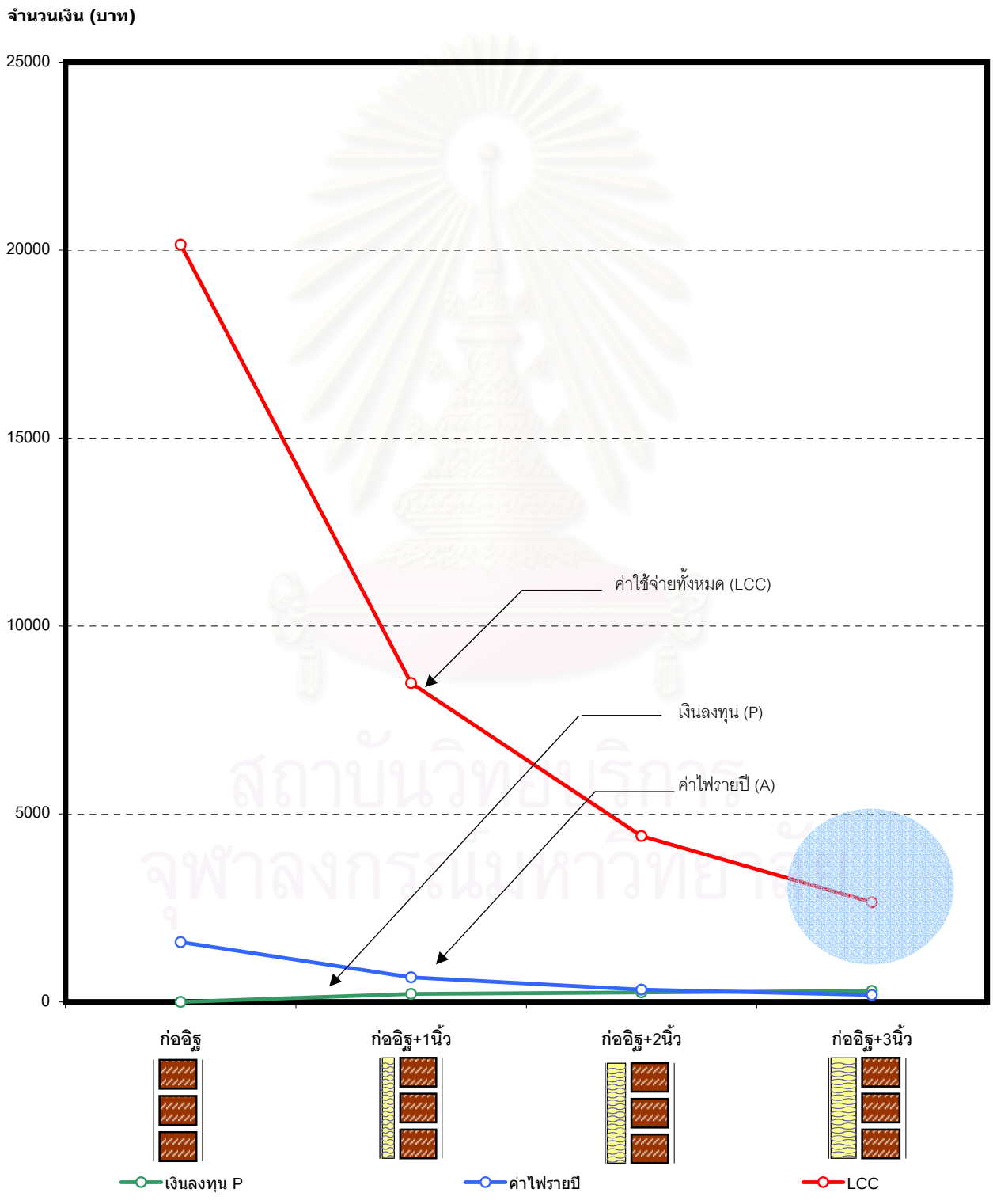
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศใต้ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 1.75 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.470%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 2.000%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.988%

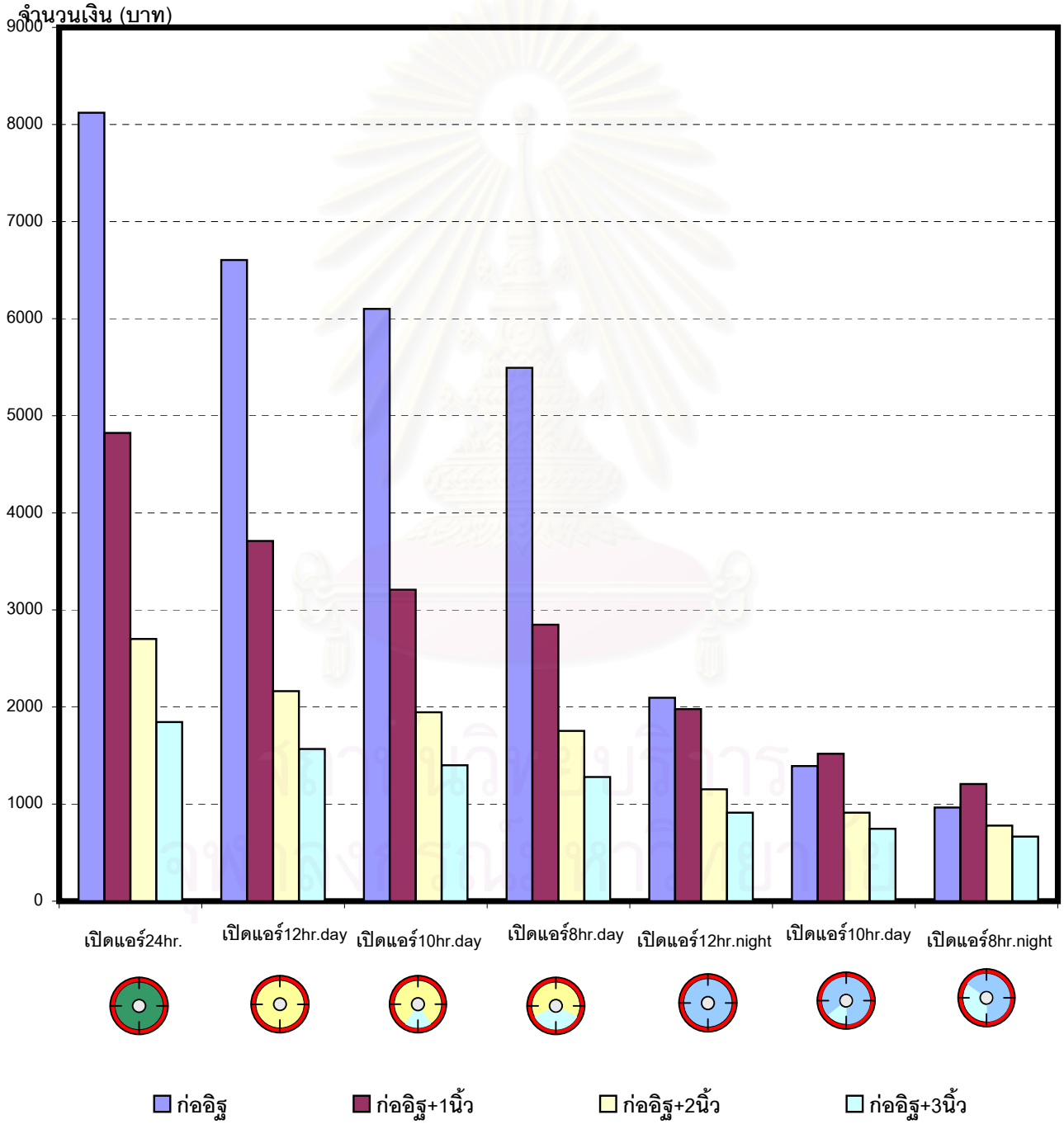
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2,3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศใต้ ควรติดฉนวนที่ความหนา 2,3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-36 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-37 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐ
ฉาบปูนโดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิด
เครื่องปรับอากาศ ทางทิศใต้



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศใต้ (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 24-25 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 0.9 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 8 องศาเซลเซียส)

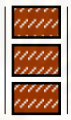
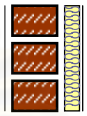
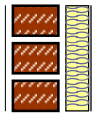
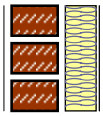
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-4 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

SOUTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศใต้

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

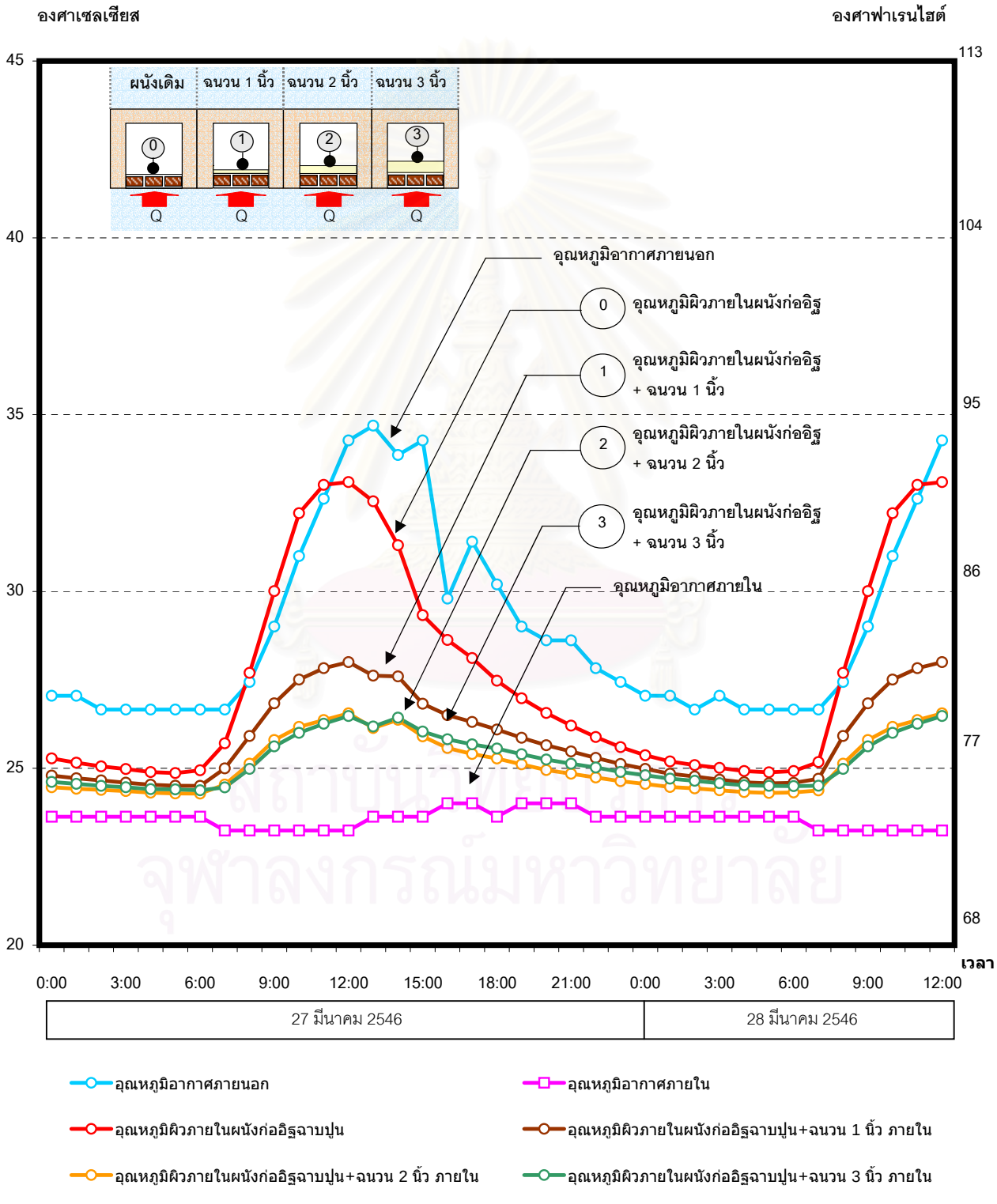
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

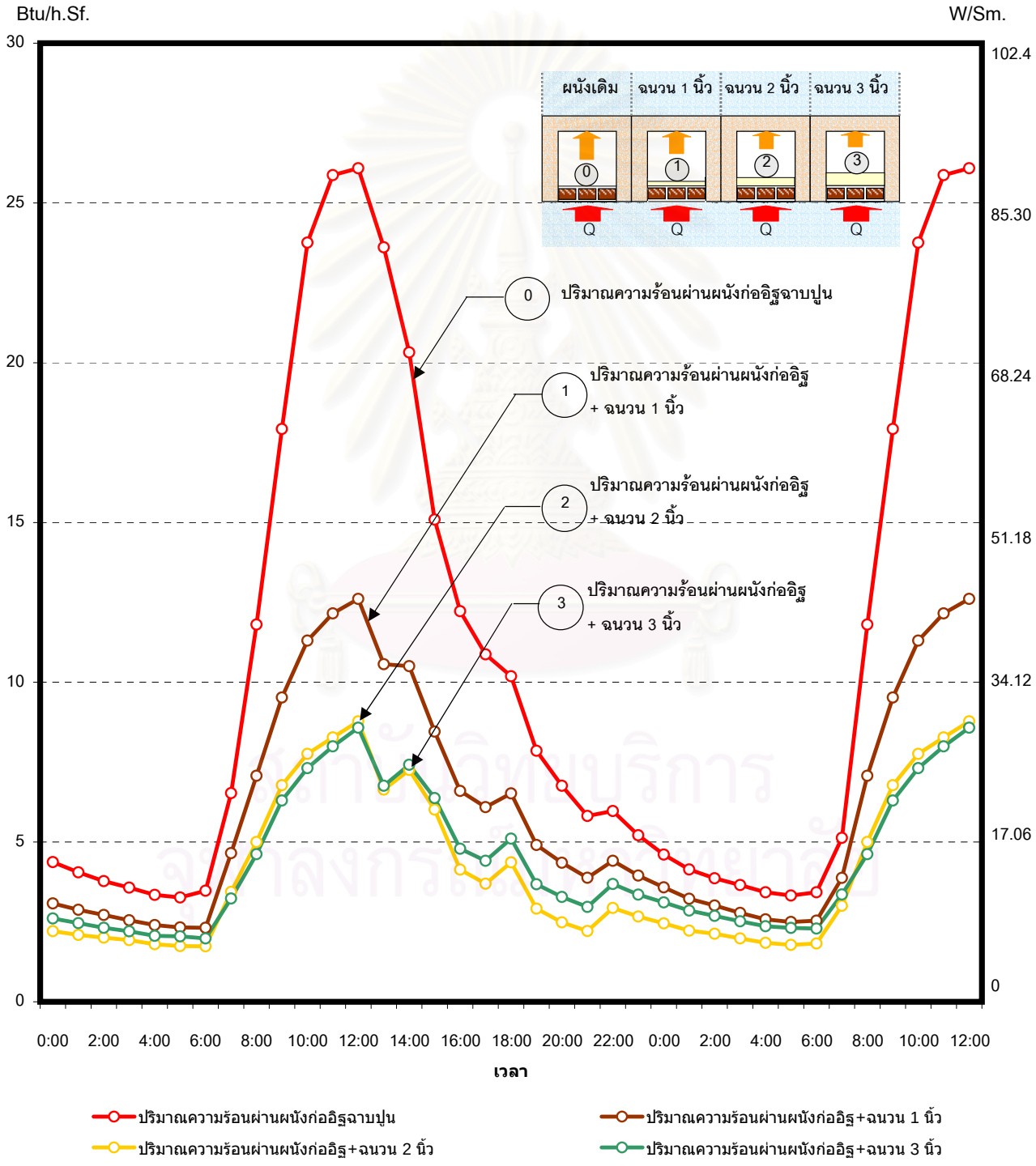
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศใต้ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

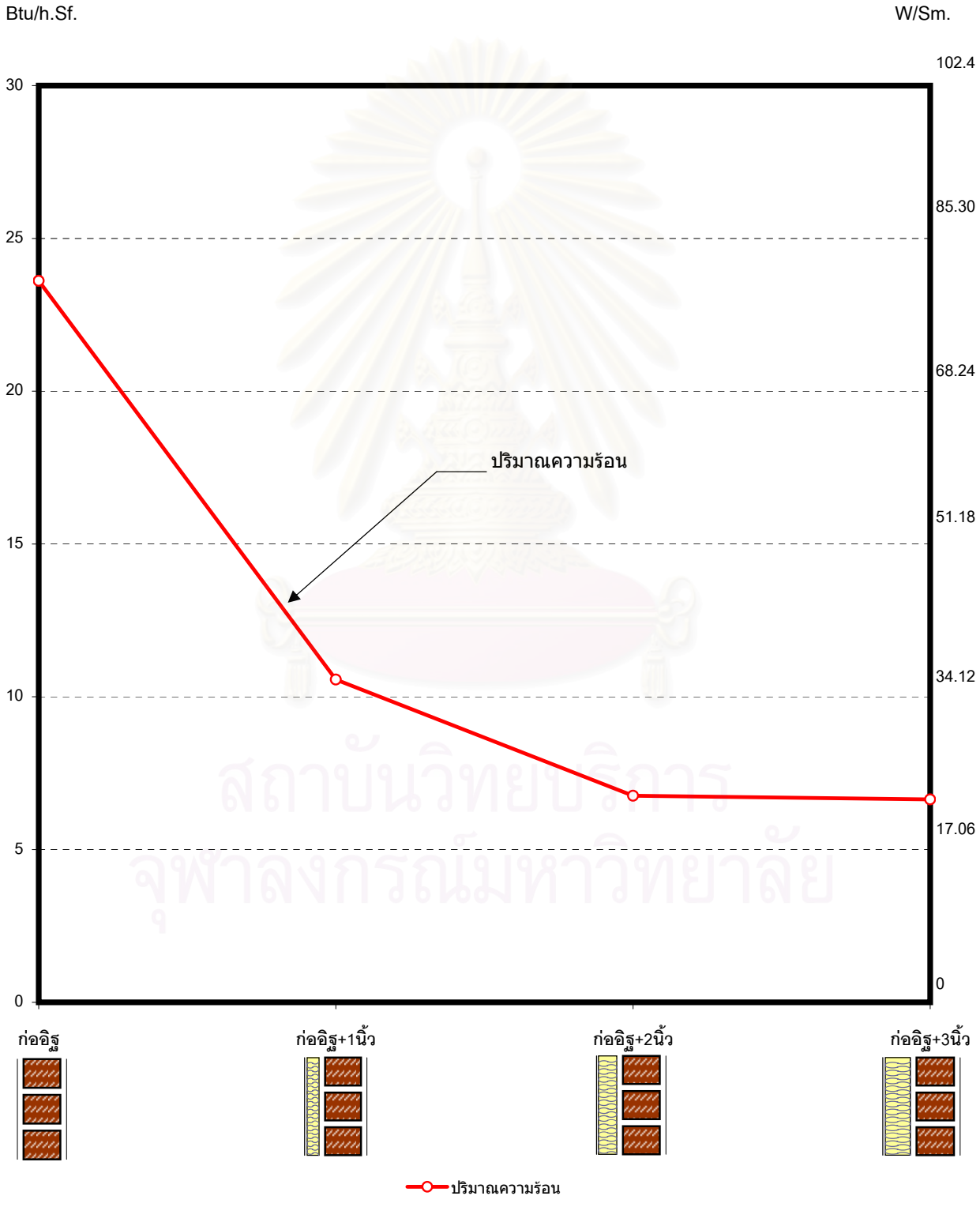
แผนภูมิที่ 4-38 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-39 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบ
กับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศตะวันออก

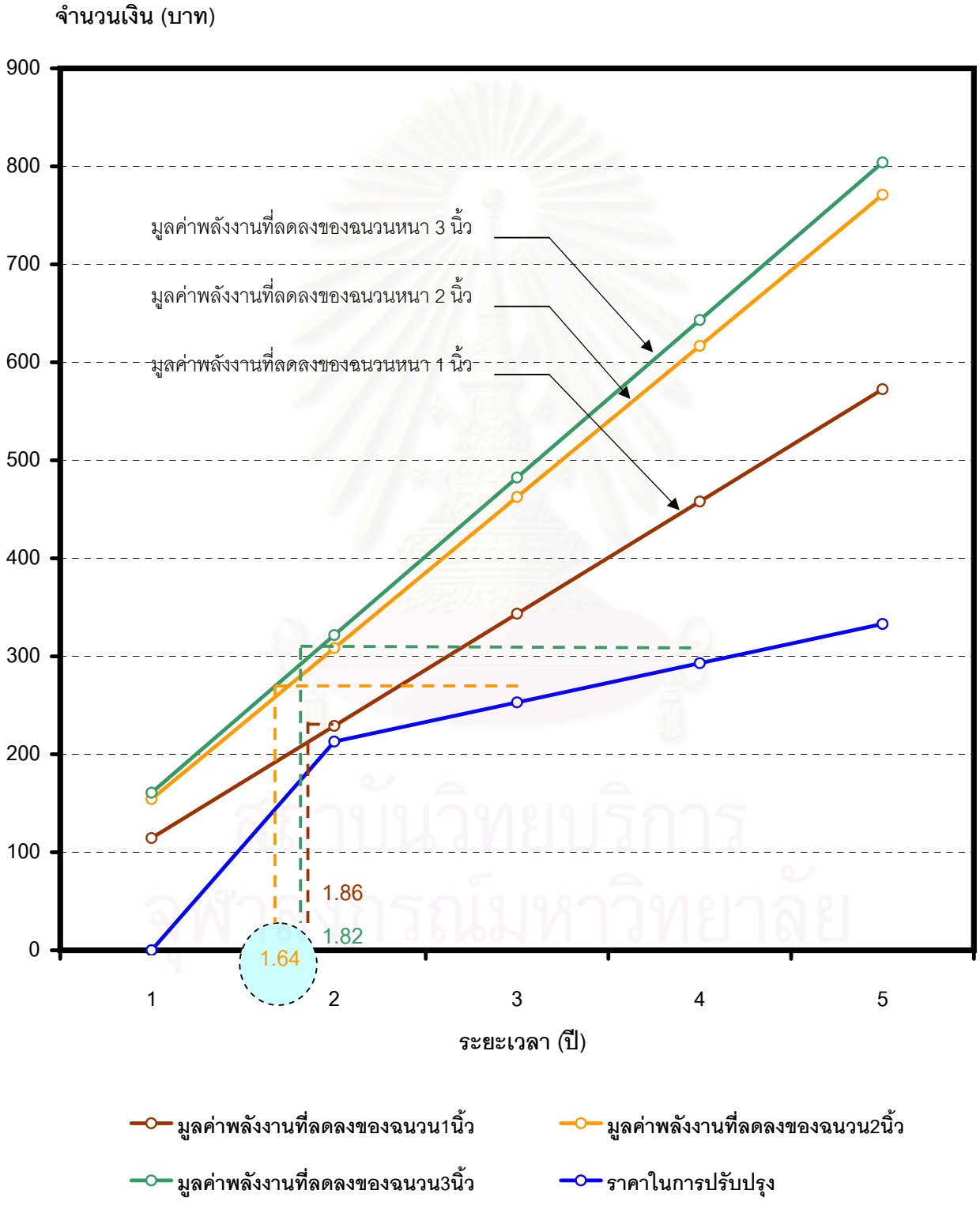


แผนภูมิที่ 4-40 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 41 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันออก



ตารางที่ 4-5 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก

East	BRICK-OUT						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	241.9480376	77.79679667	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	93.31805647	30.00580594	47.79099073	58702.62974	146.7565743	451	3.073116159
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	68.14180588	21.91054852	55.88624816	68646.19633	171.6154908	491	2.861047086
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	63.79665882	20.51339512	57.28340155	70362.34779	175.9058695	531	3.018659932

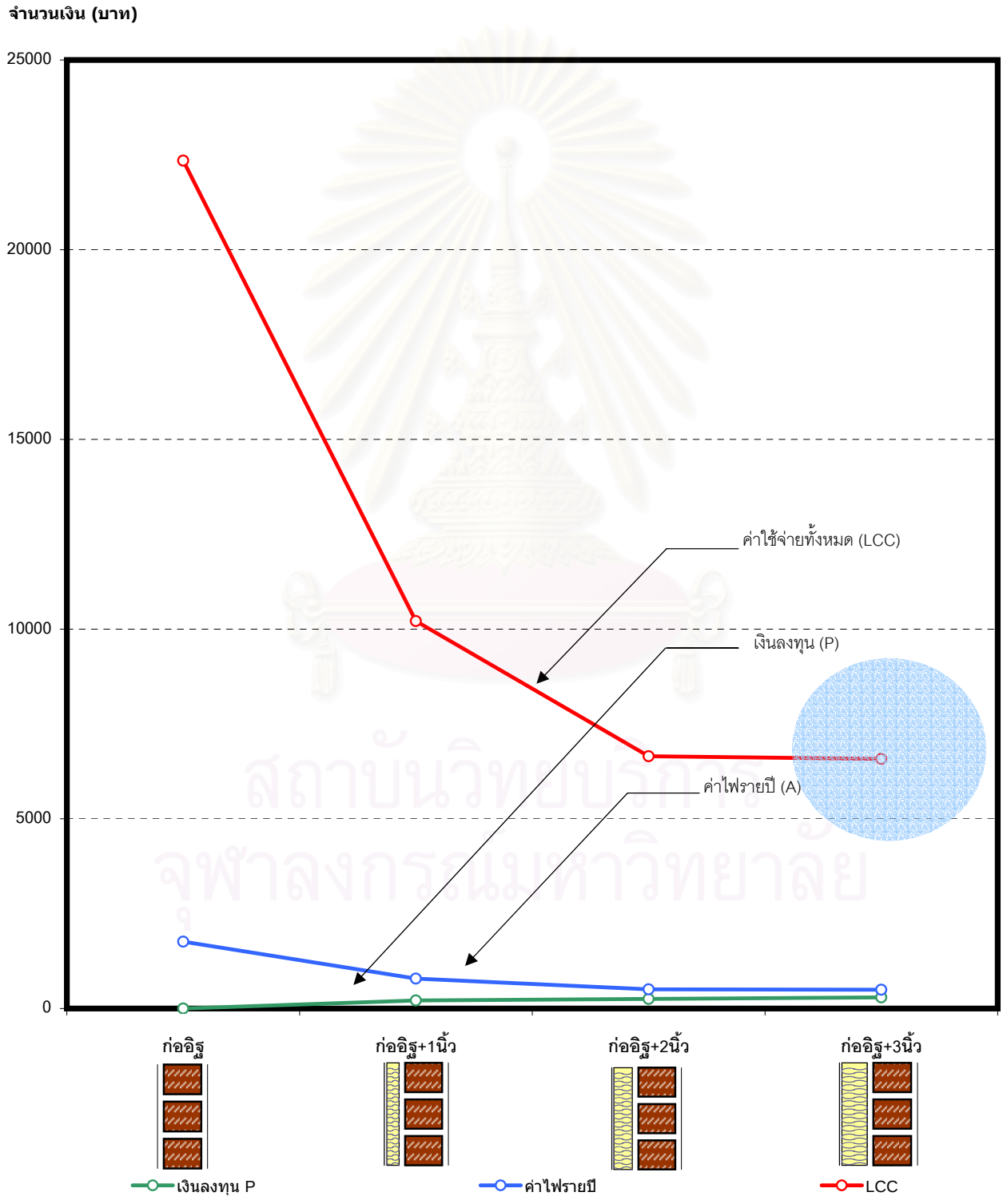
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันออก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 2.86 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.140%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.223%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.162%

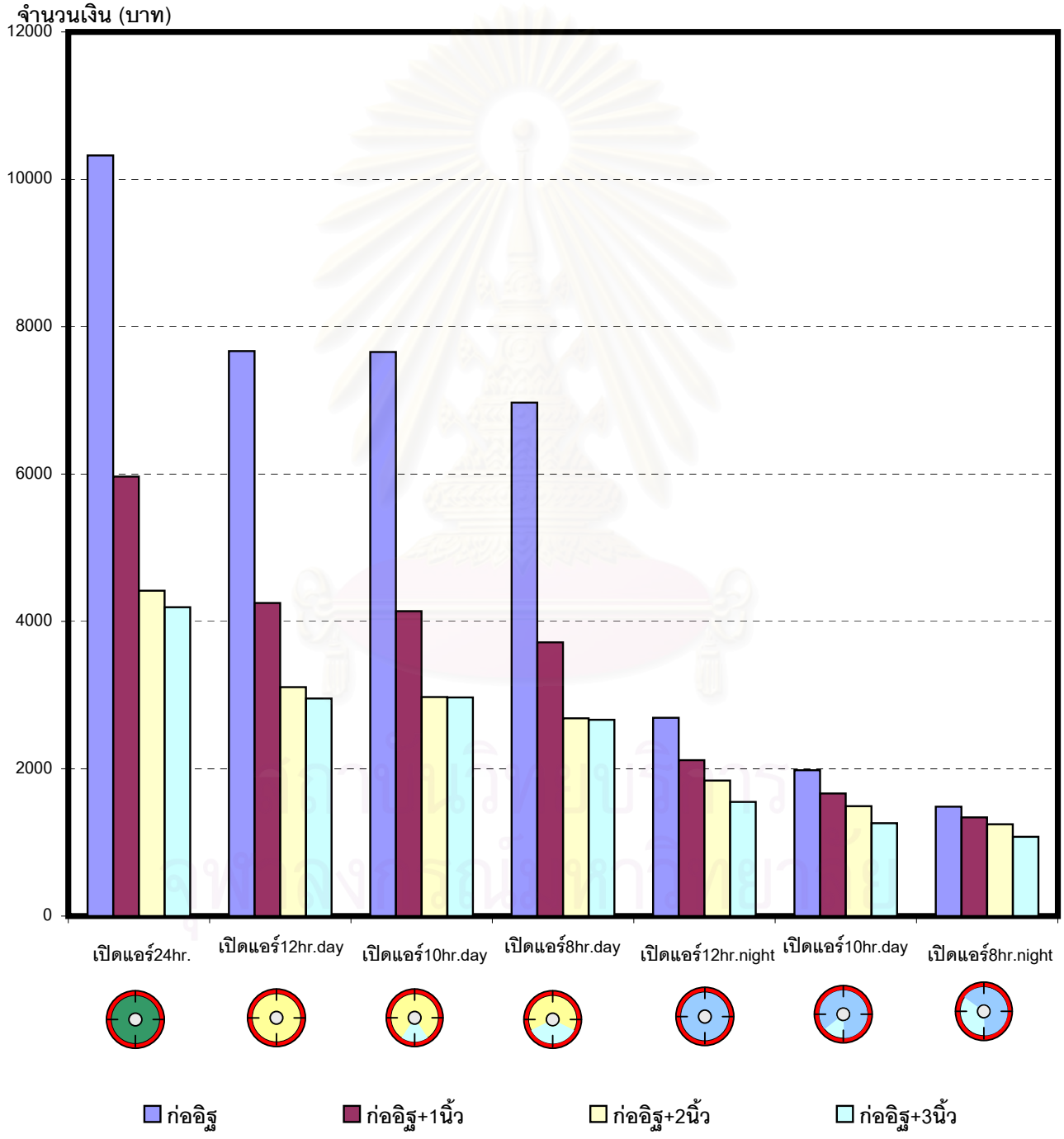
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศตะวันออก ควรติดฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-42 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-43 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐ
ฉาบปูนโดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิด
เครื่องปรับอากาศ ทางทิศตะวันออก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันออก (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 24-25 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.75 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 0.9 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.9 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 8.5 องศาเซลเซียส)

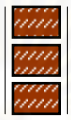
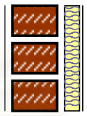
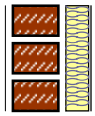
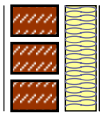
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-6 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

EAST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันออก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

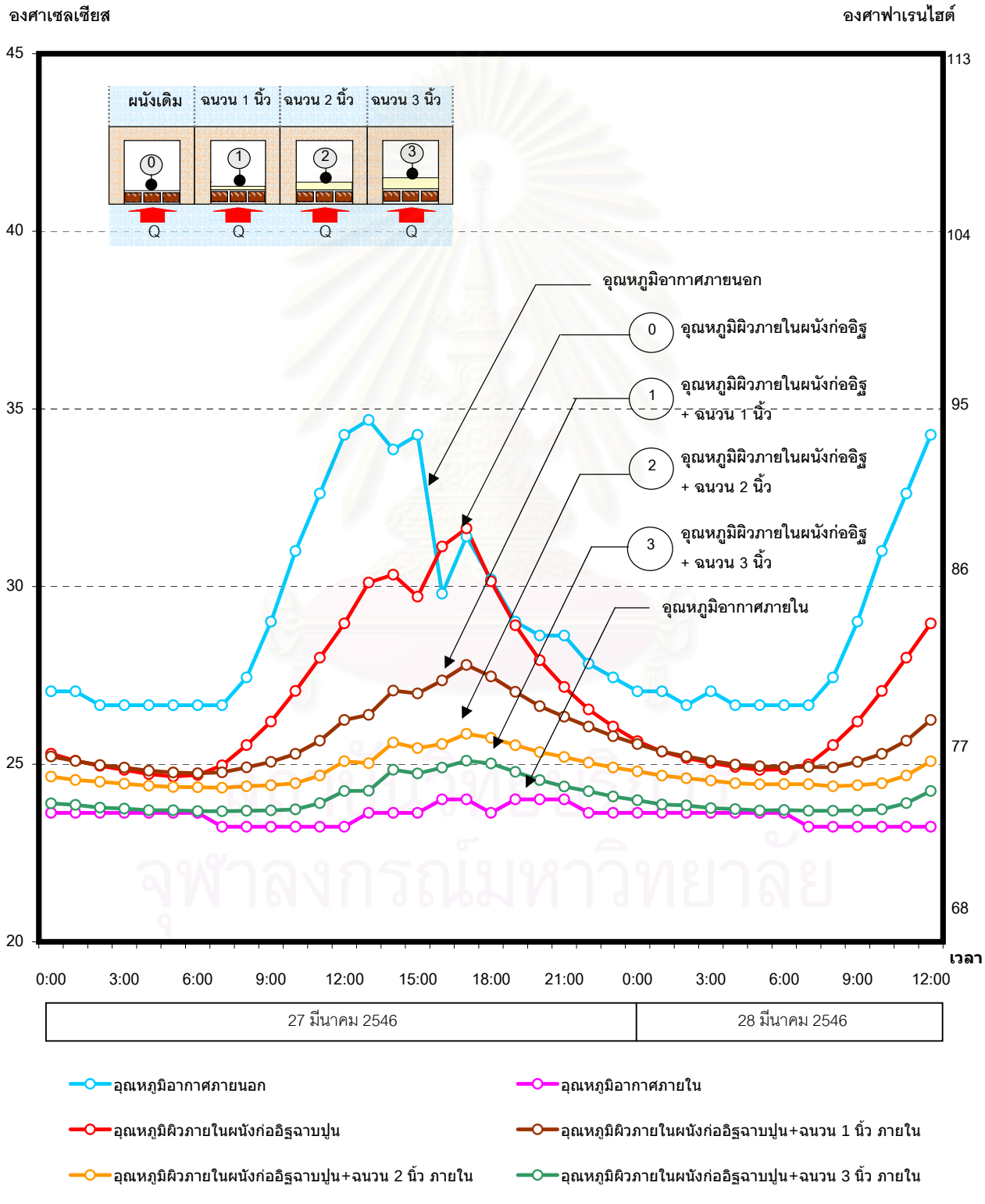
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

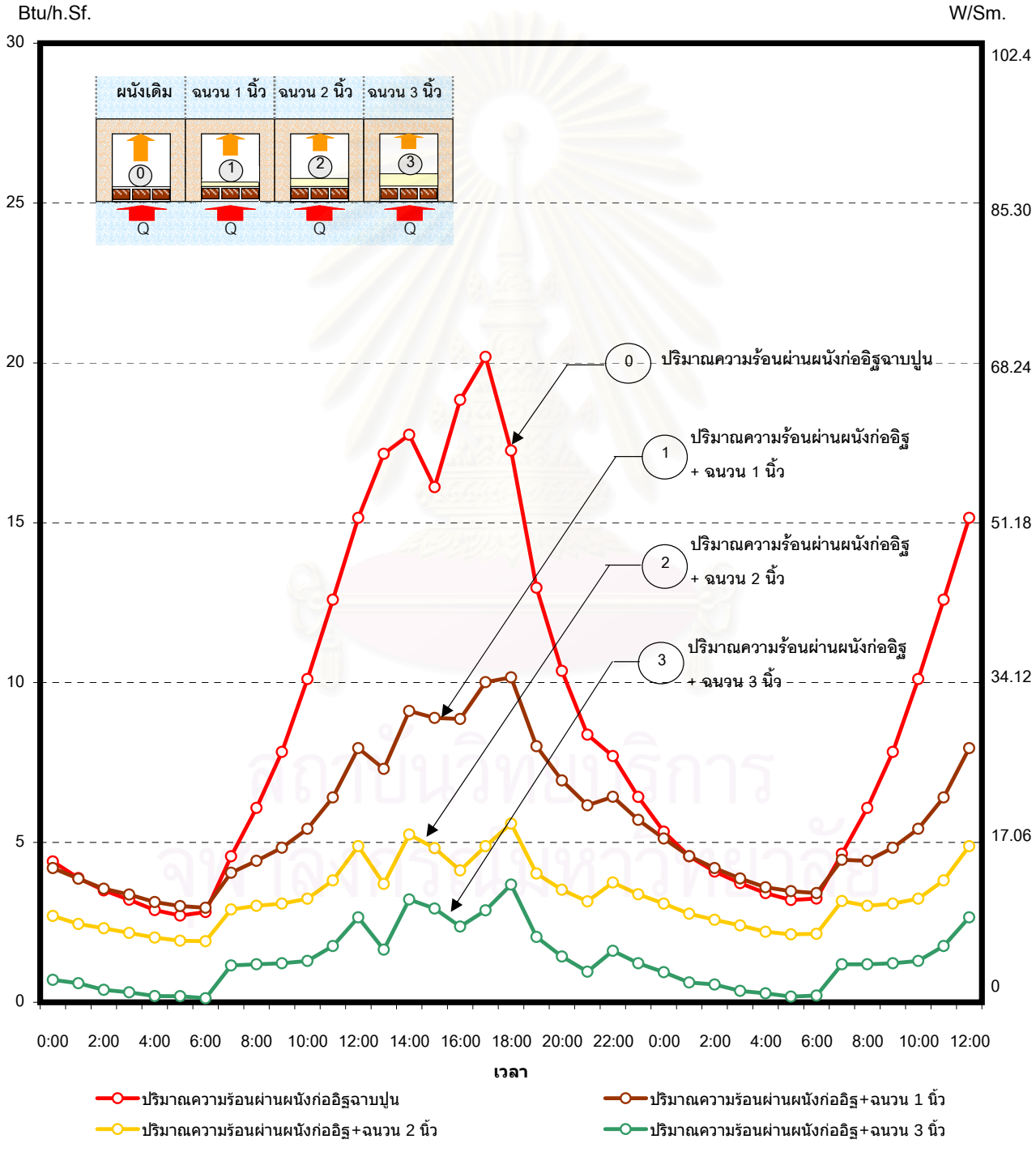
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันออก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

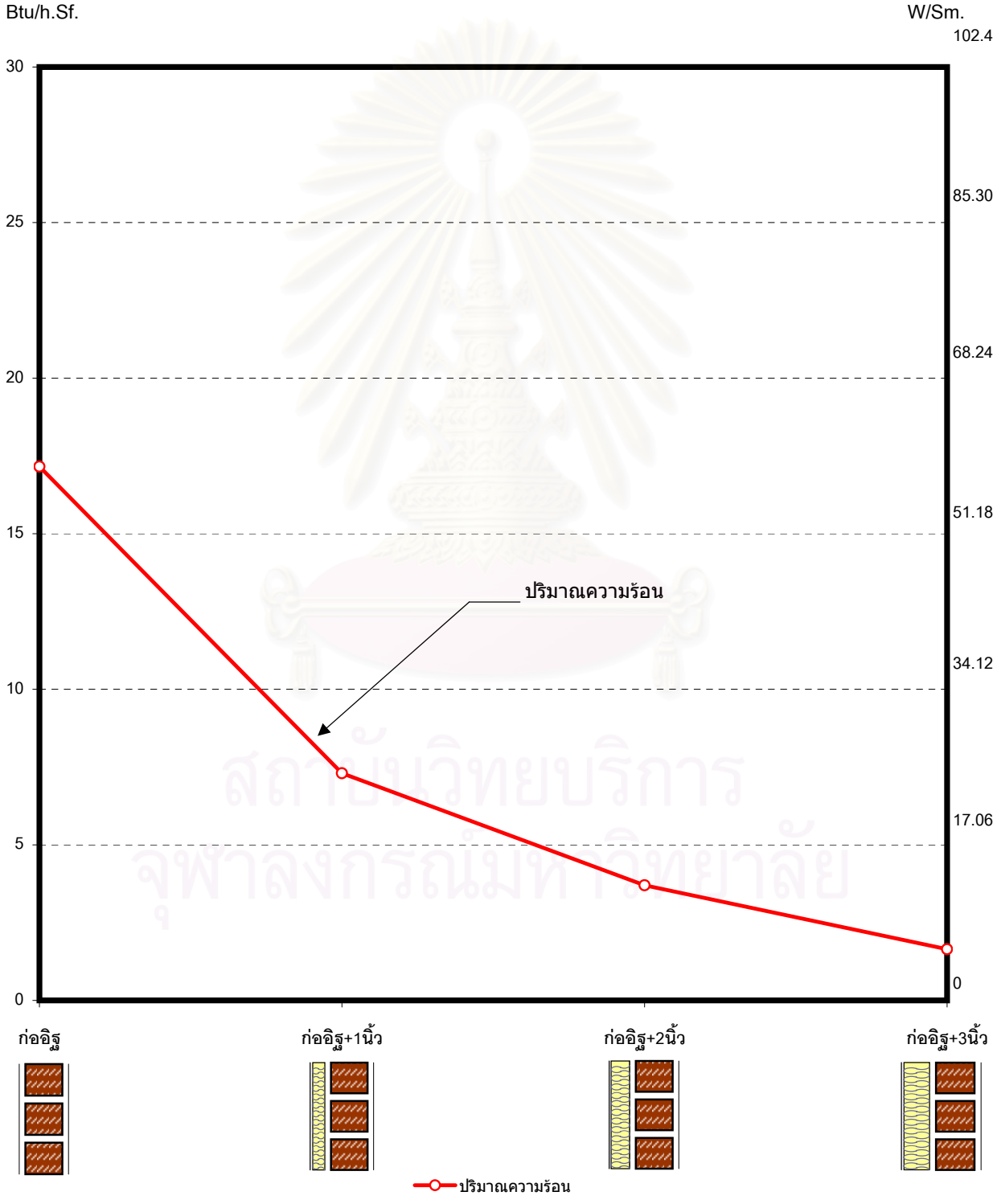
แผนภูมิที่ 4-44 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกัน
ความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4-45 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบ
กับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศตะวันตก

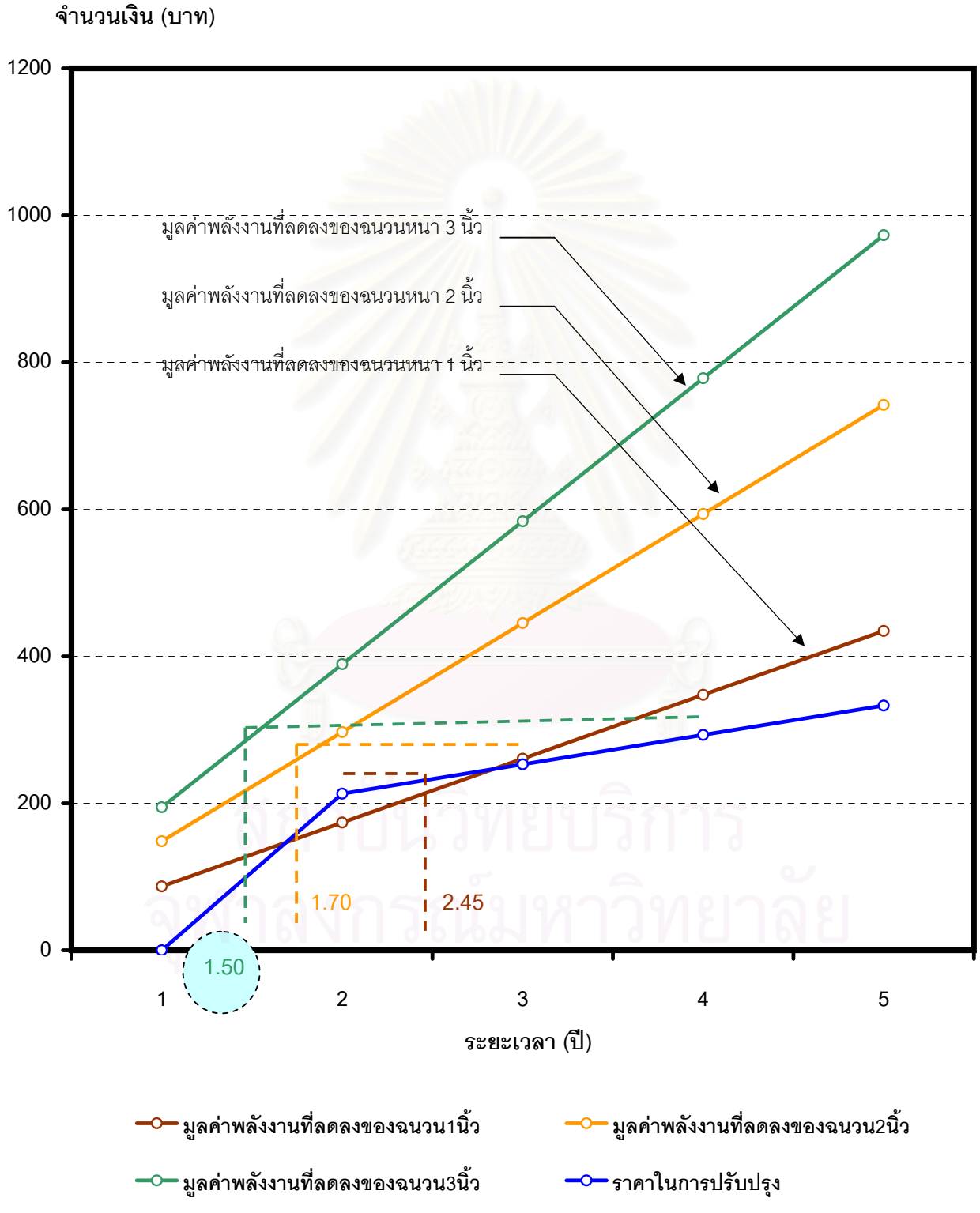


แผนภูมิที่ 4-46 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 47 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันตก



ตารางที่ 4-7 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก

West	BRICK-OUT						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	179.0699162	57.57875118	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	68.28203647	21.95563874	35.62311245	43756.58148	109.3914537	451	4.122808362
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	30.31133294	9.746409306	47.83234188	58753.42217	146.8835554	491	3.342784007
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	28.56267265	9.184139115	48.39461207	59444.06989	148.6101747	531	3.573106626

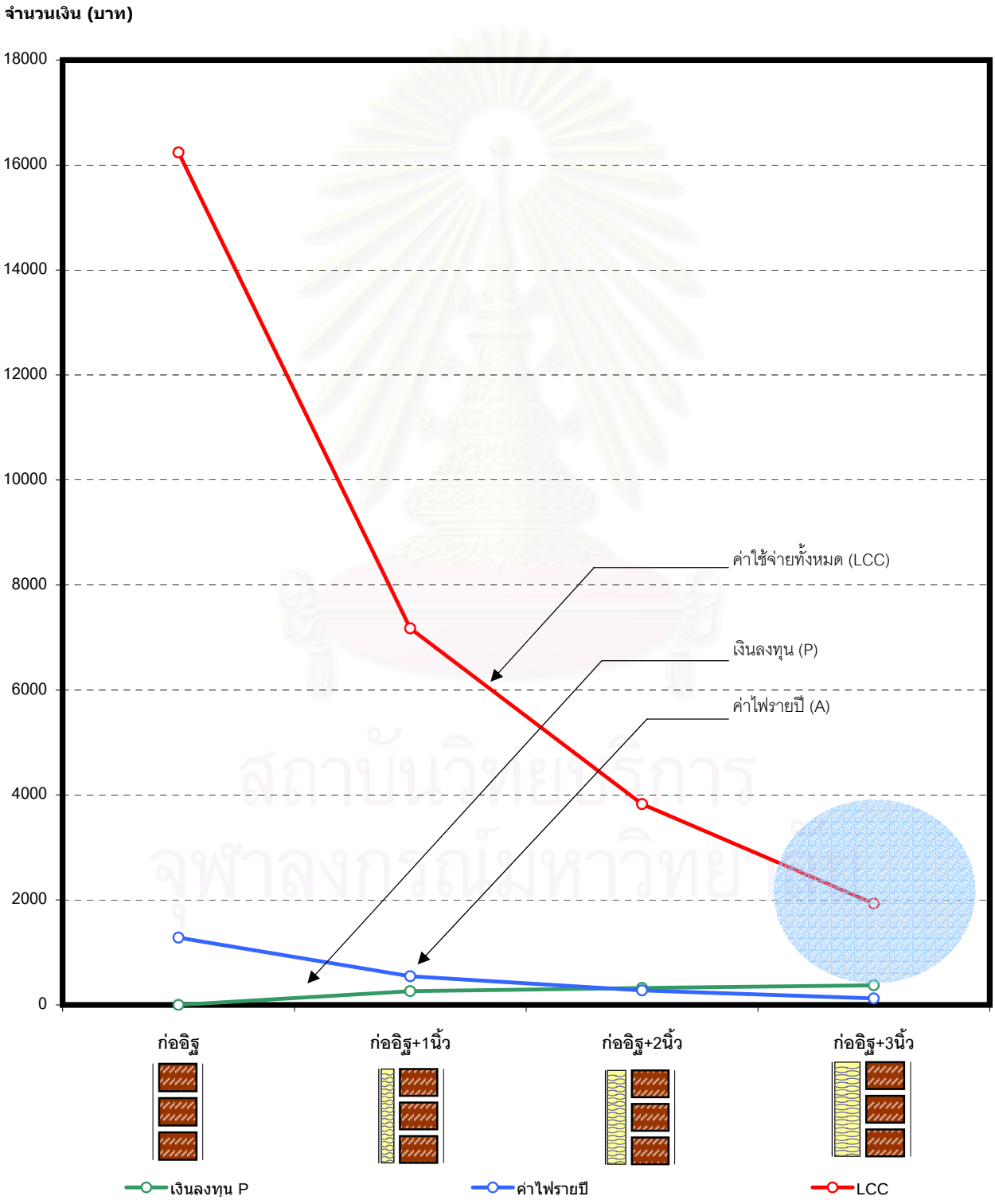
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันออก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 3.34 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.849%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.048%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.980%

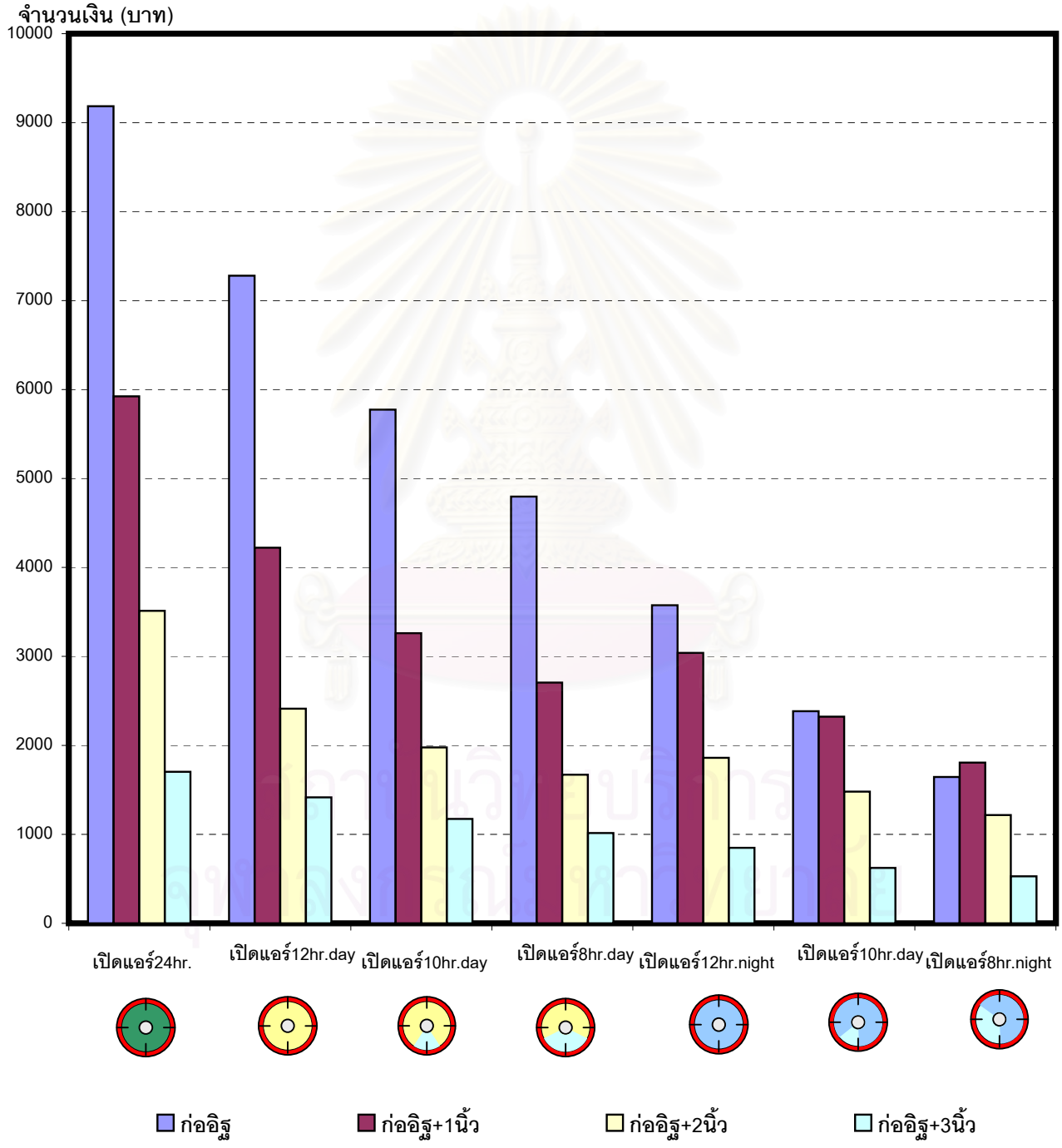
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศตะวันออก ควรติดฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-48 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4-49 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐ
ฉาบปูนโดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิด
เครื่องปรับอากาศ ทางทิศตะวันตก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันตก (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 24-25 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 0.9 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 6.6 องศาเซลเซียส)

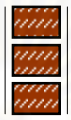
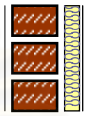
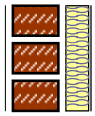
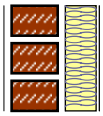
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-8 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

WEST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันตก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

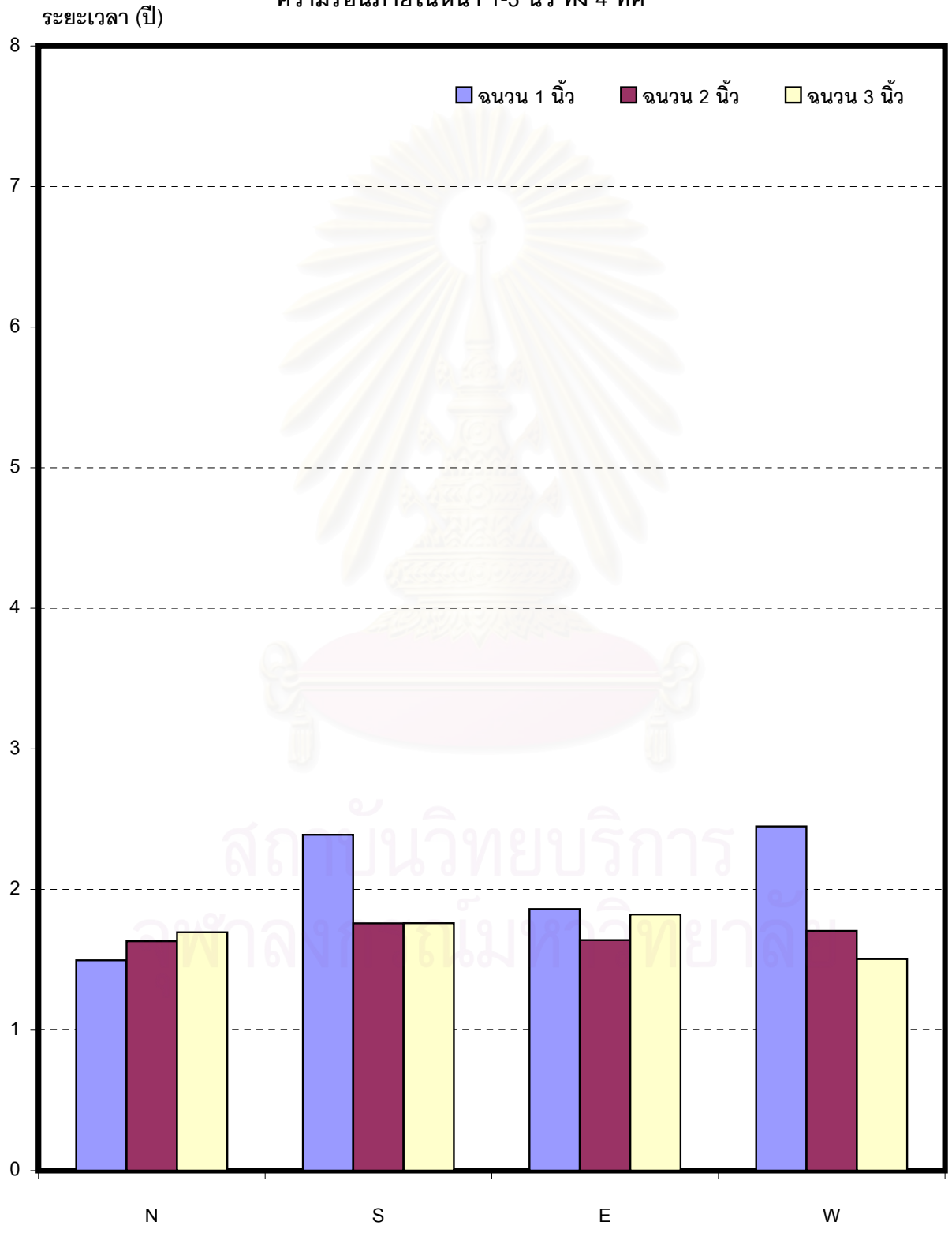
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันตก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-50 แสดงระยะเวลคืนทุนของผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนกัน
ความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ



สรุปการเลือกความหนาฉนวนที่เหมาะสมในการปรับปรุงผนังภายนอกทั้ง 4 ทิศ

ในการปรับปรุงผนังอาคาร การพิจารณาระยะเวลาคืนทุนมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะสามารถทำให้ทราบถึงช่วงเวลาคืนทุนหลังทำการปรับปรุง และใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบในการปรับปรุงผนังอาคาร ซึ่งจากการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า

ทิศเหนือ

ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.46	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**3.44**	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.62	ปี

ทิศใต้

ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.99	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.78	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**3.68**	ปี

ทิศตะวันออก

ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.07	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**2.86**	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.01	ปี

ทิศตะวันตก

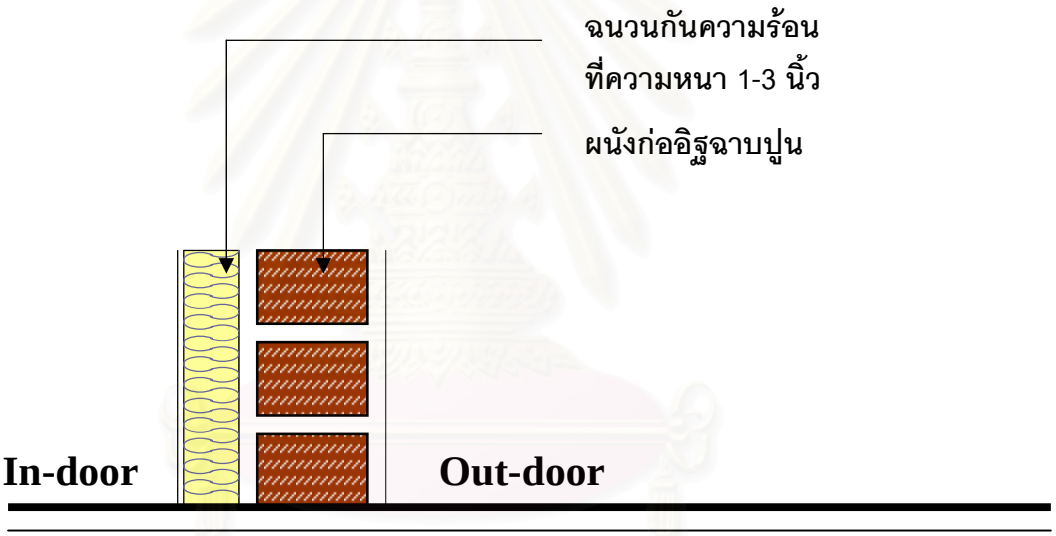
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	4.12	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**3.34**	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.57	ปี

จากผลการวิเคราะห์พบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อน 3 นิ้วภายนอกอาคาร มีช่วงระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดใกล้เคียงกับ ฉนวน 2 นิ้ว ส่วนการติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนที่นานที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด จึงสามารถลดปริมาณความร้อนได้มากกว่าฉนวนหนา 1 และ 2 นิ้ว ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพบว่า อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของผนังที่ปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าน้อยที่สุดทั้ง 4 ทิศ

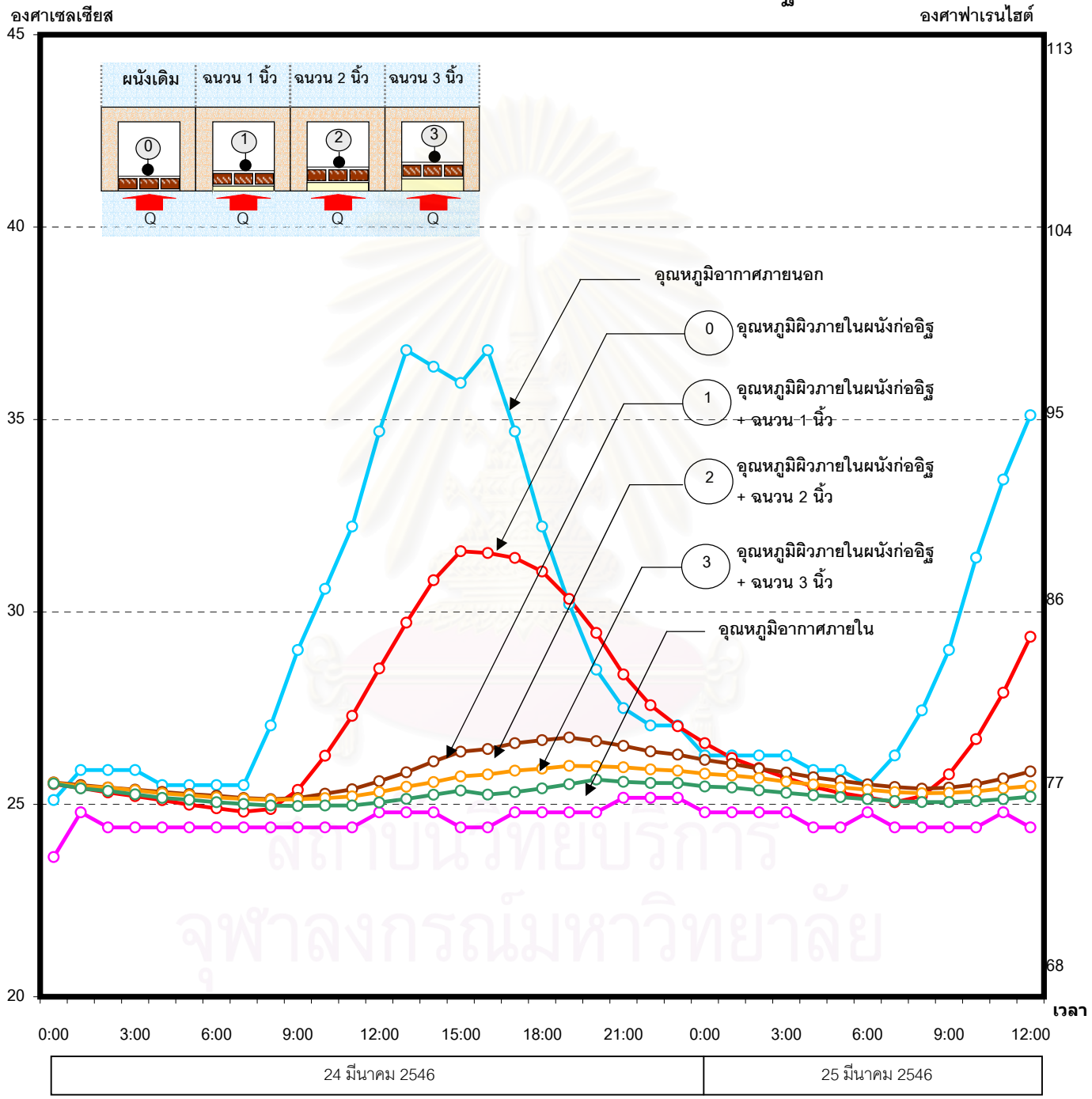
ดังนั้น **การเลือกใช้ฉนวน 2 หรือ 3 นิ้วติดตั้งภายนอกอาคารทั้ง 4 ทิศ จึงมีความเหมาะสมที่สุด**

4.1.2 การปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว ภายในอาคาร



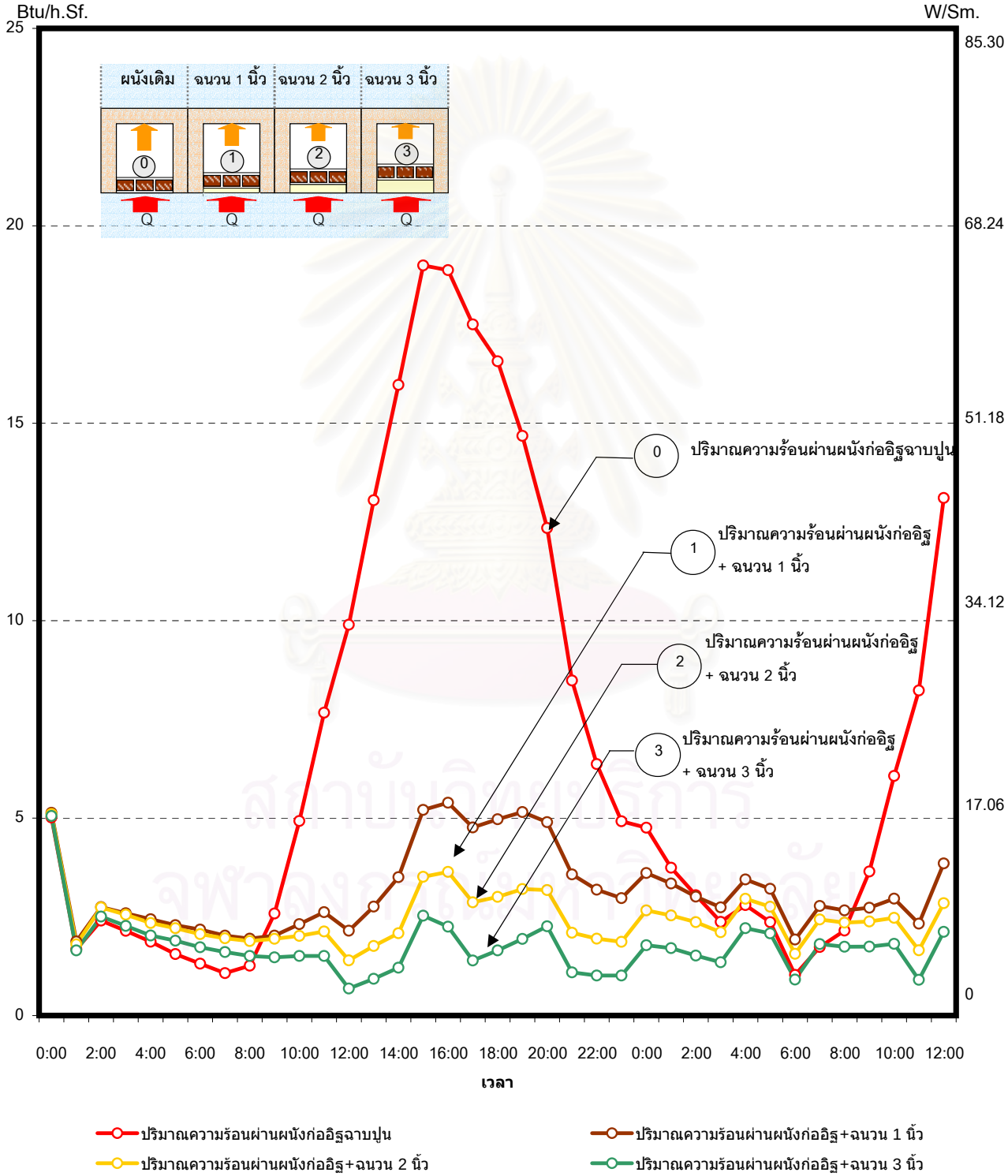
ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก) จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

แผนภูมิที่ 4-1 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกัน
ความร้อนภายนอกความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐ ทิศเหนือ

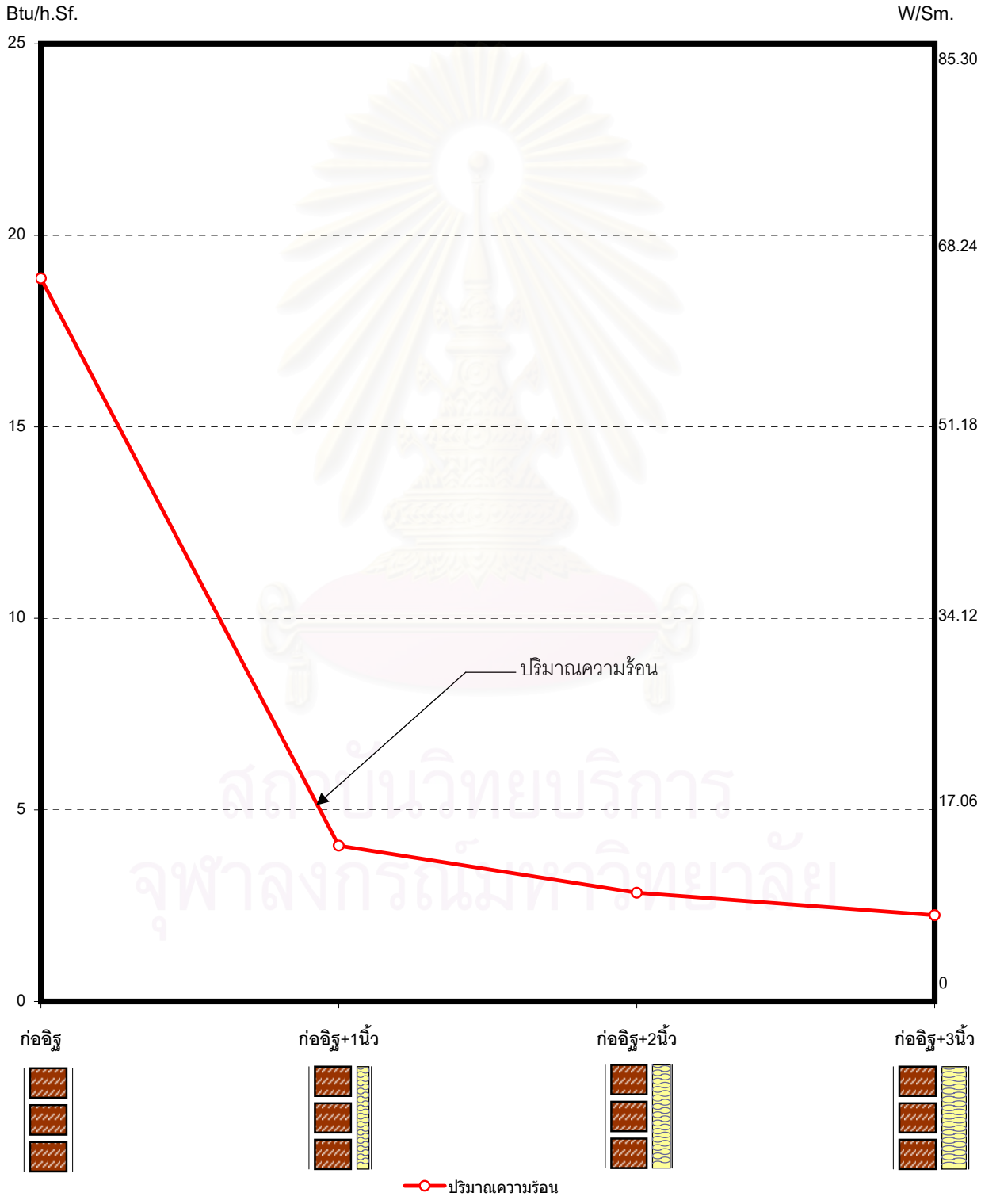


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

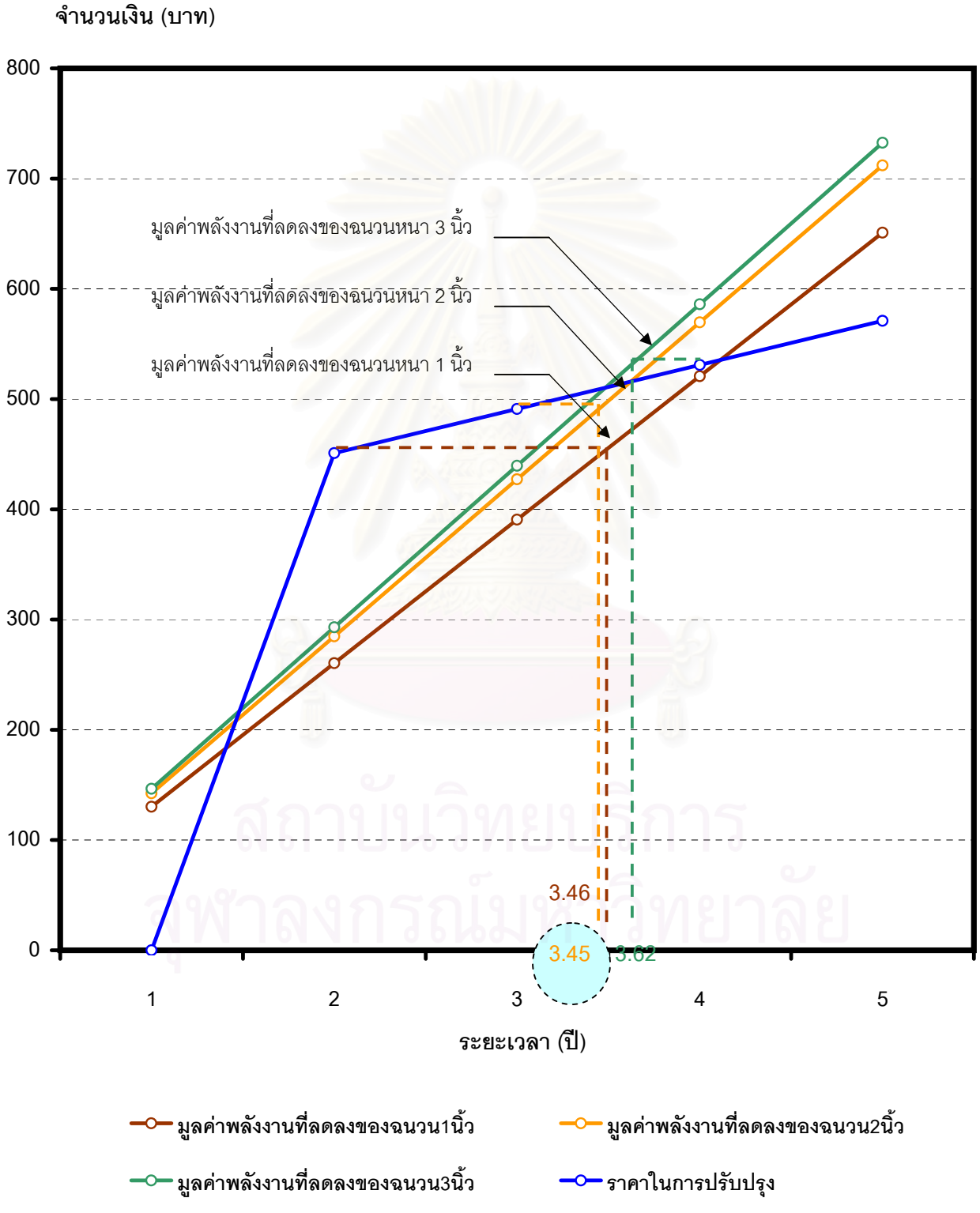
แผนภูมิที่ 4-2 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับ
ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-3 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว



แผนภูมิที่ 4- 4 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอก
หนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศเหนือ



ตารางที่ 4-9 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ

North	BRICK-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	228.4885482	73.46898657	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	84.32744824	27.11493512	46.35405145	56937.60847	142.3440212	213	1.496374756
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	71.49814147	22.9897561	50.47923047	62004.64837	155.0116209	253	1.632135697
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	53.48492471	17.19772499	56.27126159	69119.11603	172.7977901	293	1.695623537

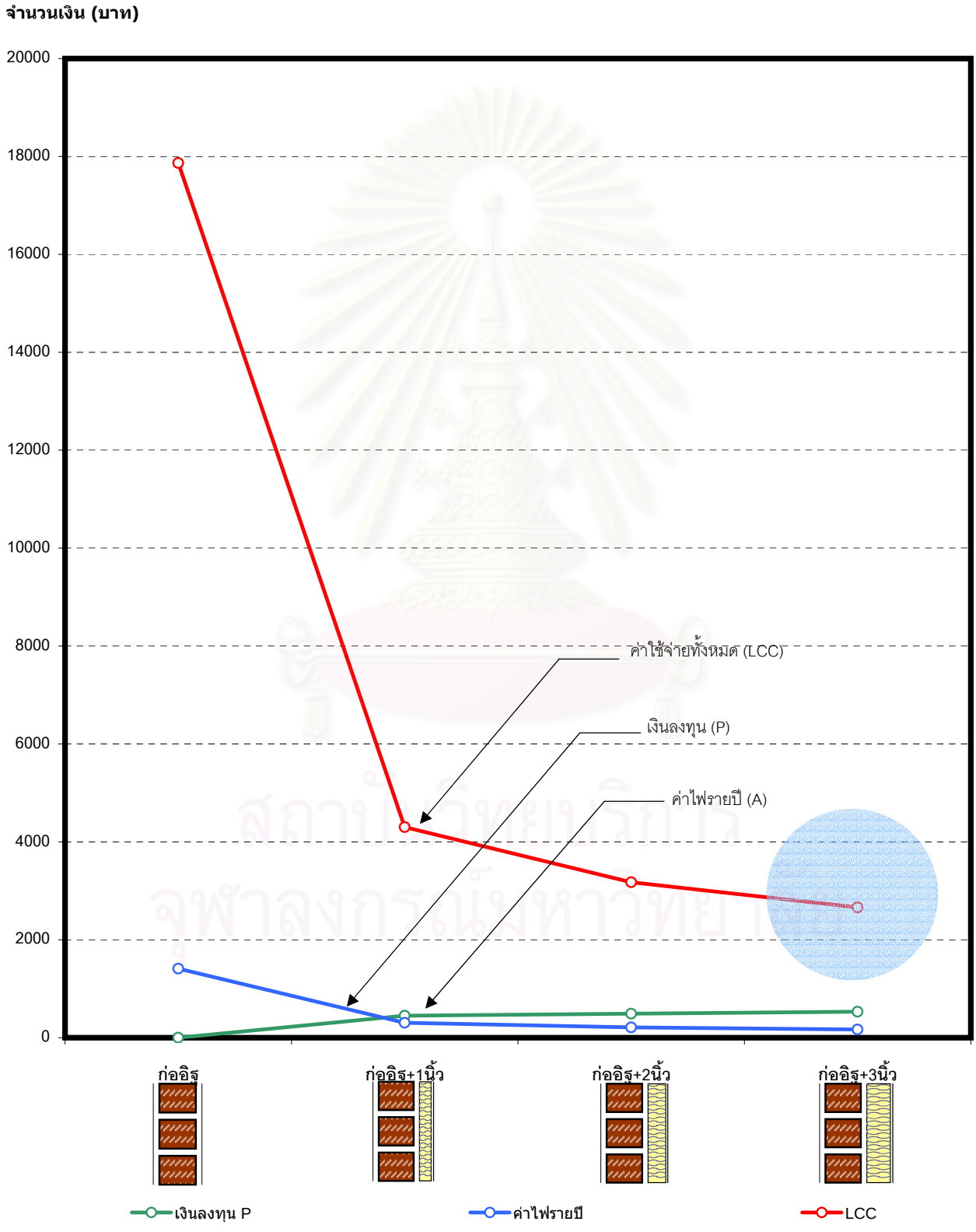
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศเหนือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 1 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 1.49 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 2 และ 3 นิ้ว และเมื่อ พิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 2.348%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 2.147%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 2.071%

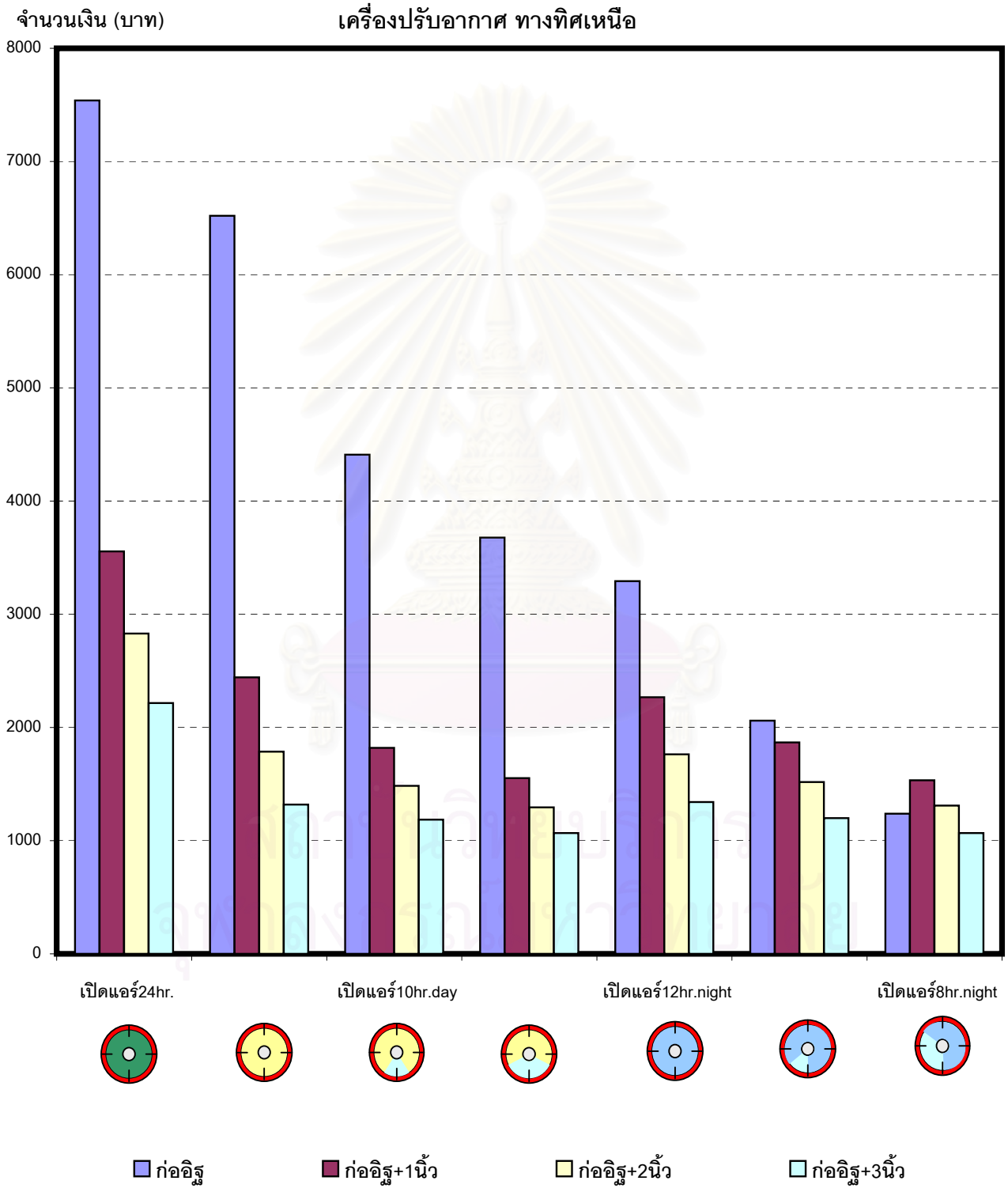
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศเหนือ ควรติดฉนวนที่ความหนา 1 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-5 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-6 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐ
ฉาบปูนโดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิด
เครื่องปรับอากาศ ทางทิศเหนือ



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศเหนือ (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 27-28 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.7 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 2.6 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 5.9 องศาเซลเซียส)

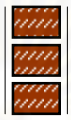
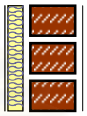
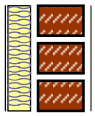
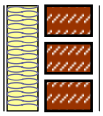
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-10 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

NORTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศเหนือ

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

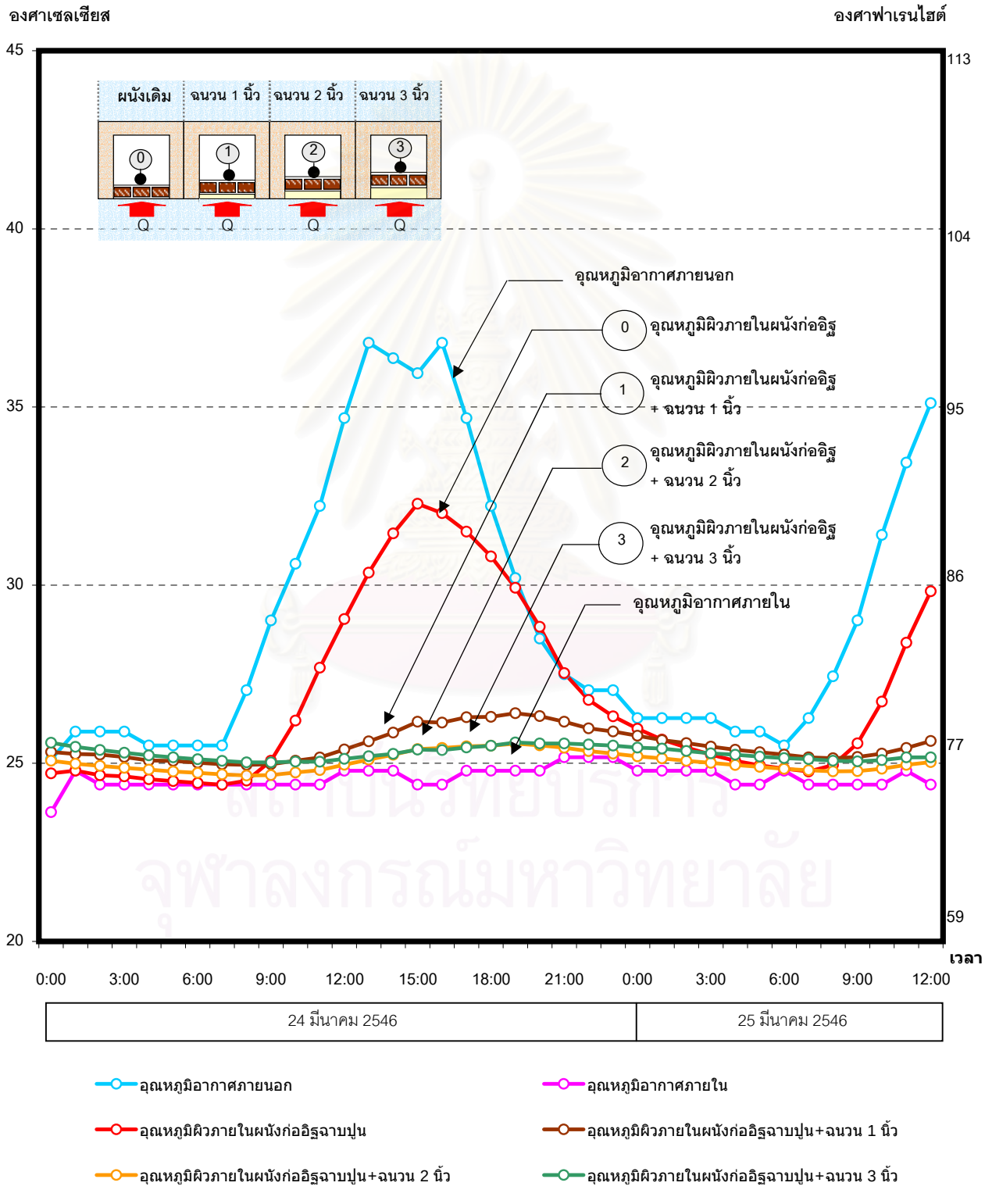
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

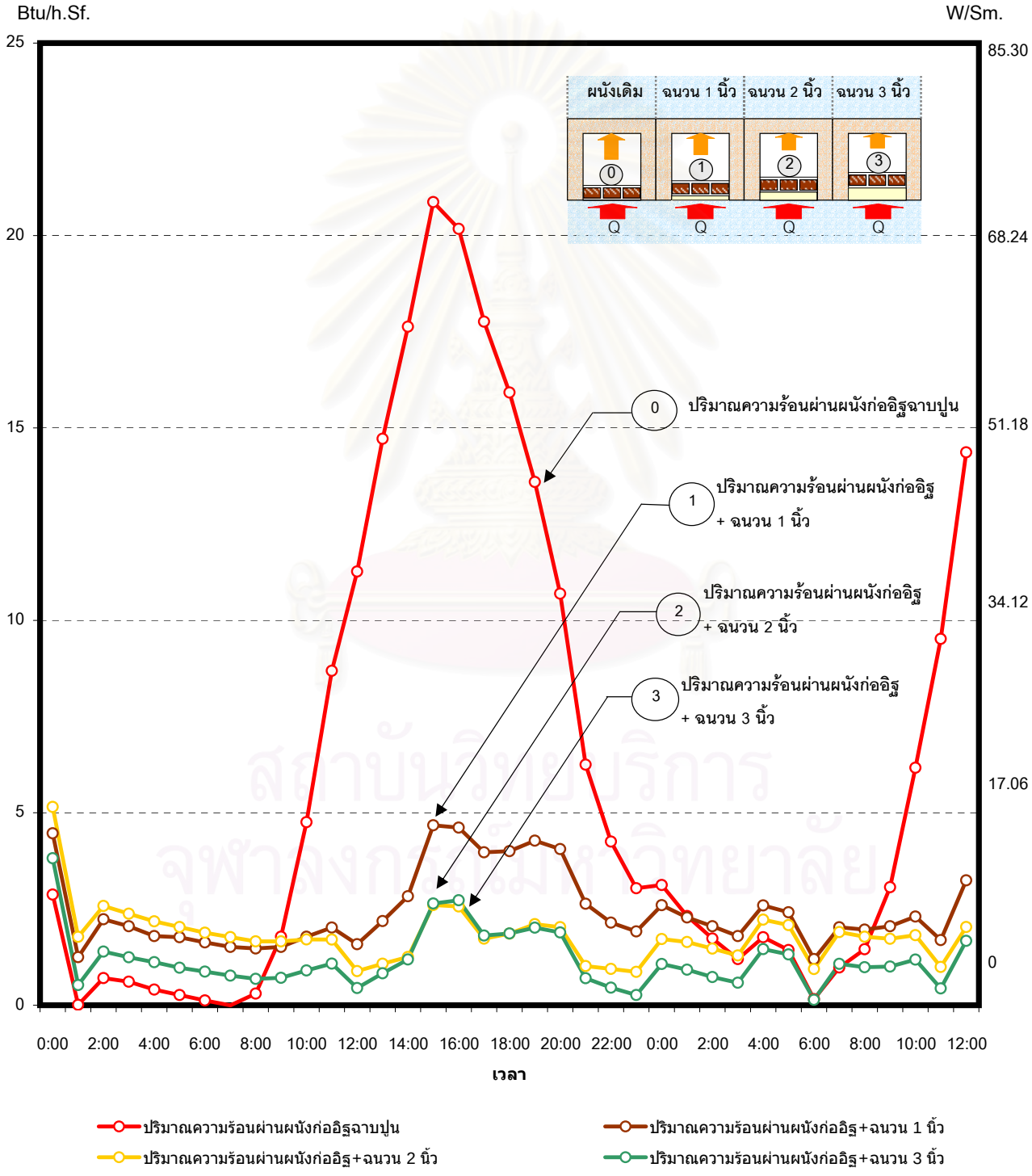
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศเหนือ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

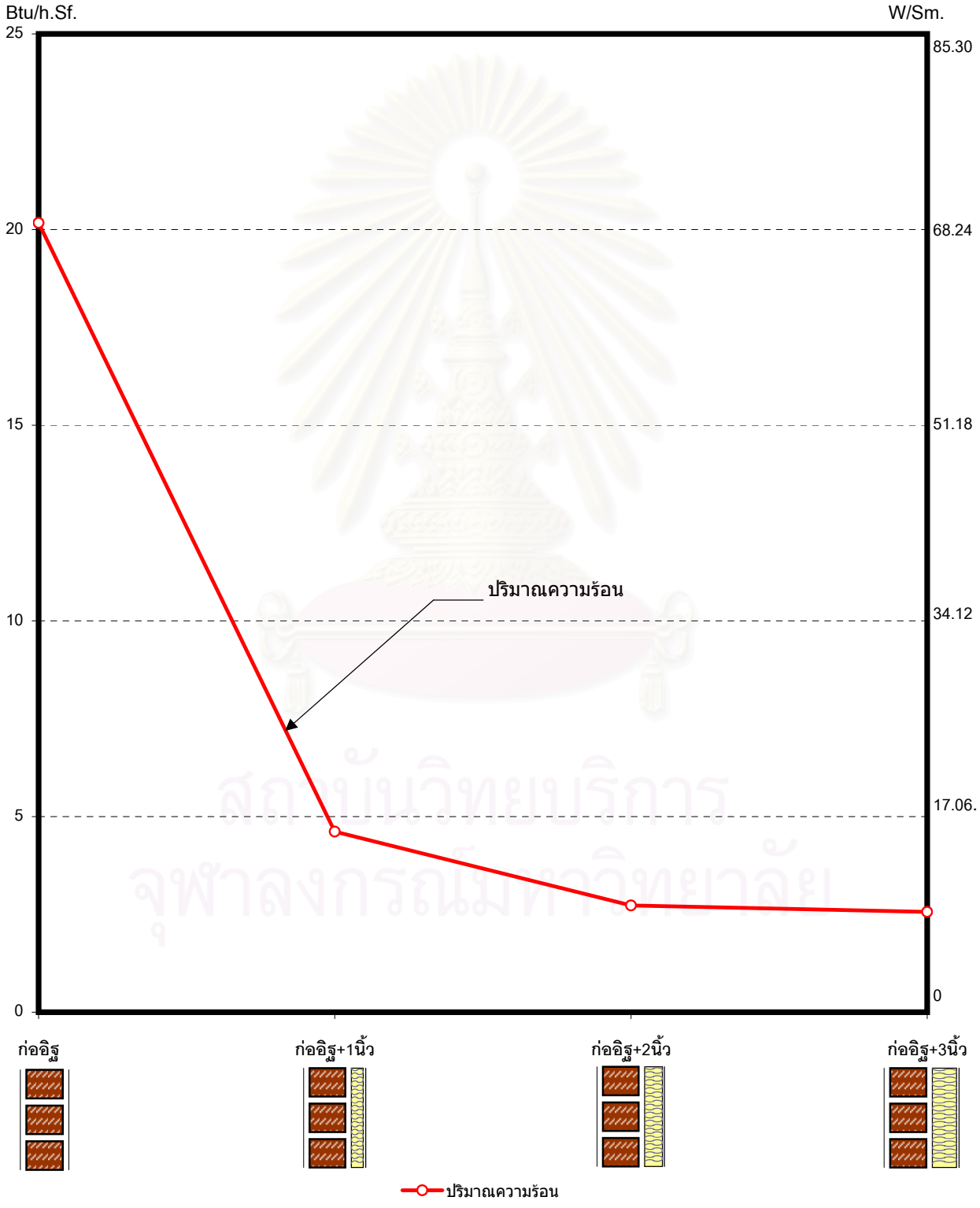
แผนภูมิที่ 4-7 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกัน
ความร้อนภายนอกที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-8 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับ
ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศใต้

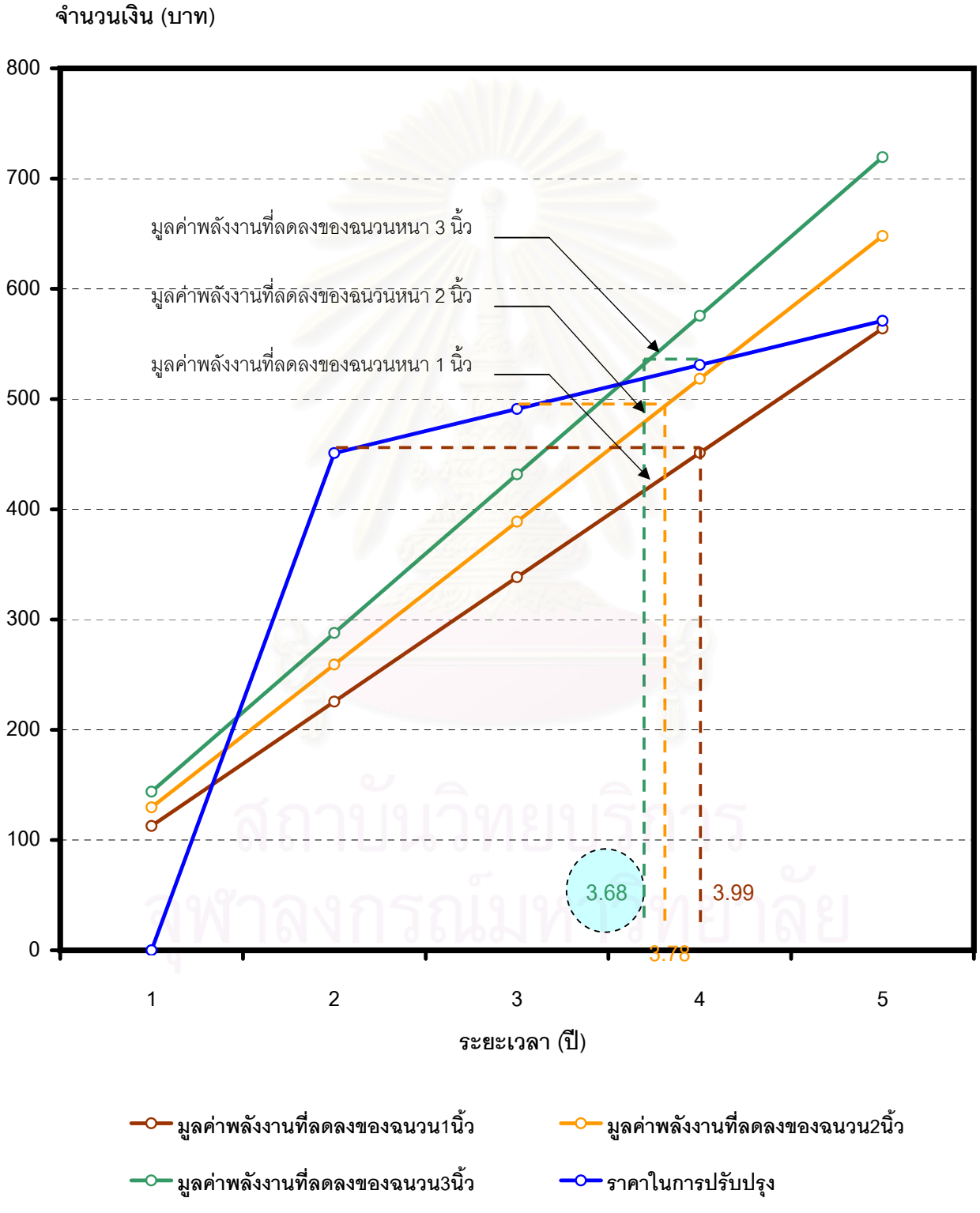


แผนภูมิที่ 4-9 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 10 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
ภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศใต้



ตารางที่ 4-3 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้

South	BRICK-OUT						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	176.6999118	56.81669189	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	62.41277647	20.06841687	36.74827501	45138.64117	112.8466029	451	3.996575779
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	45.42043765	14.60464233	42.21204956	51849.90471	129.6247618	491	3.787856527
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	30.93528441	9.947036788	46.8696551	57570.93475	143.9273369	531	3.689361671

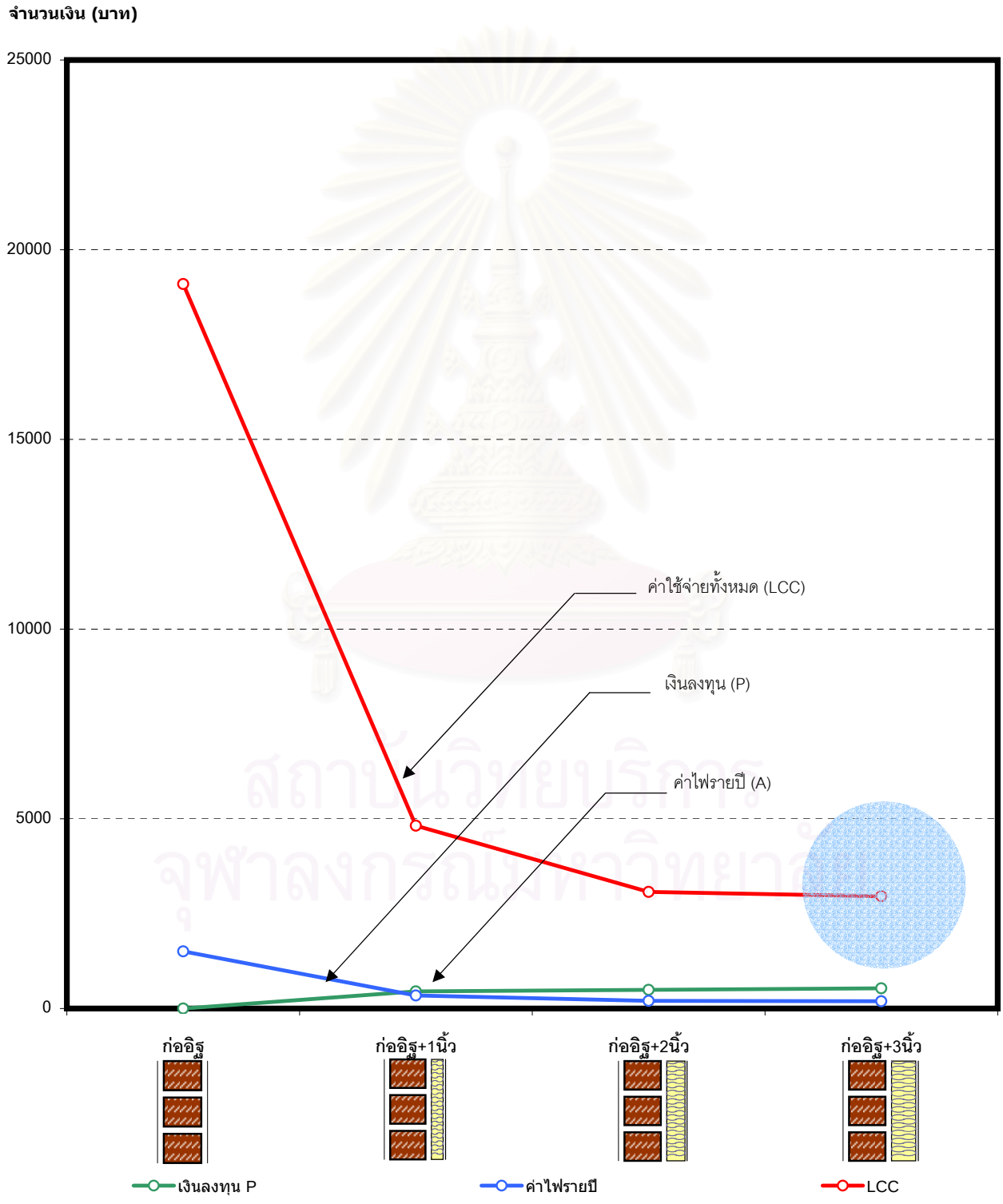
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศใต้ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 3.68 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.877%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.923%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.951%

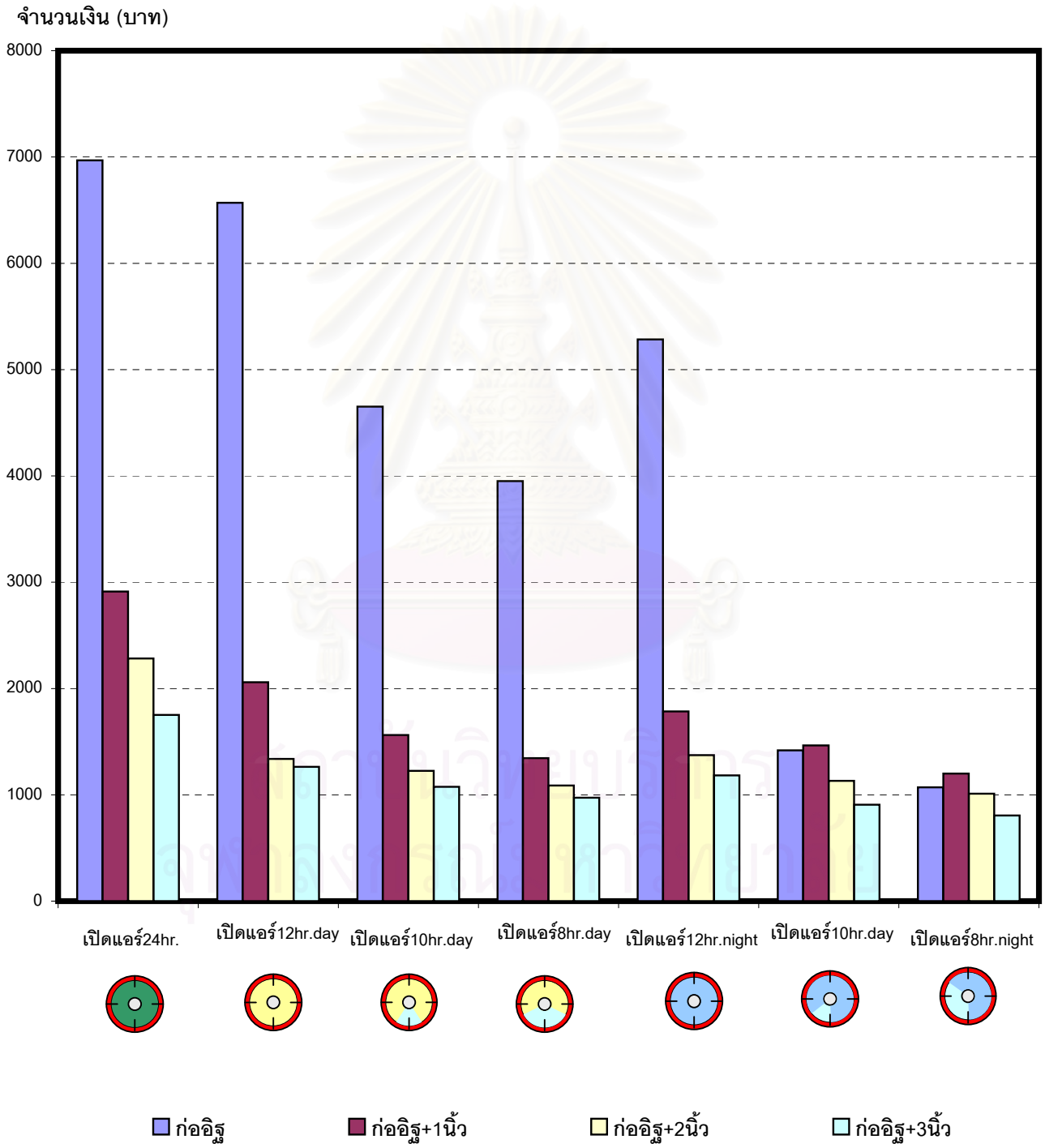
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศใต้ ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-11 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-12 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูน
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ ทางทิศใต้



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศใต้ (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 27-28 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.9 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 3.1 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 7.4 องศาเซลเซียส)

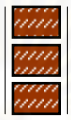
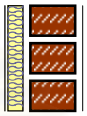
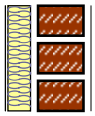
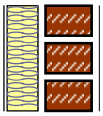
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-12 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

SOUTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศใต้

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

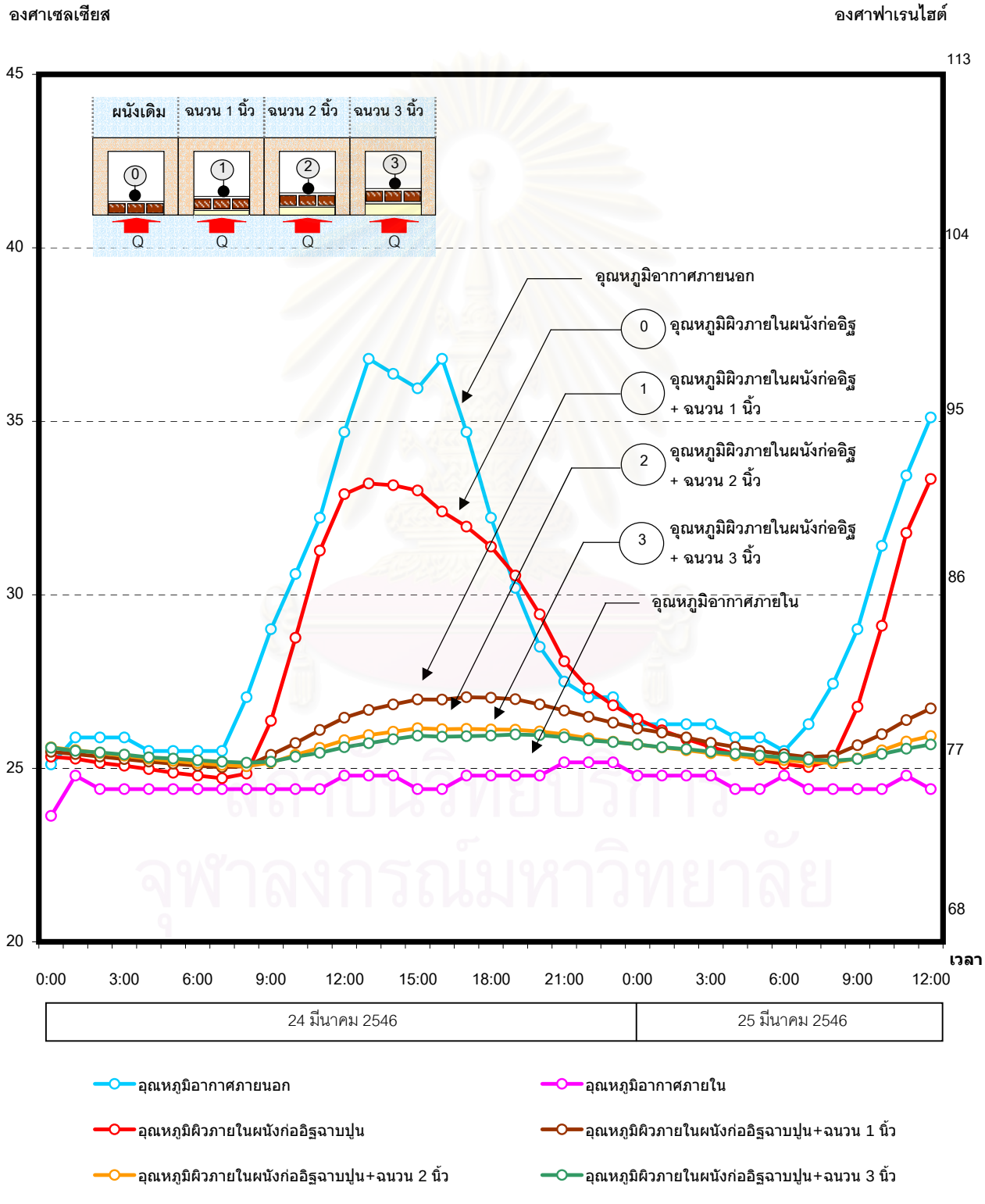
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

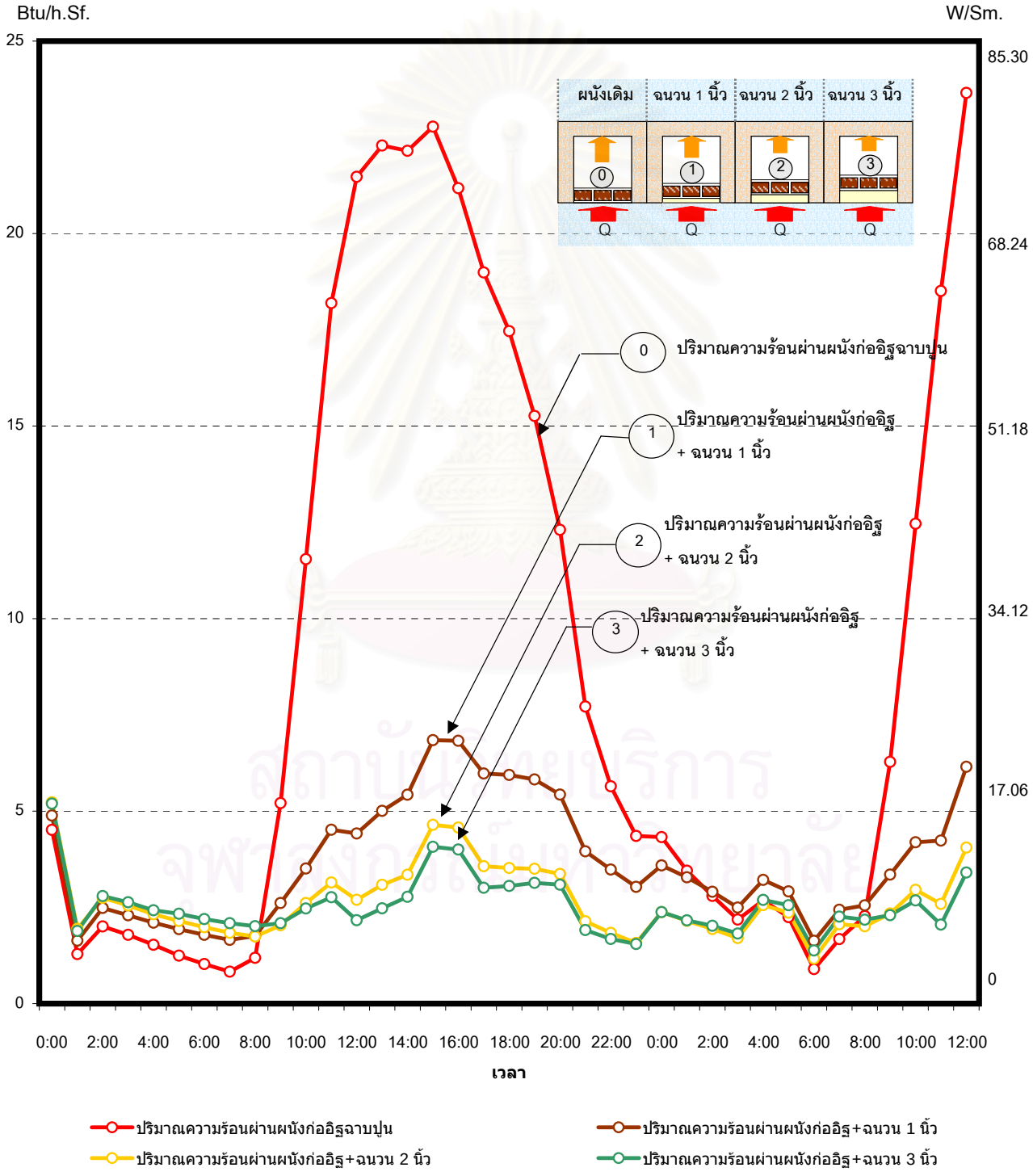
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศใต้ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

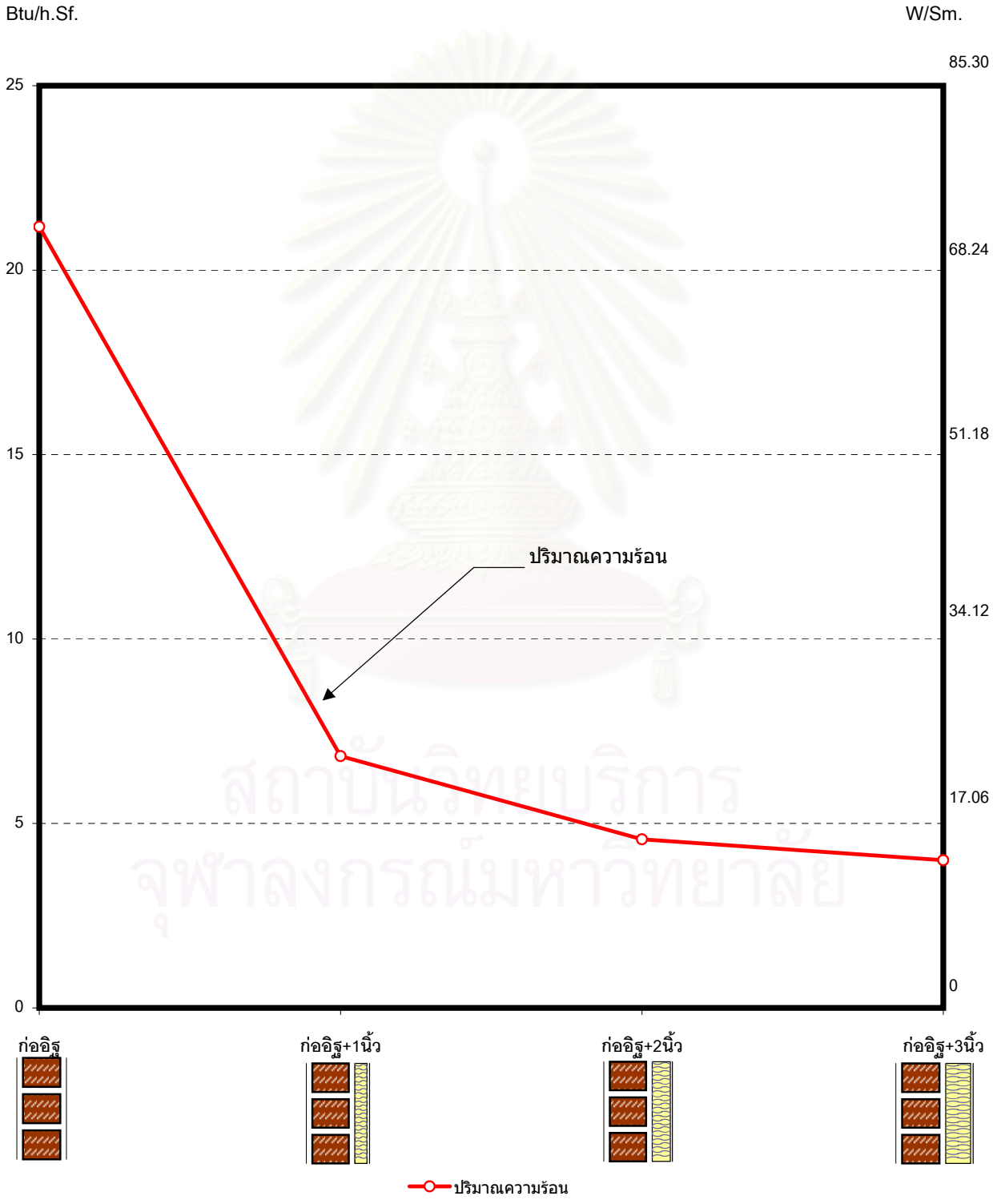
แผนภูมิที่ 4-13 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-14 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบ
กับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศตะวันออก

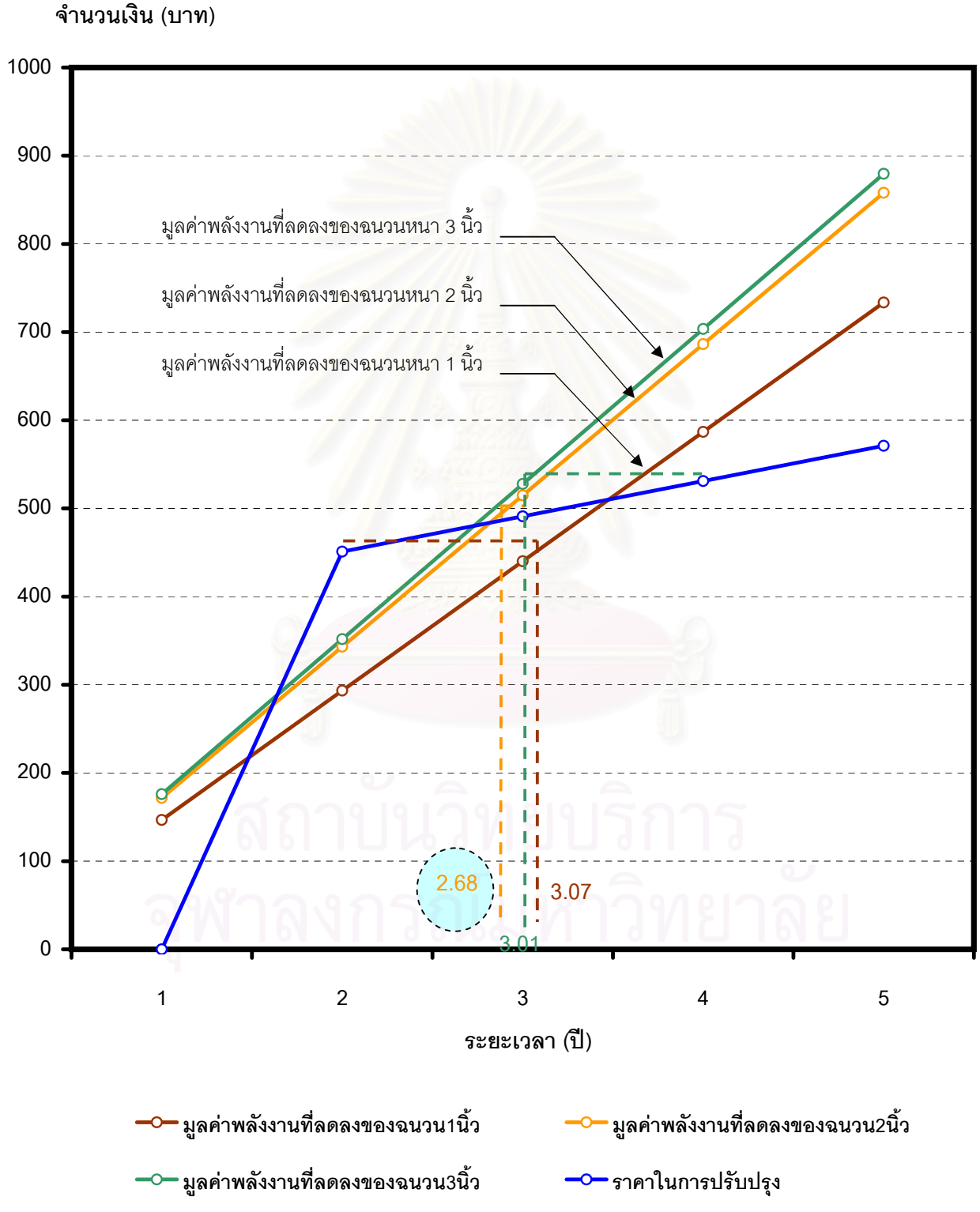


แผนภูมิที่ 4-15 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว
ภายนอก ทิศตะวันออก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 16 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
ภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันออก



ตารางที่ 4-13 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก

East	BRICK-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	261.7615059	84.16768678	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	145.8335647	46.89182145	37.27586533	45786.6909	114.4667273	213	1.860802742
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	105.5495329	33.93875657	50.22893021	61697.19955	154.2429989	253	1.640268938
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	98.88126353	31.7946185	52.37306828	64330.88723	160.8272181	293	1.821830928

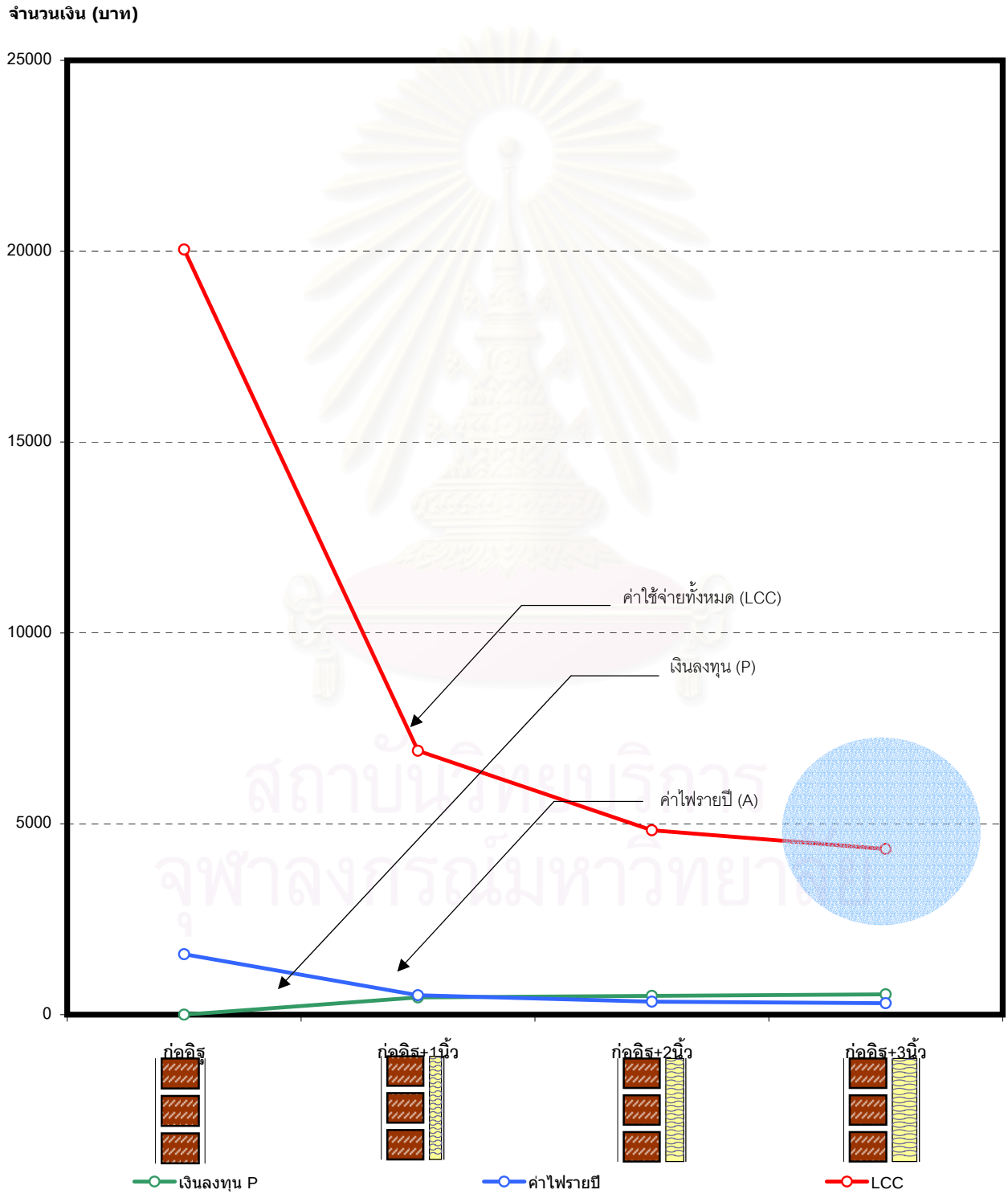
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันออก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 1.64 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.881%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 2.134%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.922%

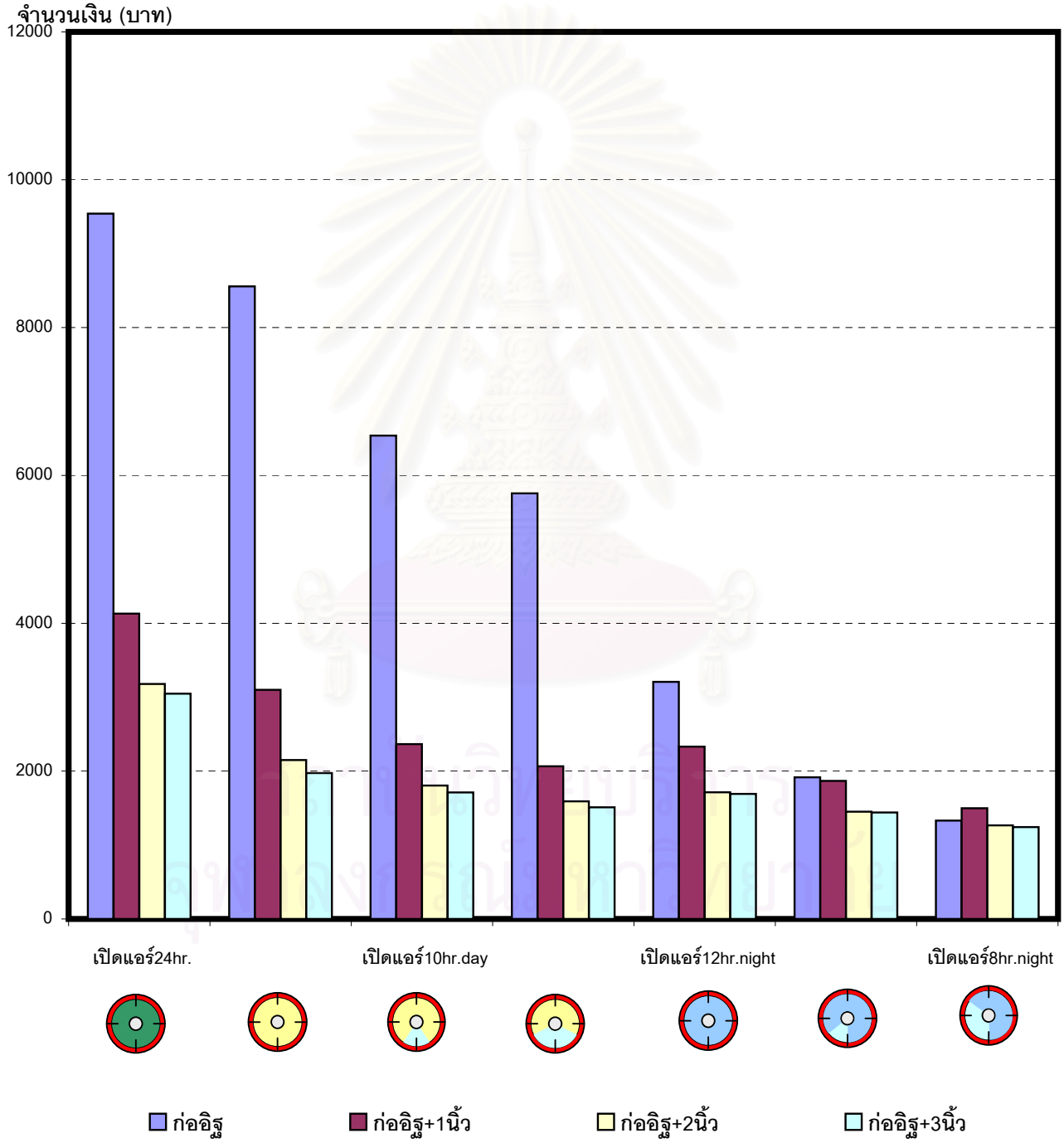
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศตะวันออก ควรติดฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-17 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-18 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐ
ฉาบปูนโดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิด
เครื่องปรับอากาศ ทางทิศตะวันออก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันออก (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 27-28 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 2.1 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 2.3 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 3.5 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 8.3 องศาเซลเซียส)

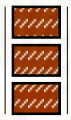
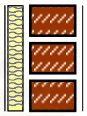
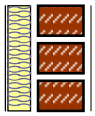
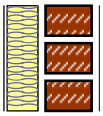
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-14 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

EAST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันออก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

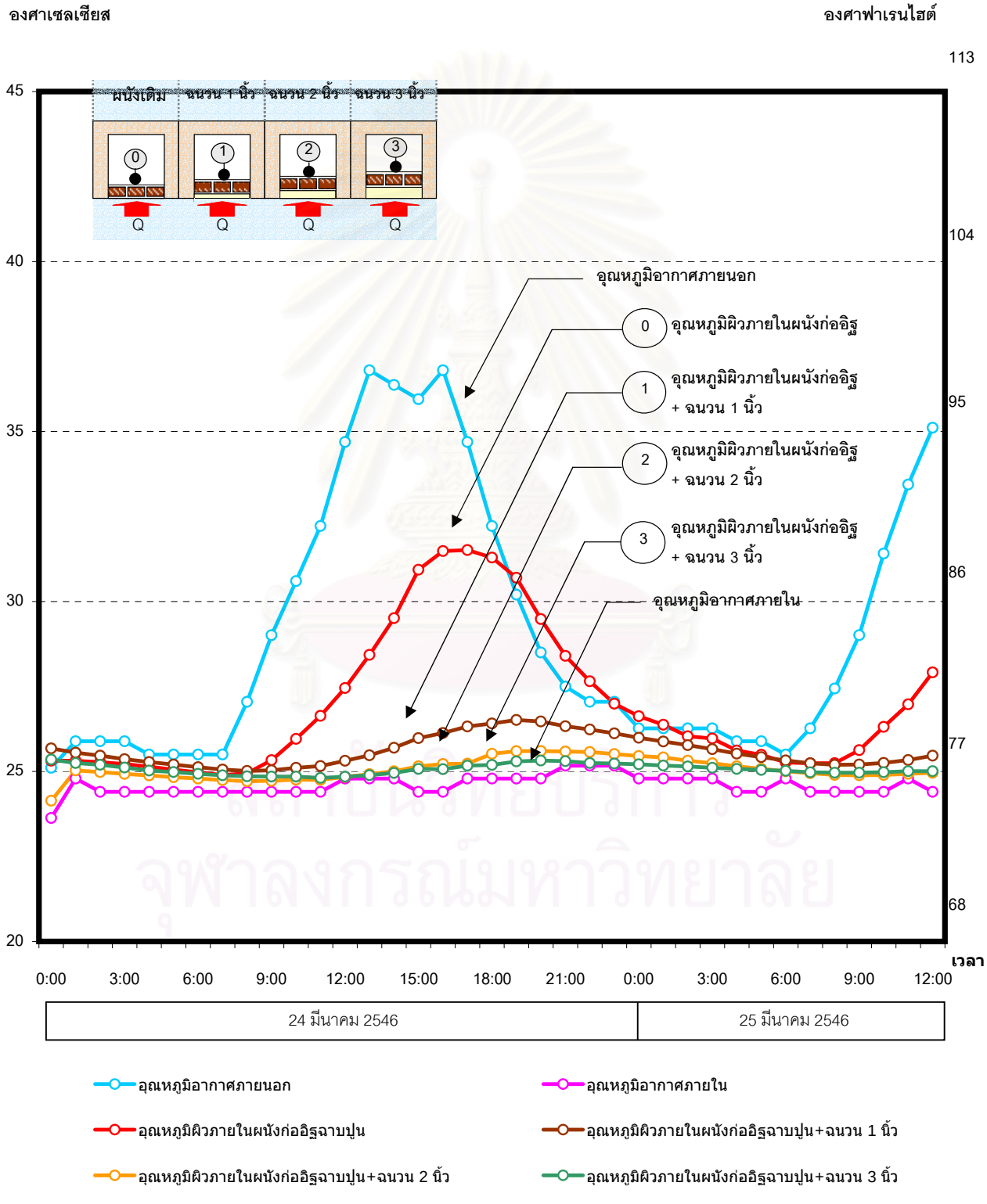
เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันออก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

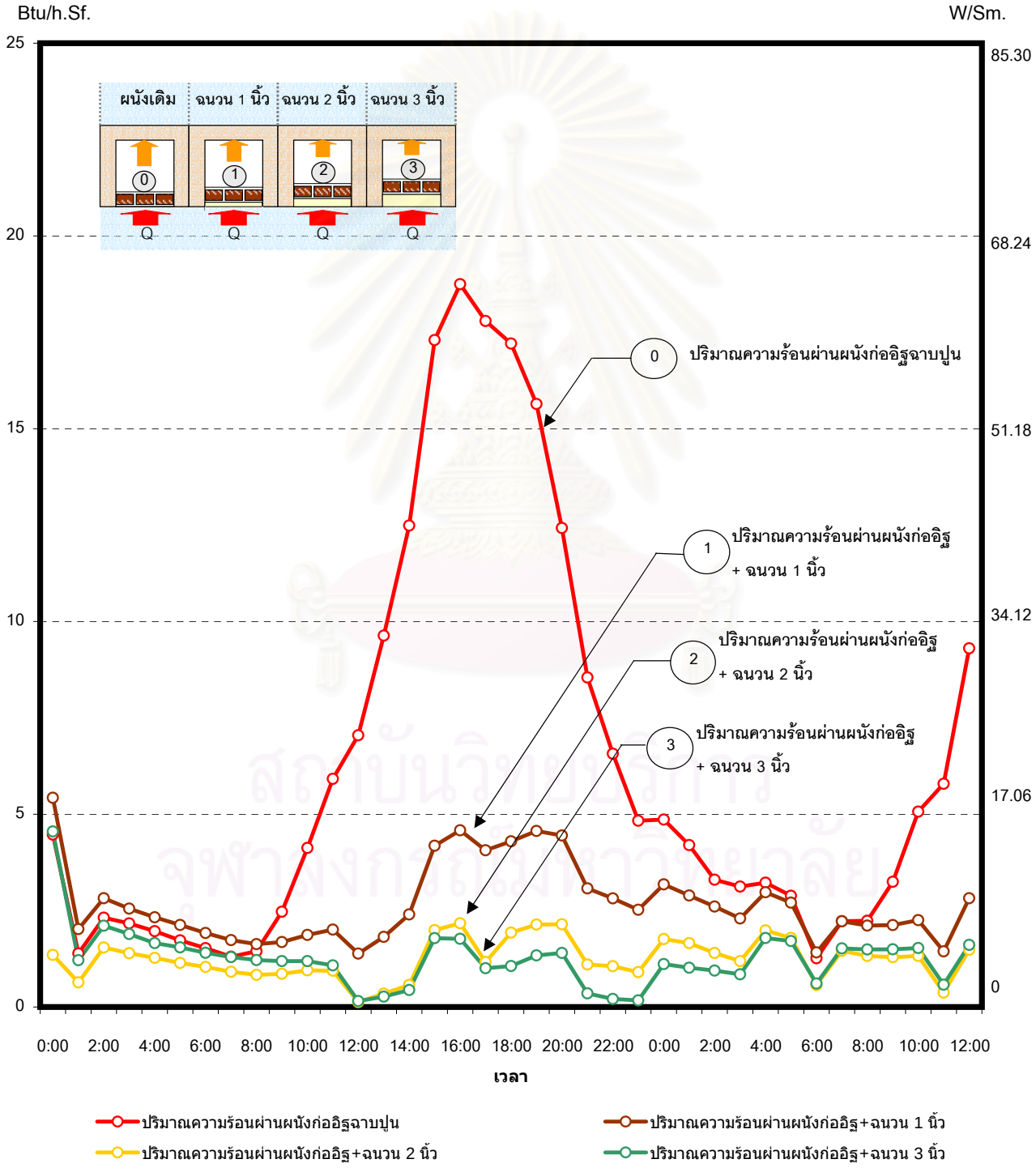
W-out

แผนภูมิที่ 4-19 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูน ทิศตะวันตก



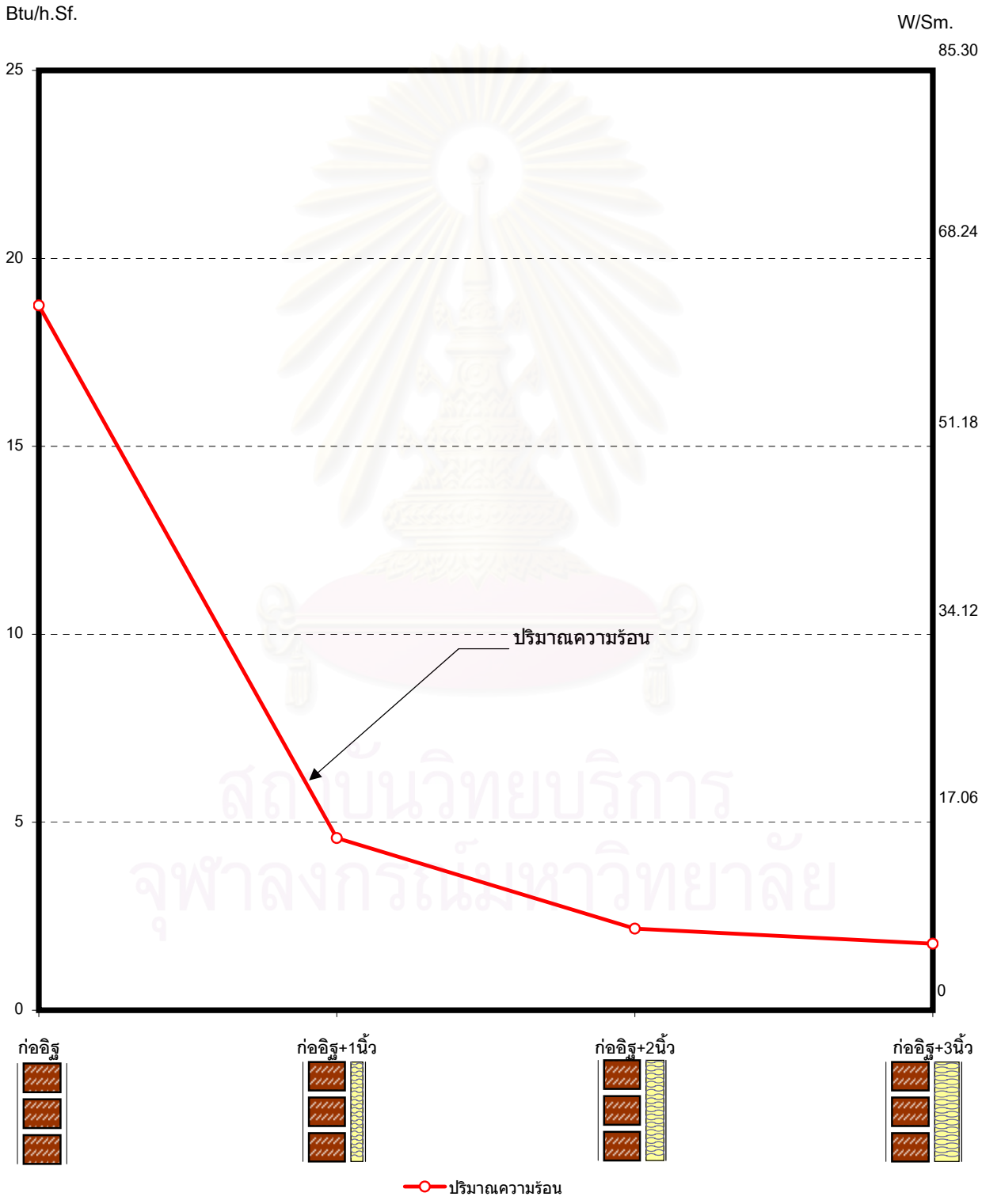
W-out

แผนภูมิที่ 4-20 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูนเปรียบเทียบ
กับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศตะวันตก



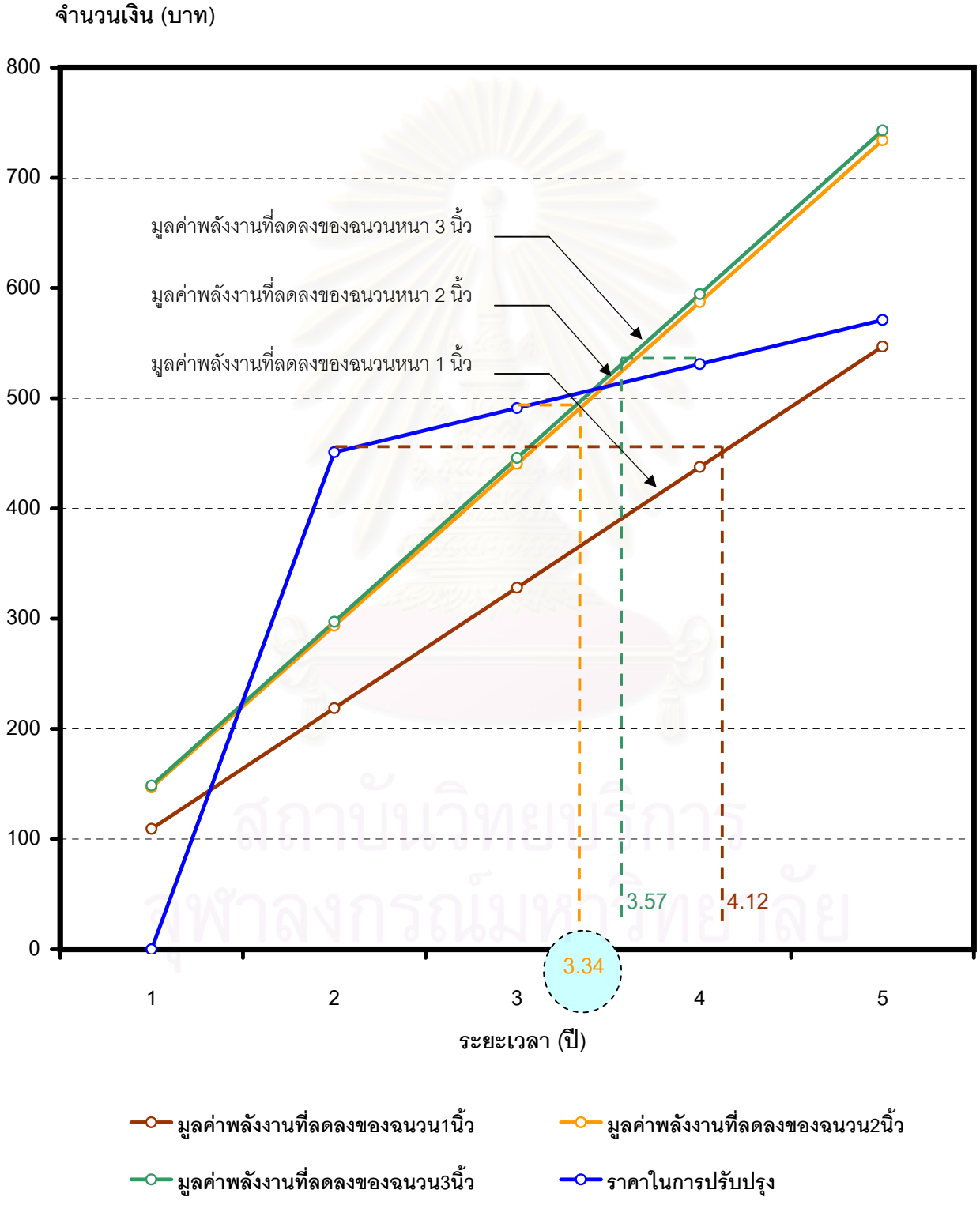
W-out

แผนภูมิที่ 4-21 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายนอก ทิศตะวันตก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 22 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
ภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังก่ออิฐ ทางทิศตะวันตก



ตารางที่ 4-15 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก

West	BRICK-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	232.8864459	74.88310157	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	144.7762791	46.55185824	28.33124333	34799.83281	86.99958203	213	2.448287624
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	82.63037647	26.56925288	48.31384869	59344.86662	148.3621665	253	1.705286502
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	35.76604765	11.50033686	63.38276471	77854.31754	194.6357939	293	1.505375729

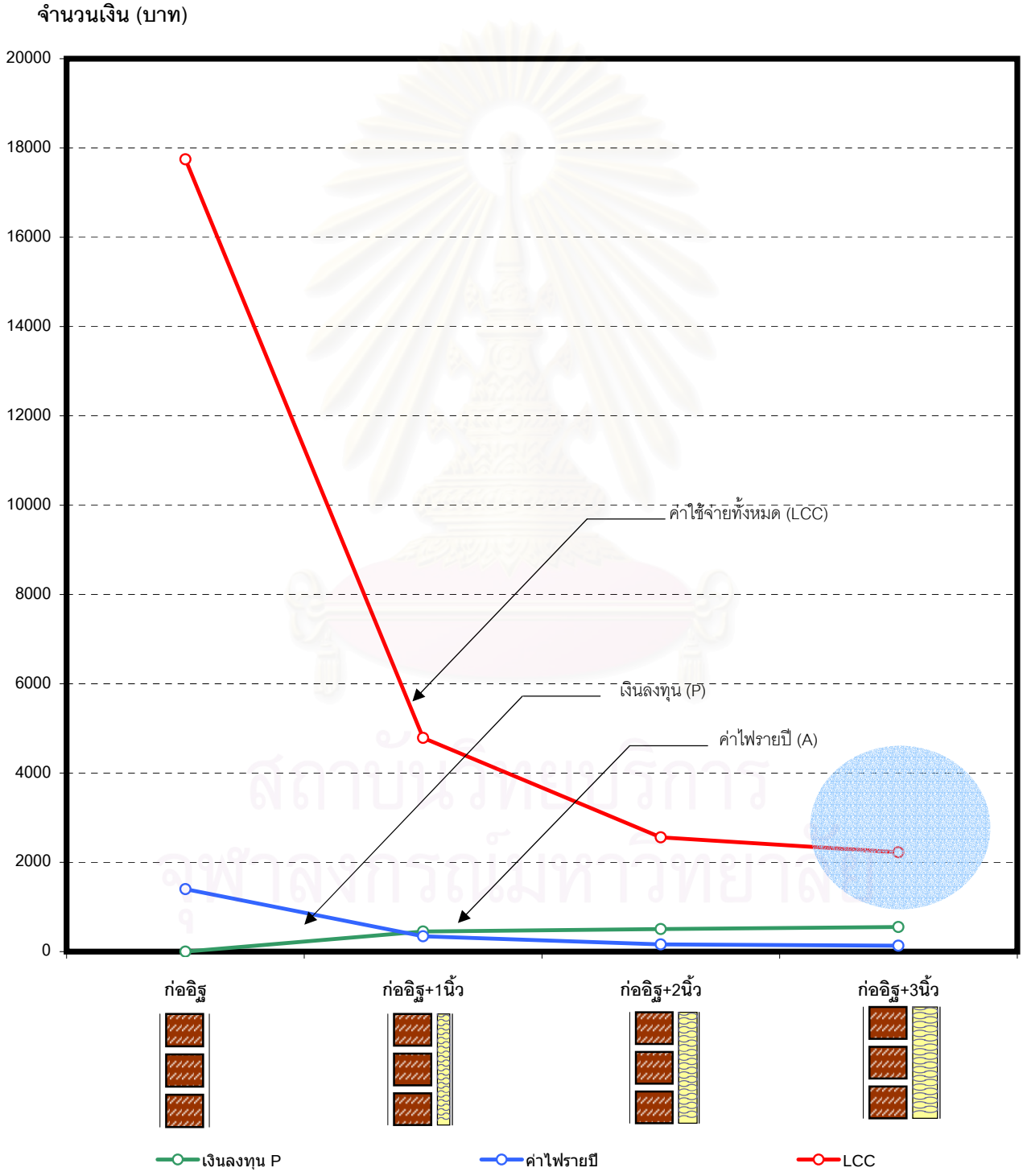
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันตก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 1.50 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.434%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 2.052%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 2.333%

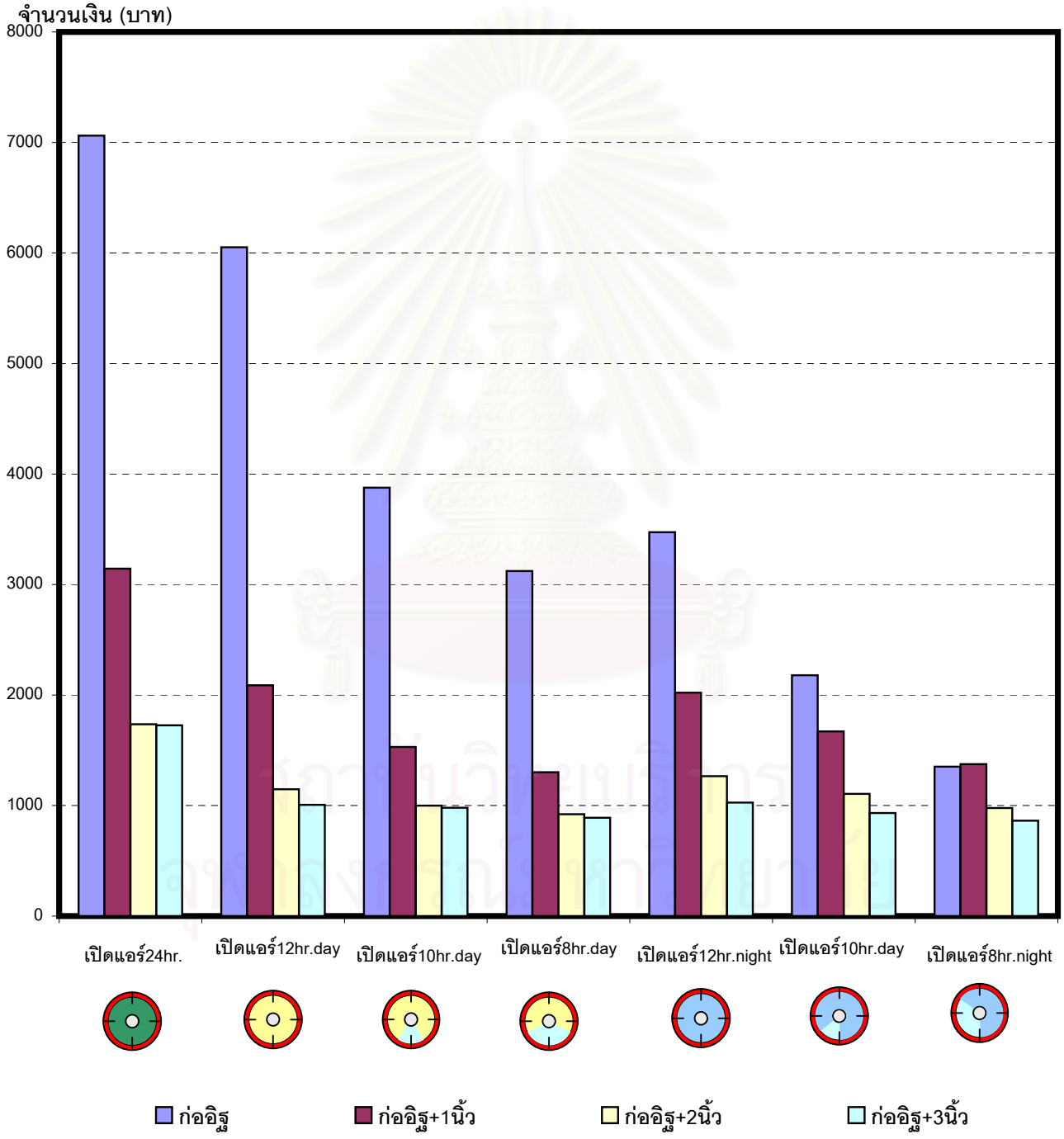
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศตะวันตก ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-23 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4-24 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังก่ออิฐ
ฉาบปูนโดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิด
เครื่องปรับอากาศ ทางทิศตะวันตก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันตก (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 27-28 มี.ค. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 1.2 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 3.1 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 7.0 องศาเซลเซียส)

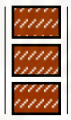
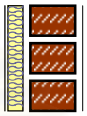
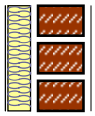
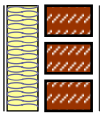
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-16 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังก่ออิฐฉาบปูน ทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

WEST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังก่ออิฐฉาบปูน** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังก่ออิฐ + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันตก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

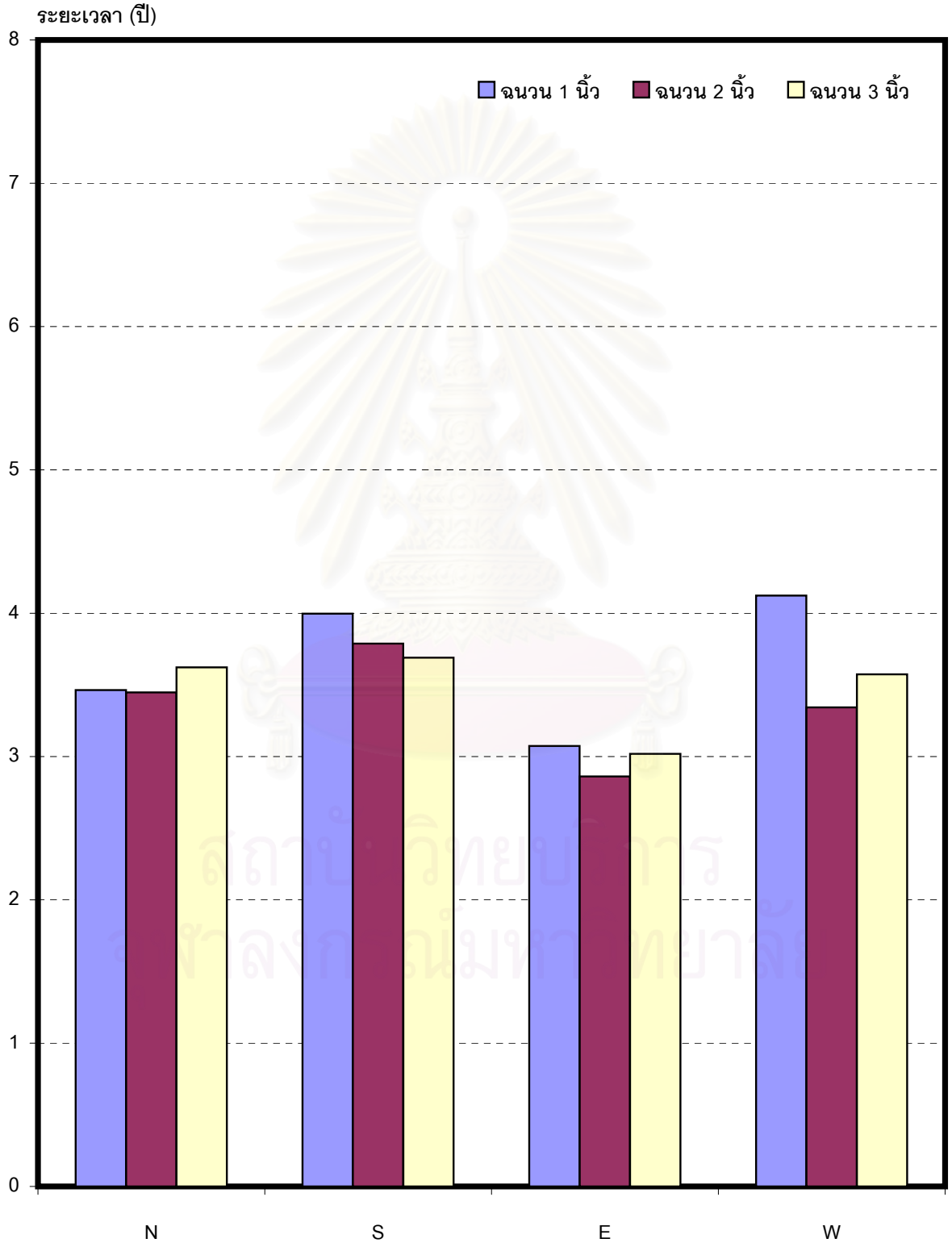
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันตก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-25 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนกัน ความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ



สรุปการเลือกความหนาฉนวนที่เหมาะสมในการปรับปรุงผนังภายในทั้ง 4 ทิศ

ในการปรับปรุงผนังอาคาร การพิจารณาระยะเวลาคืนทุนมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะสามารถทำให้ทราบถึงช่วงเวลาคืนทุนหลังทำการปรับปรุง และใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบในการปรับปรุงผนังอาคาร ซึ่งจากการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า

ทิศเหนือ

ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**1.49**	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	1.63	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	1.69	ปี

ทิศใต้

ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	2.38	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**1.75**	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	1.76	ปี

ทิศตะวันออก

ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	1.86	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**1.64**	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	1.82	ปี

ทิศตะวันตก

ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	2.45	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	1.70	ปี
ผนังก่ออิฐฉาบปูน + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**1.50**	ปี

จากผลการวิเคราะห์พบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อน 3 นิ้วภายในอาคาร มีช่วงระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดใกล้เคียงกับ ฉนวน 2 นิ้ว ส่วนการติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนที่นานที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด จึงสามารถลดปริมาณความร้อนได้มากกว่าฉนวนหนา 1 และ 2 นิ้ว ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพบว่า อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของผนังที่ปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าน้อยที่สุดทั้ง 4 ทิศ

ดังนั้น **การเลือกใช้ฉนวน 2 หรือ 3 นิ้วติดตั้งภายในอาคารทั้ง 4 ทิศ จึงมีความเหมาะสมที่สุด**

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 2

ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาและสร้างแนวทางการปรับปรุงระบบผนังอาคารเดิม โดยใช้ฉนวนหนา 1-3 นิ้วในทิศต่างๆ ให้เกิดการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร
- ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, ค่าพลังงานที่สูญเสีย และราคาวัสดุที่ใช้ประกอบการปรับปรุงผนังอาคาร เพื่อดูความเหมาะสมในการลงทุน

ตัวแปรควบคุม

-กำหนดให้กล่องทดสอบในแต่ละด้าน ทั้ง 4 กล่องหันทิศทางเดียวกัน ในเวลาและสถานที่เดียวกัน เพื่อให้ได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน
- มวลสารของผนังทดสอบ เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนความหนารวม 0.10ม .
-เนื่องจากเป็นผนังที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารในประเทศ กระทำการก่อสร้างด้วยวัสดุและเทคนิคเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกัน
-สีเคลือบพื้นผิวภายนอกและภายใน เลือกใช้สีขาวชนิดเดียวกัน
-ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอาคารทดลอง ด้วยระบบปรับอากาศ

การเตรียมการทดลอง

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงการปรับปรุงระบบผนังอาคารโดยใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างกันดังนั้นจึงกระทำการเก็บข้อมูลทั้ง 4ทิศทาง โดยแต่ละทิศทางประกอบด้วย : กล่องทดลองจำนวน 4 กล่อง มีรายละเอียด ดังนี้

<u>กล่องที่ 1</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังมวลเบา หนา 0.10เมตร

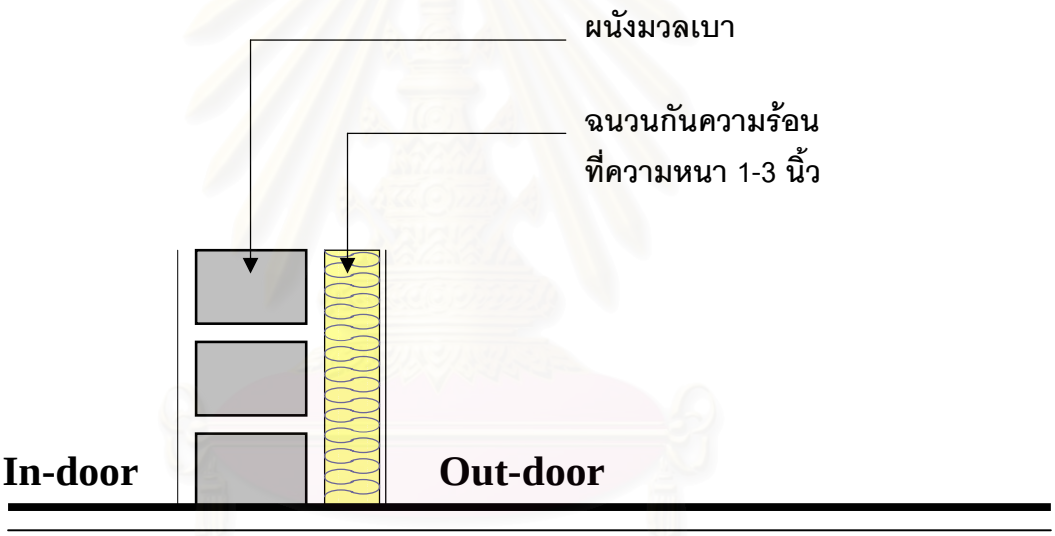
<u>กล่องที่ 2</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังมวลเบา หนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 1 นิ้ว

<u>กล่องที่ 3</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังมวลเบา หนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว

<u>กล่องที่ 4</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังมวลเบา หนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว

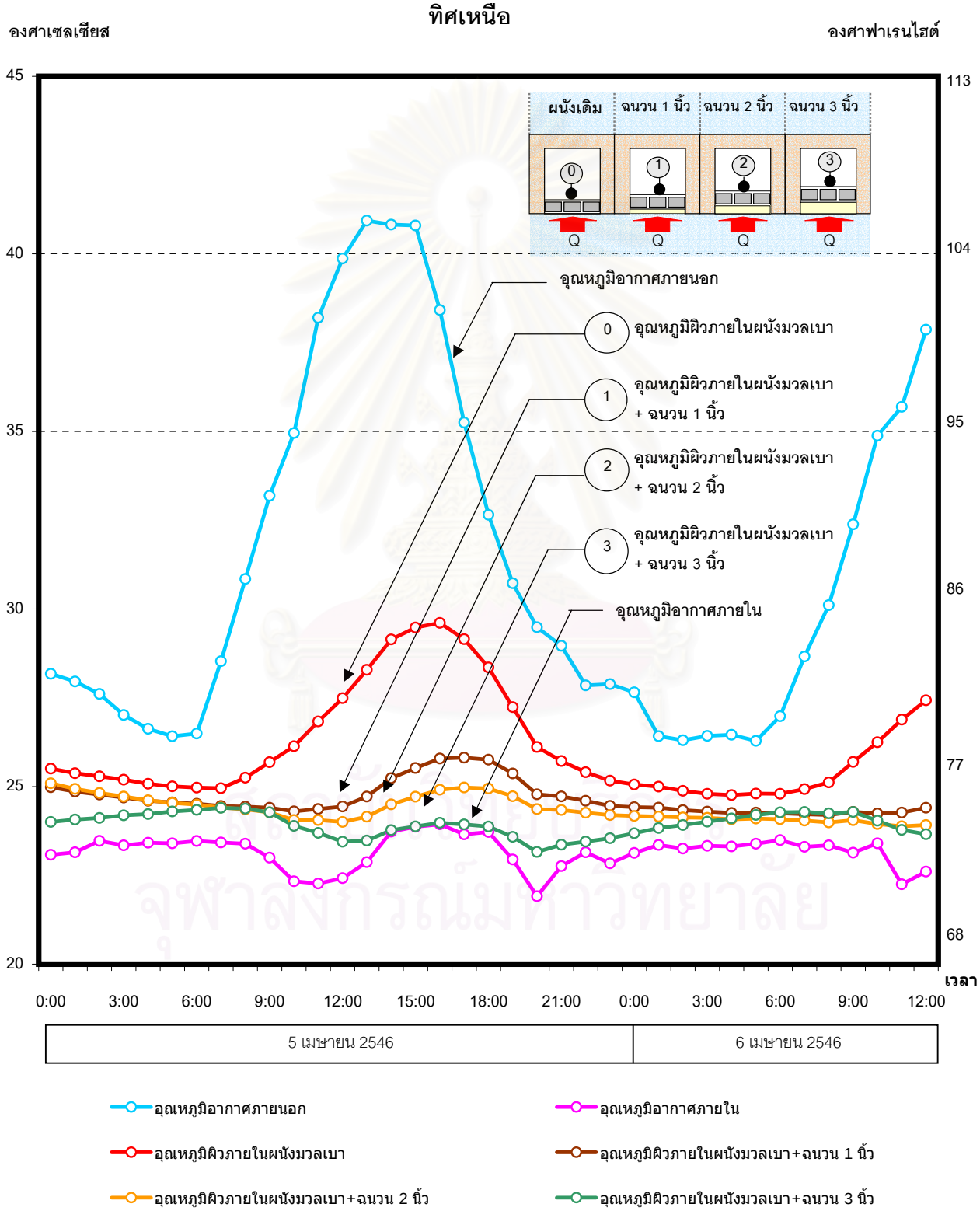
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.1 การปรับปรุงผนังมวลเบา โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว ภายนอกอาคาร

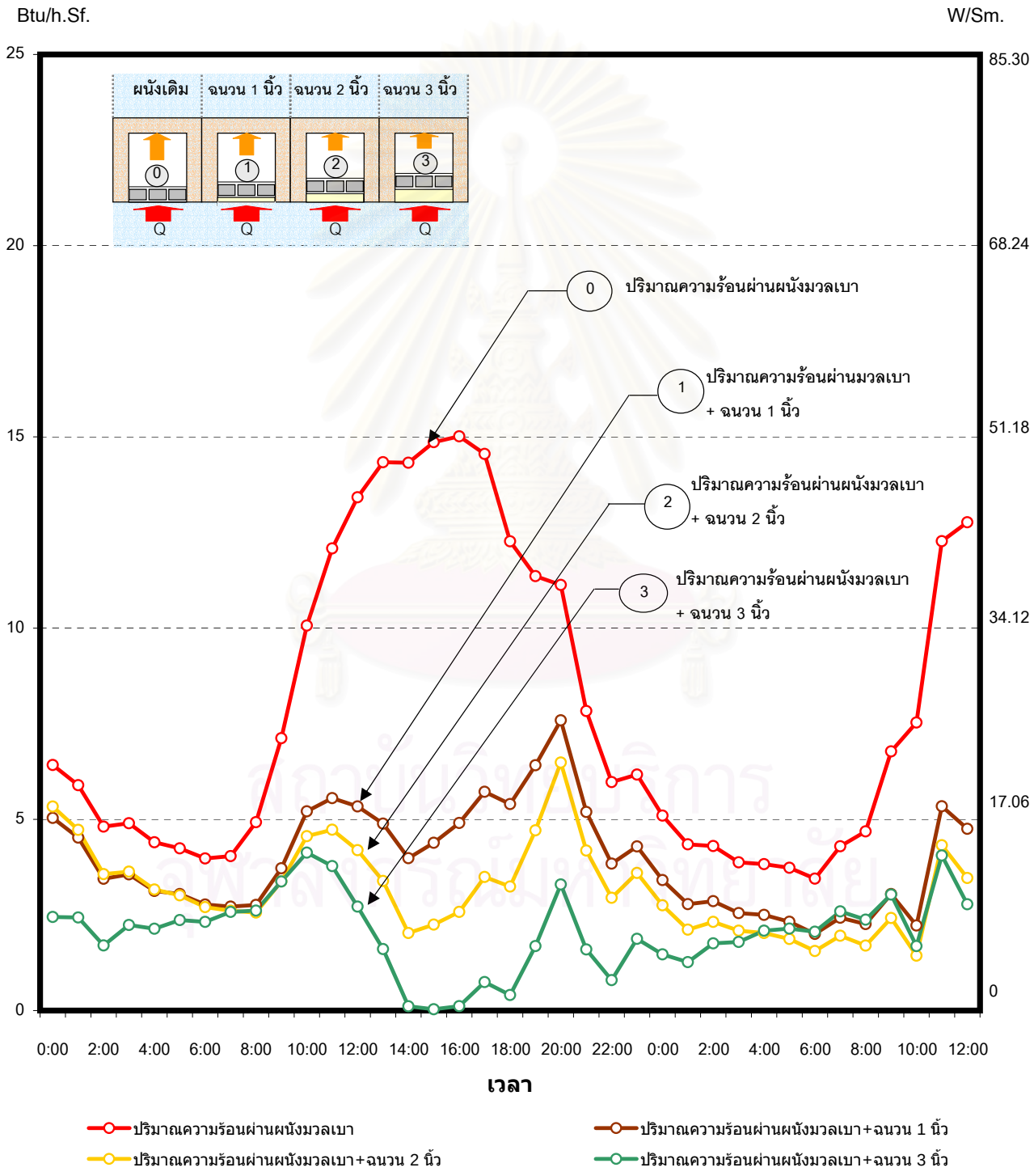


ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก) จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

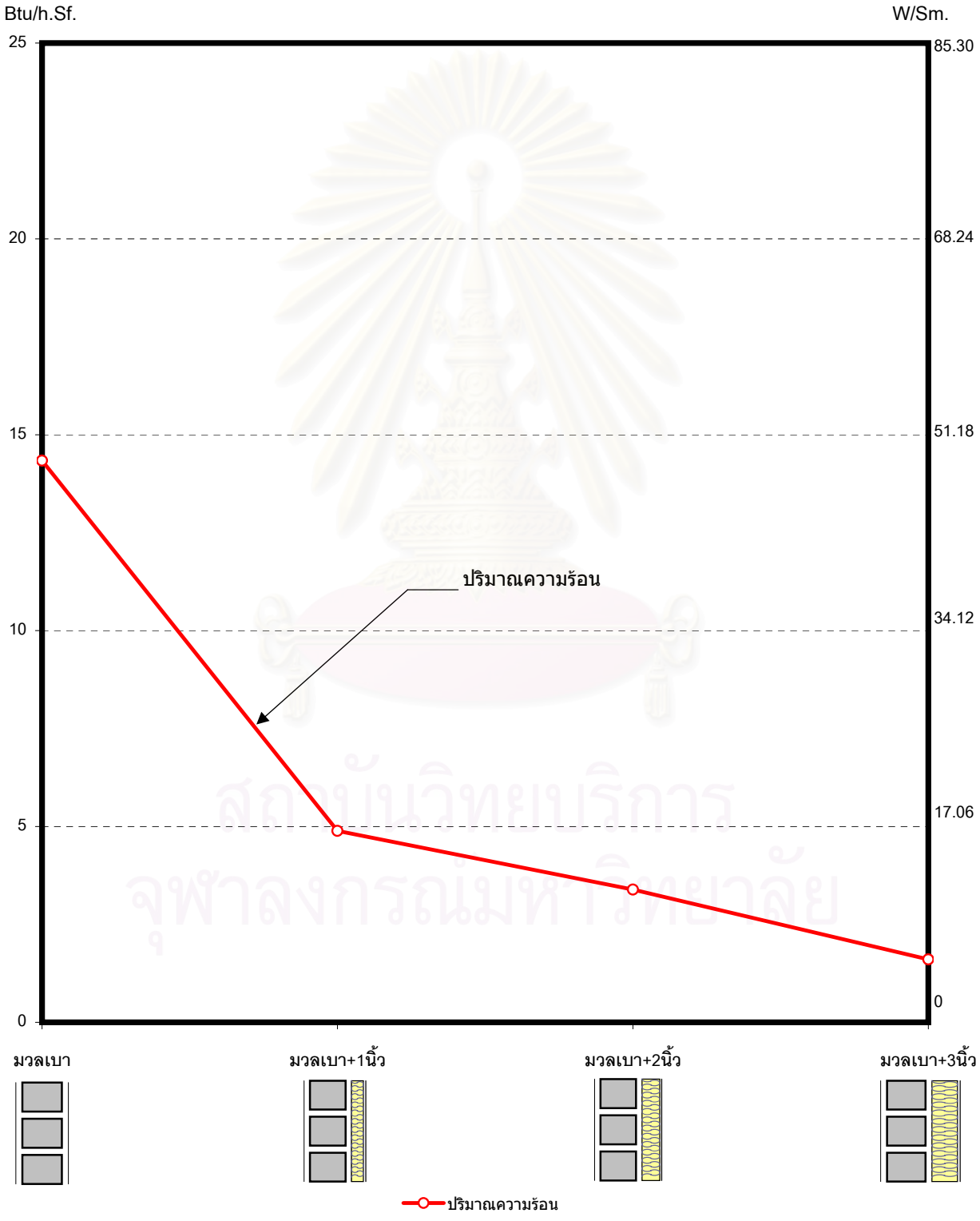
แผนภูมิที่ 4-51 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-52 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศเหนือ

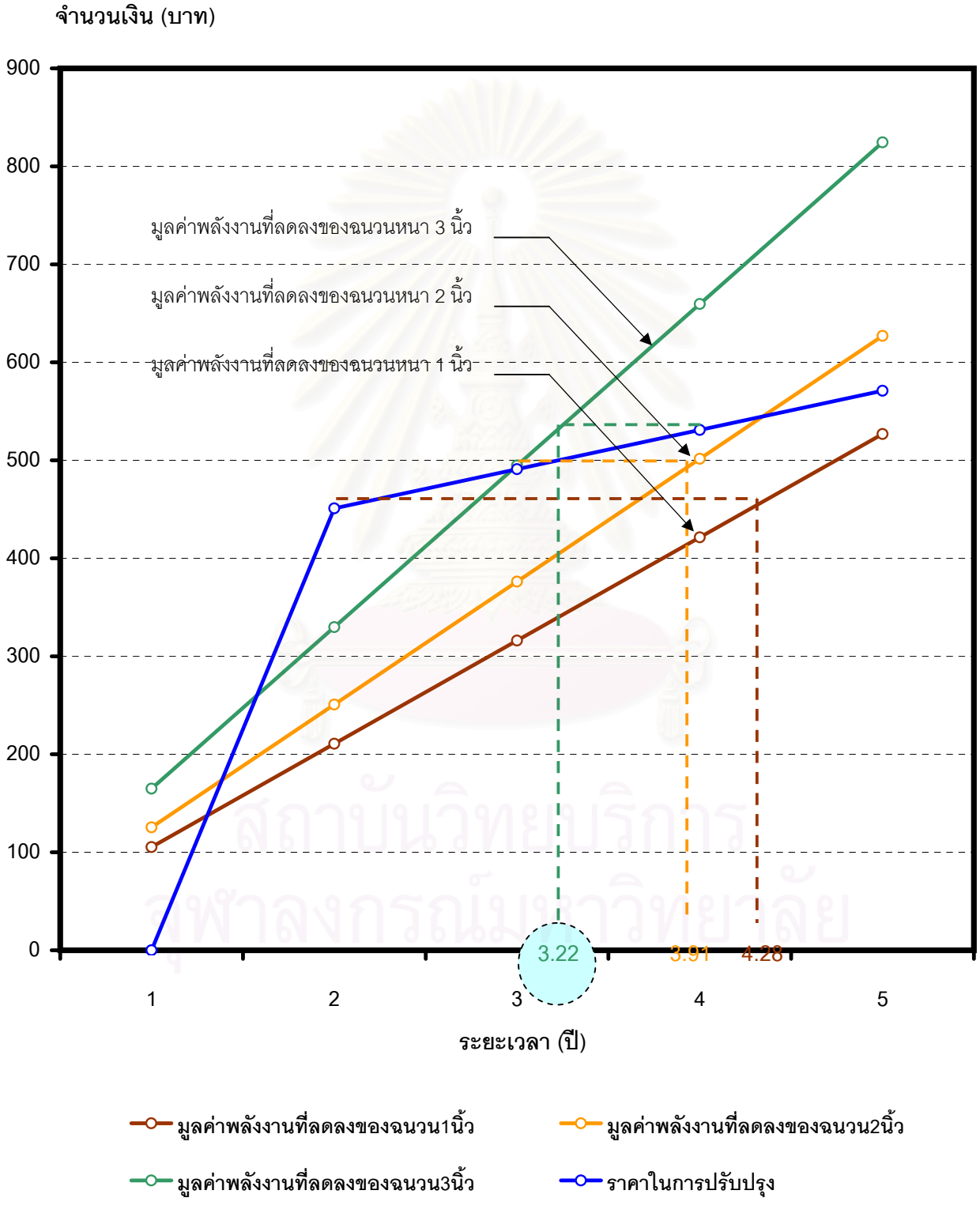


แผนภูมิที่ 4-53 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายนอก ทิศเหนือ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 54 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
ภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบาทางทิศเหนือ



ตารางที่ 4-17 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ

North	Q-con-out						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	214.1209165	68.84916928	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	107.4170329	34.53923889	34.3099304	42143.5737	105.3589343	451	4.280605182
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	87.07731882	27.99913789	40.8500314	50176.91057	125.4422764	491	3.914150907
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	47.11577029	15.14976537	53.69940392	65960.05182	164.9001295	531	3.220130885

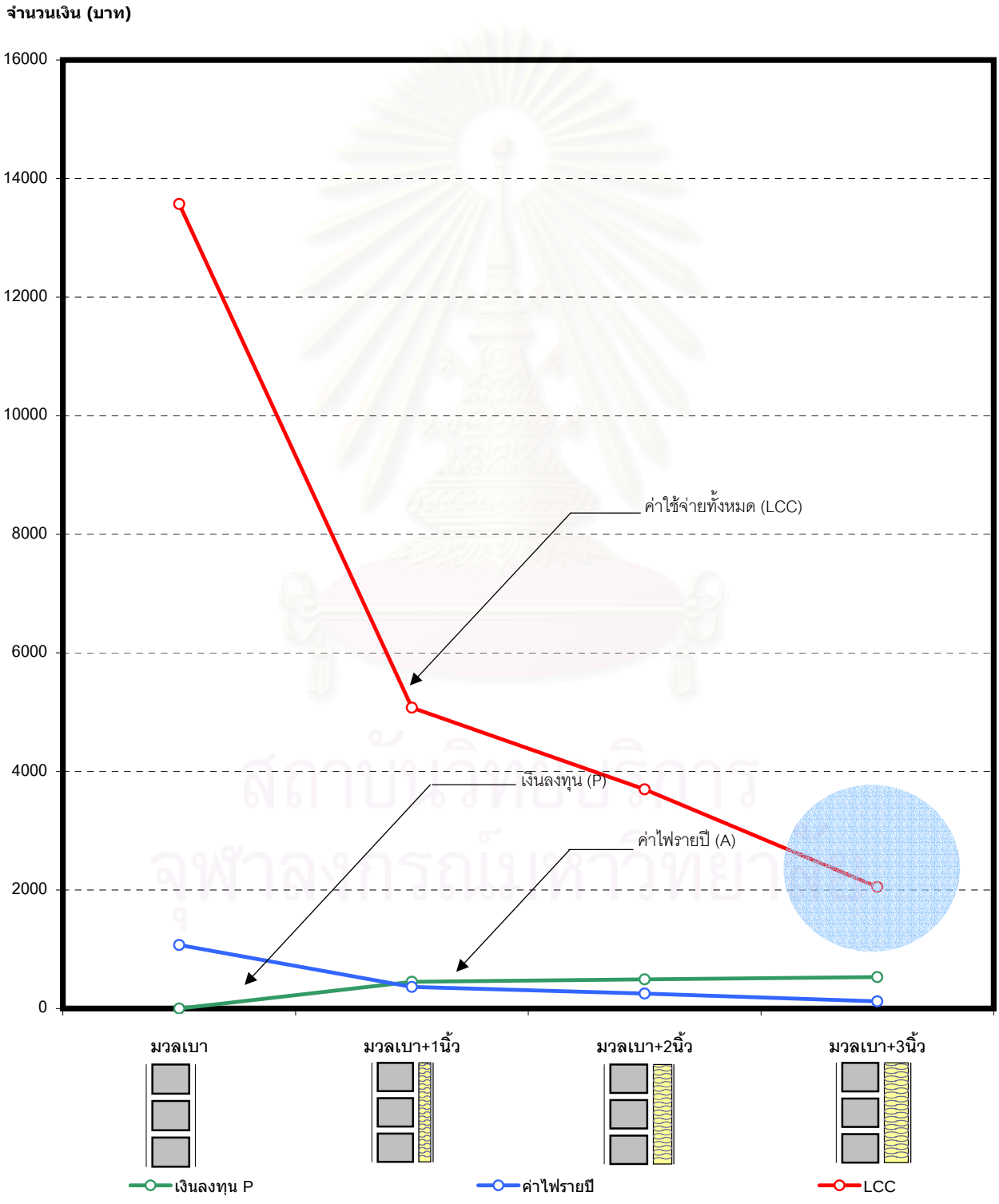
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศเหนือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 3.22 ปี และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.817%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.895%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.086%

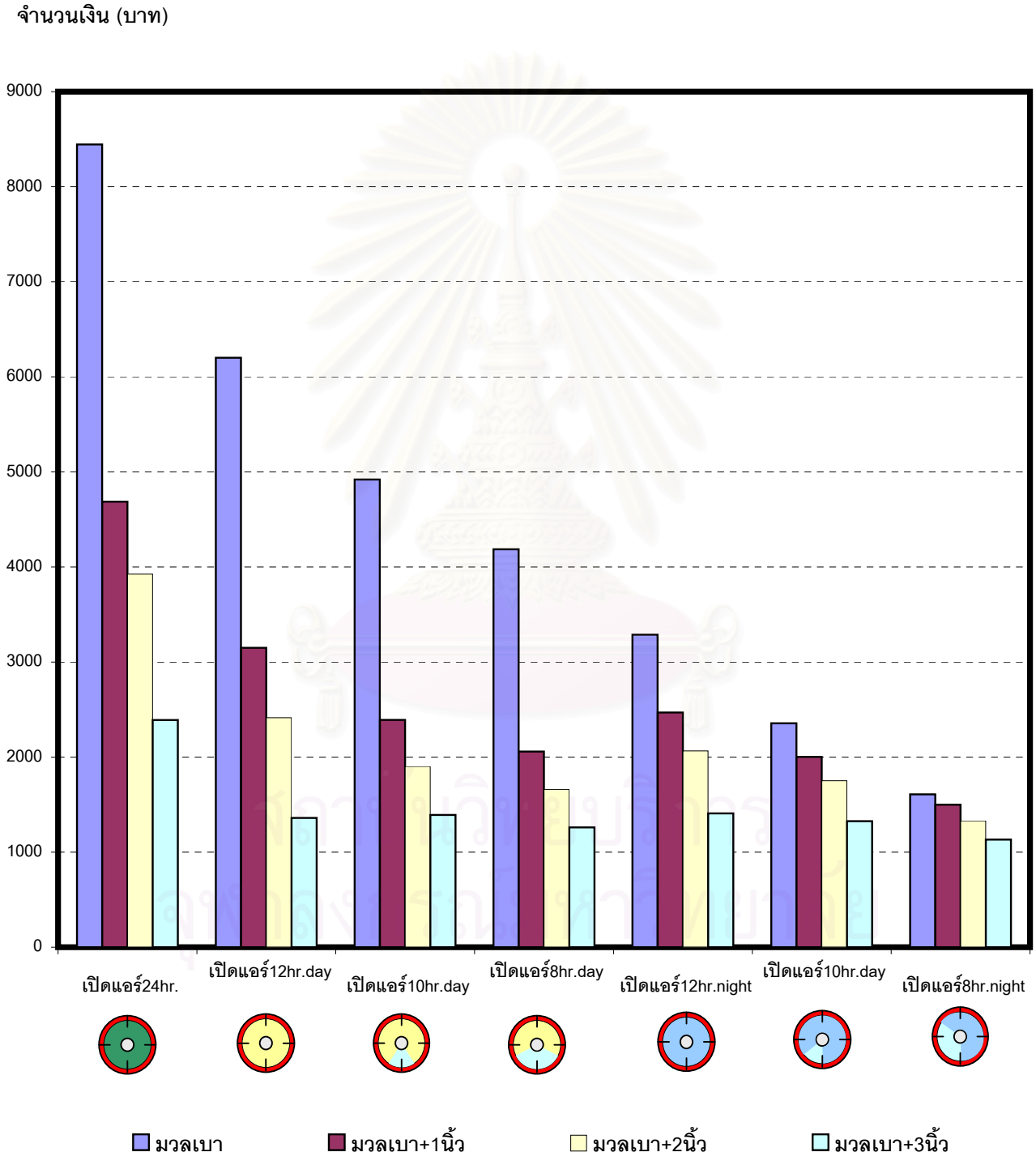
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศเหนือ ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-55 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-56 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
ทางทิศเหนือ



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศเหนือ (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 5-6 เม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบามีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 0.9 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 4.7 องศาเซลเซียส)

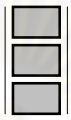
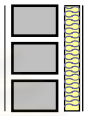
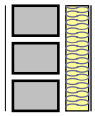
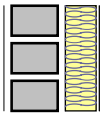
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-18 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

NORTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบาโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศเหนือ

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

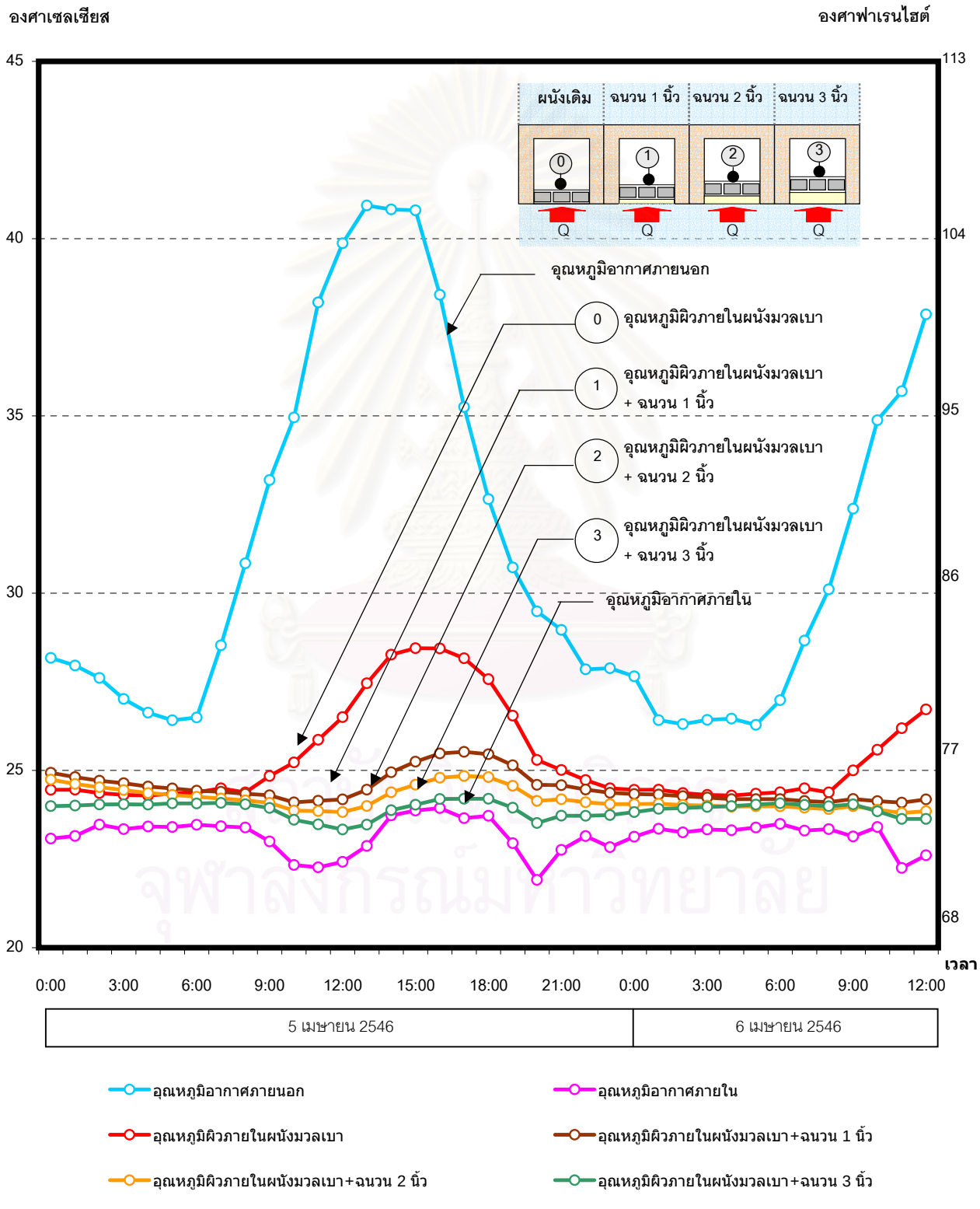
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

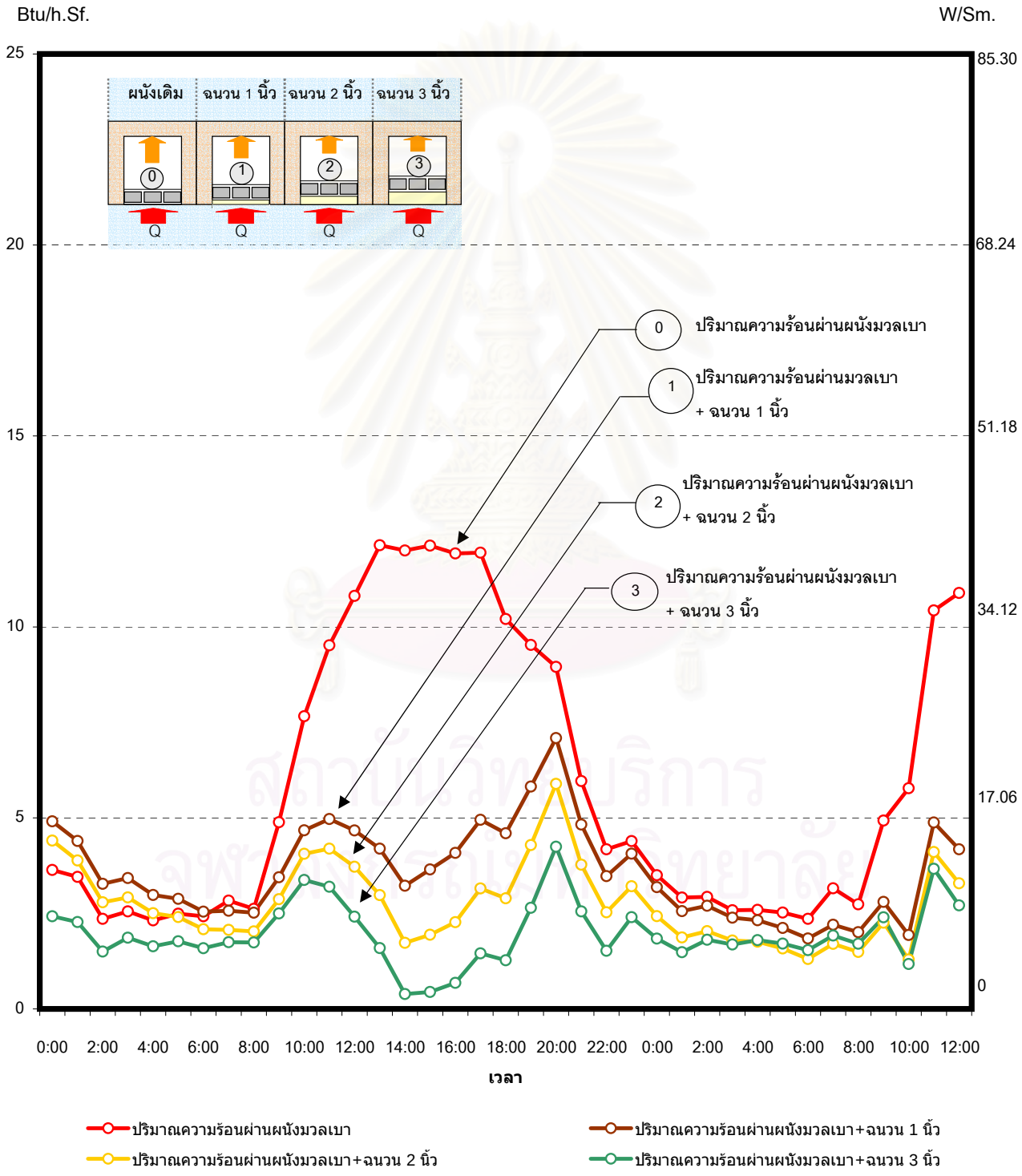
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศเหนือ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

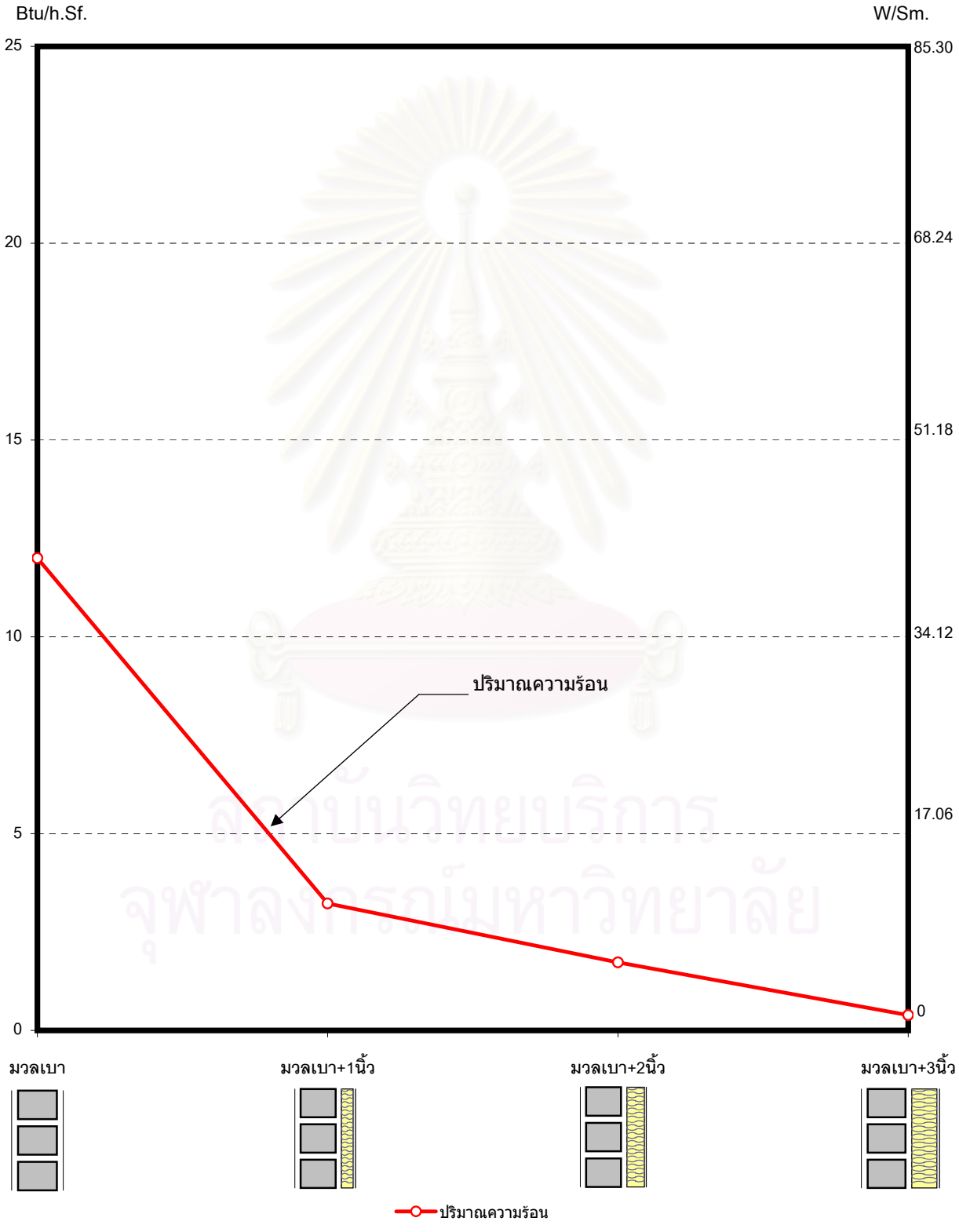
แผนภูมิที่ 4-57 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทิศใต้



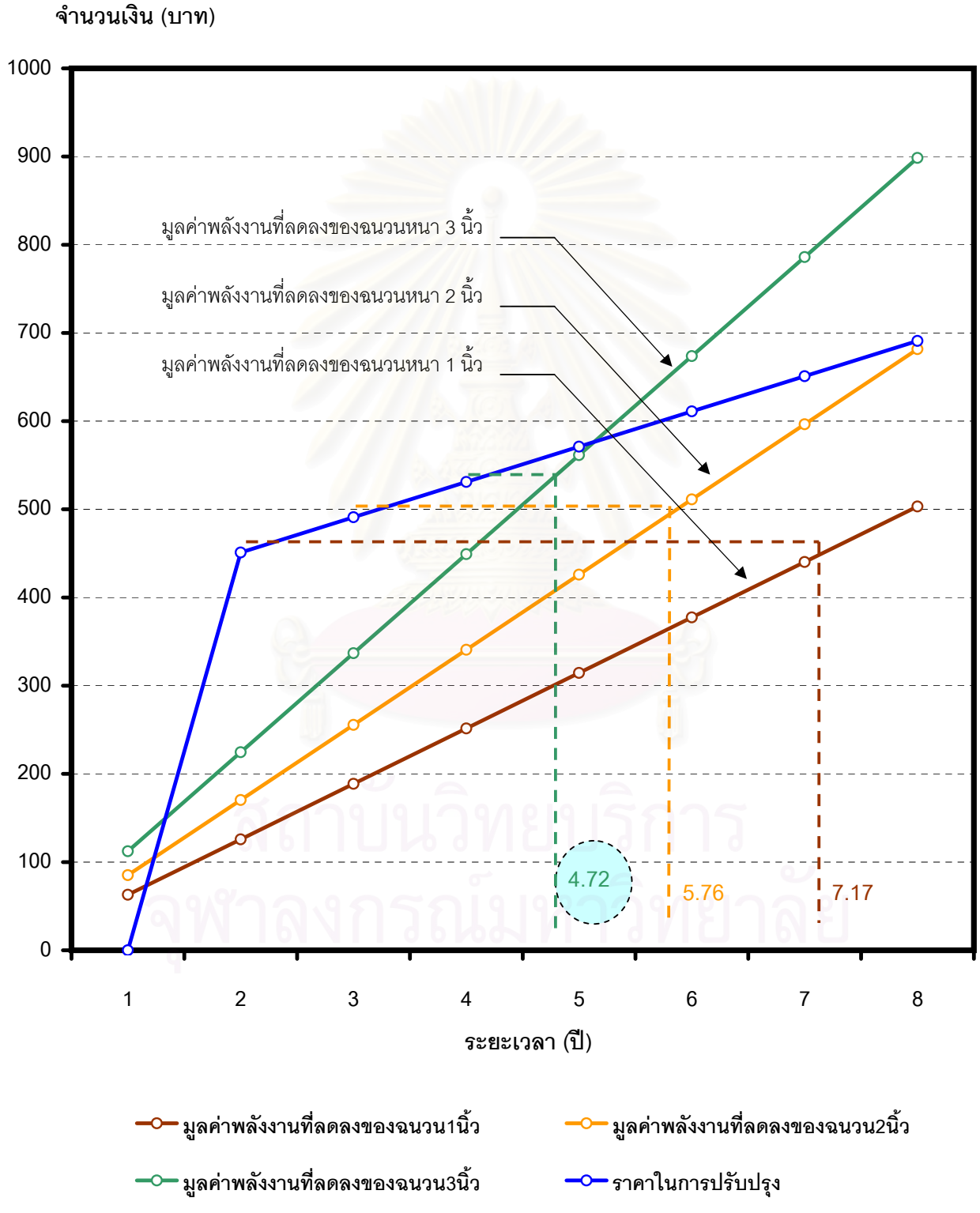
แผนภูมิที่ 4-58 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-59 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบ
กับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายนอก ทิศใต้



แผนภูมิที่ 4- 60 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
ภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศใต้



ตารางที่ 4-19 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้

South	Q-con-out						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	160.9279941	51.74533573	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	97.25557765	31.27188992	20.47344581	25147.94296	62.86985739	451	7.173548958
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	74.61097941	23.99066862	27.75466711	34091.6127	85.22903176	491	5.760947765
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	47.22968118	15.18639266	36.55894307	44906.08095	112.2652024	531	4.729871668

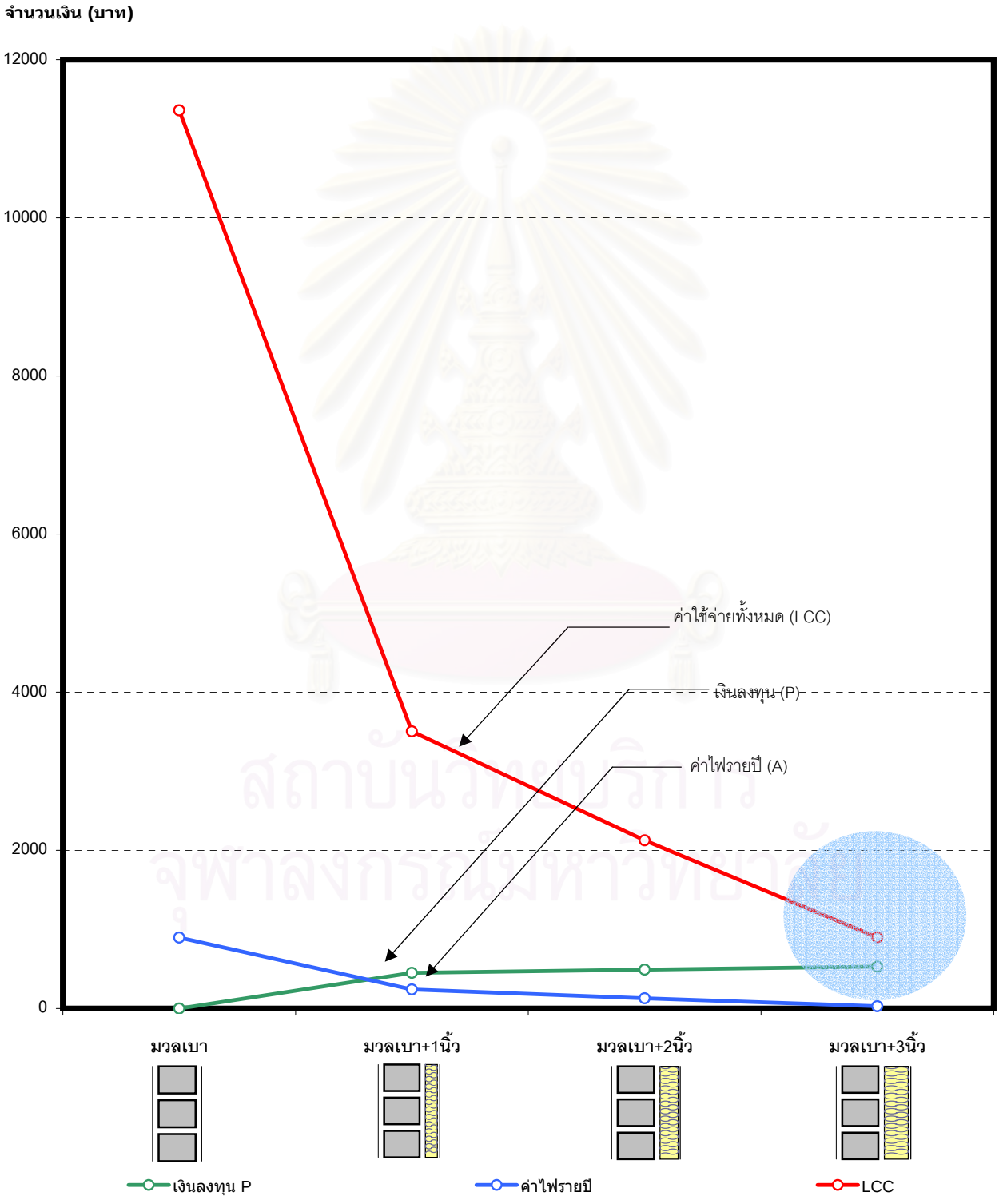
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศใต้ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 4.72 ปี และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.488%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.607%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.741%

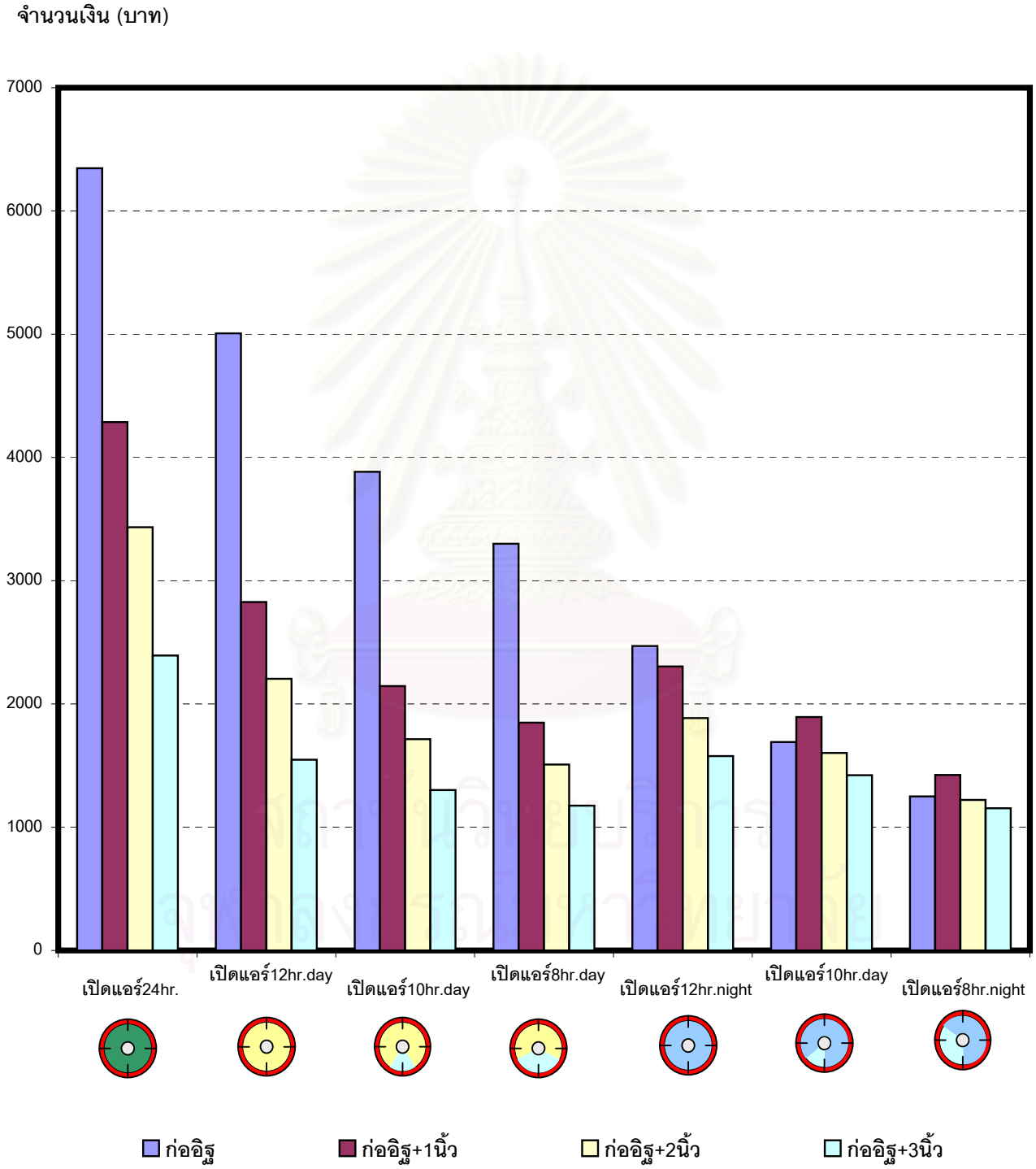
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศใต้ ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-61 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-62 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
ทางทิศใต้



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศใต้ (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 5-6 เม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบามีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 4.1 องศาเซลเซียส)

ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

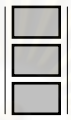
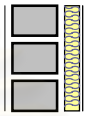
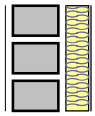
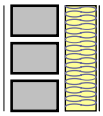
วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ส่วนในเรื่องระยะเวลาคืนทุน (แผนภูมิที่ 4-63 หน้า 153) พบว่า หากมีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว คืนทุนเร็วสุดที่ 3.18 ปี รองลงมาคือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว (คืนทุนที่ 4.65 ปี) และ 1 นิ้ว (คืนทุนที่ 5.78 ปี) ส่วนอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาอื่นๆมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับอาคารที่มีการปรับอากาศ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4-20 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

SOUTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา+ ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบาโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศใต้

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

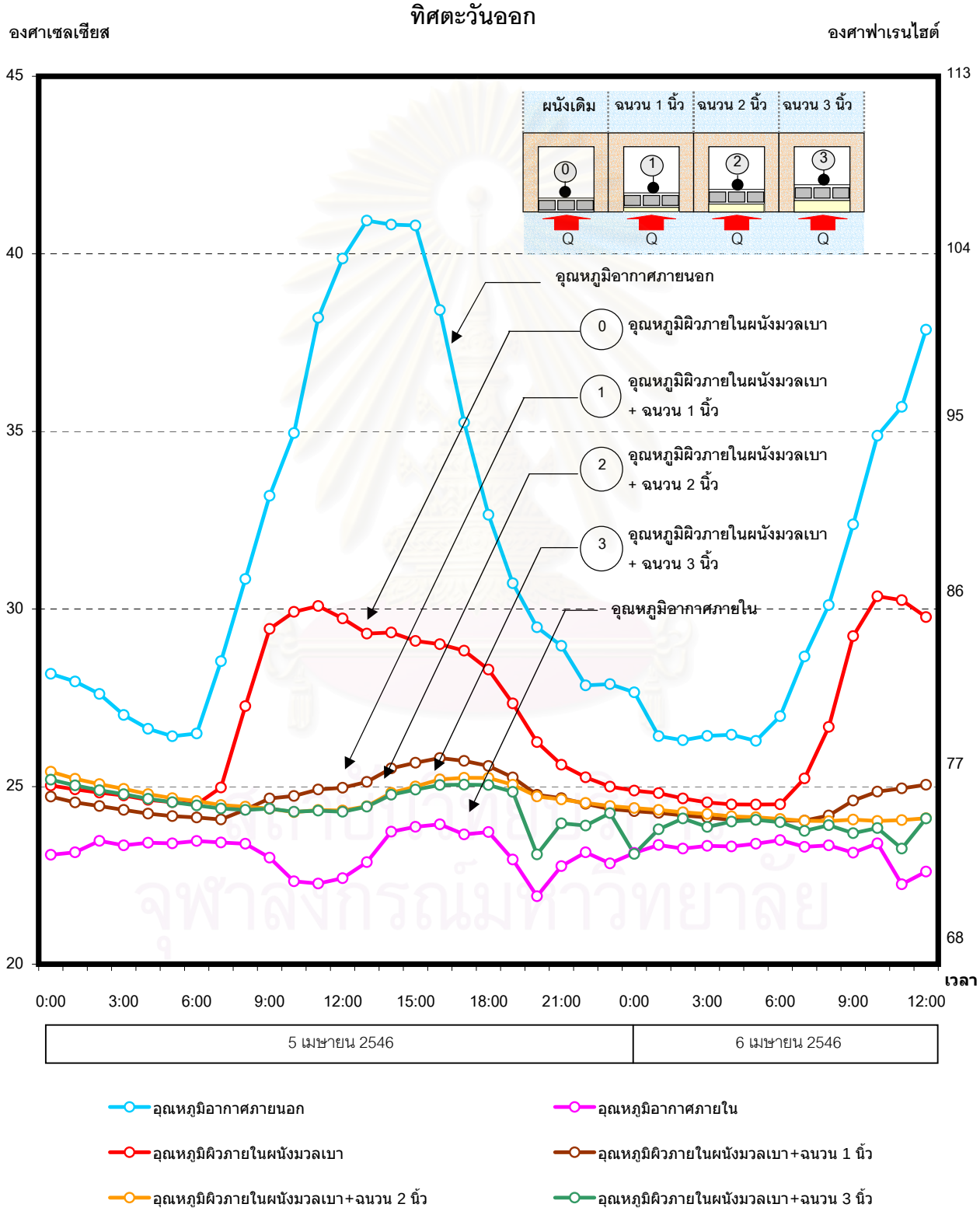
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

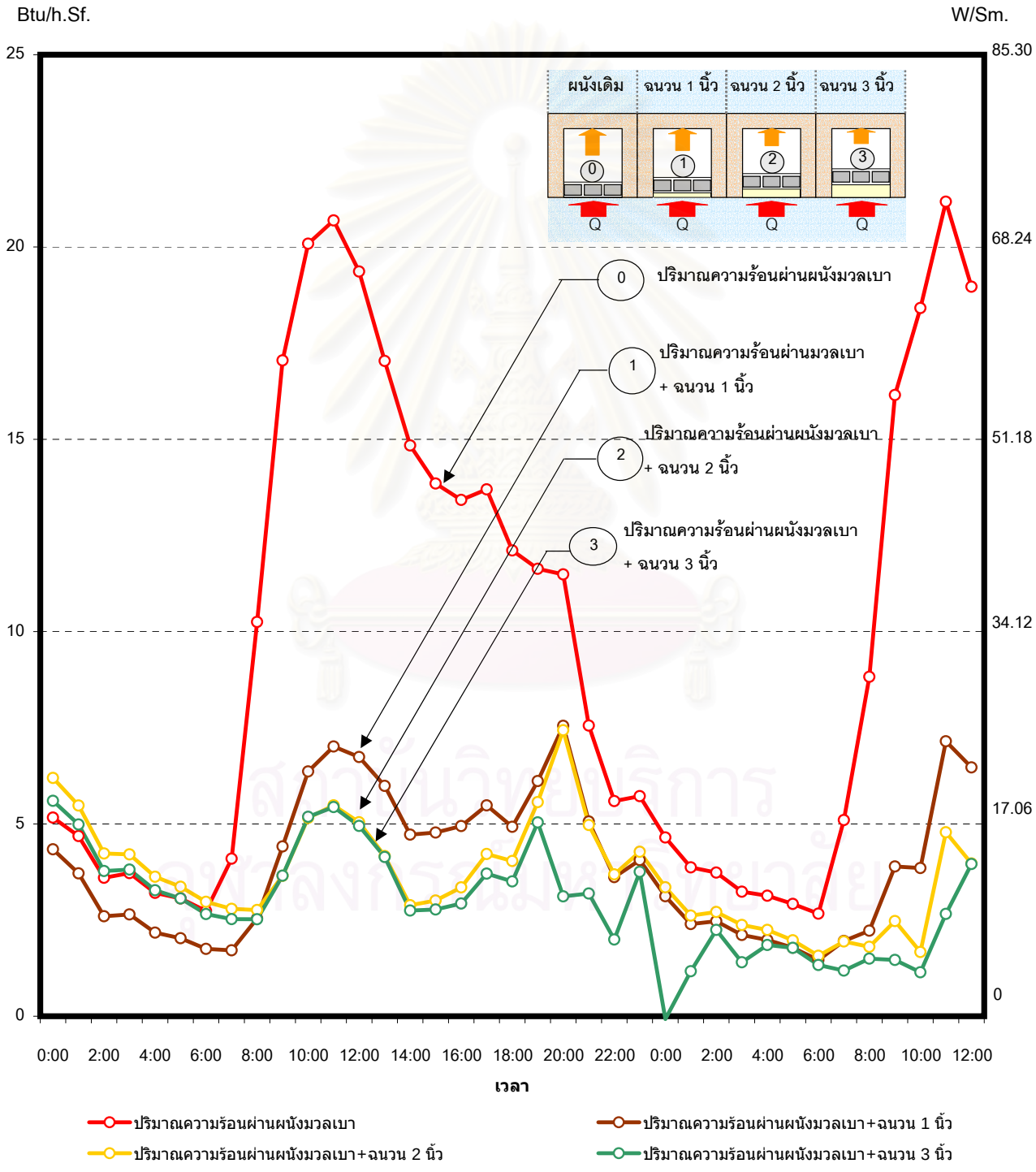
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศใต้ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

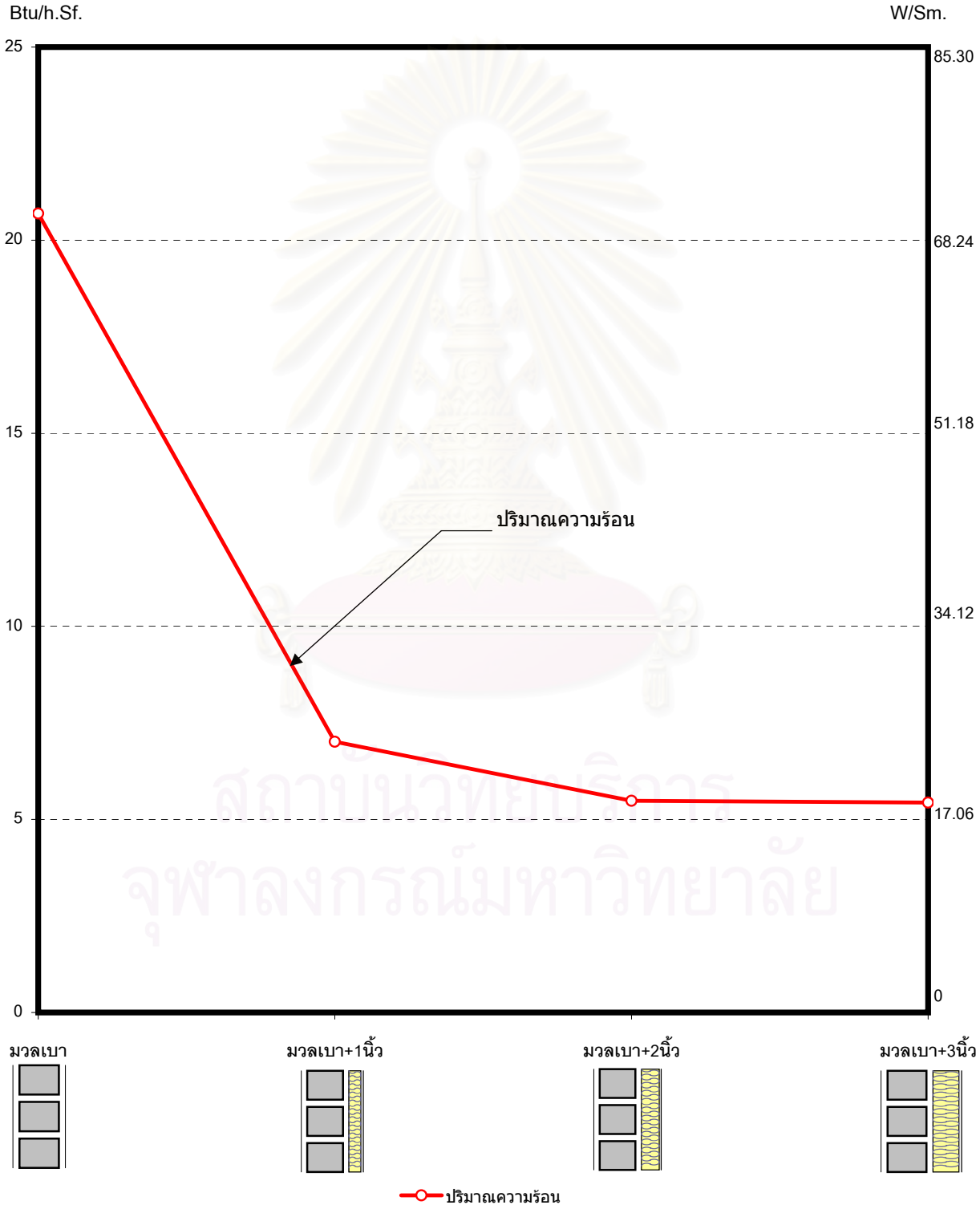
แผนภูมิที่ 4-63 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทิศตะวันออก



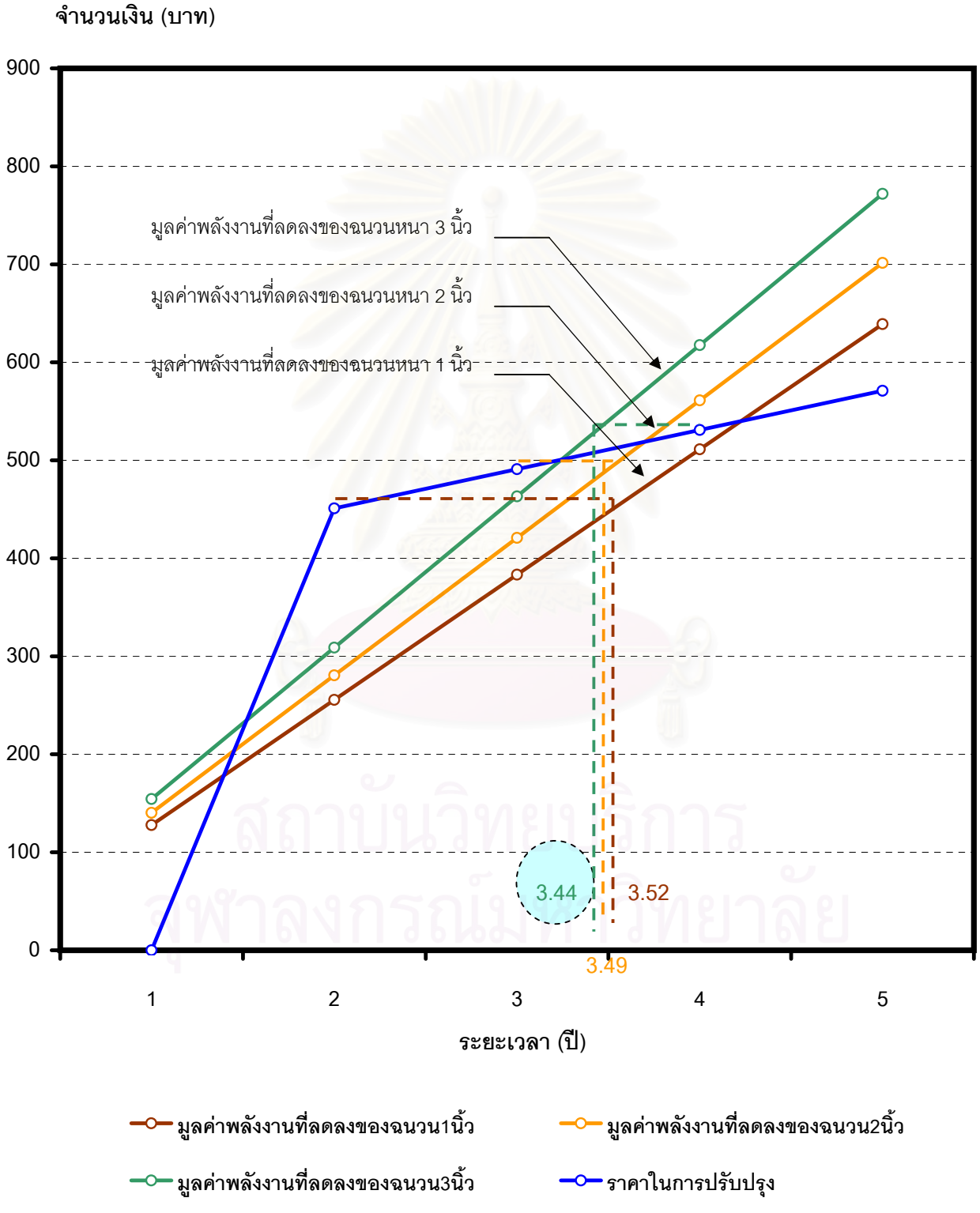
แผนภูมิที่ 4-64 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-65 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบ
กับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายนอก
ทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4- 66 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
ภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก



ตารางที่ 4-21 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก

East	Q-con-out						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	244.6726076	78.6728642	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	115.2737756	37.0655227	41.6073415	51107.12971	127.7678243	451	3.529840181
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	102.5622371	32.97821127	45.69465292	56127.65608	140.3191402	491	3.499166253
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	88.34373529	28.40634575	50.26651844	61743.36993	154.3584248	531	3.440045469

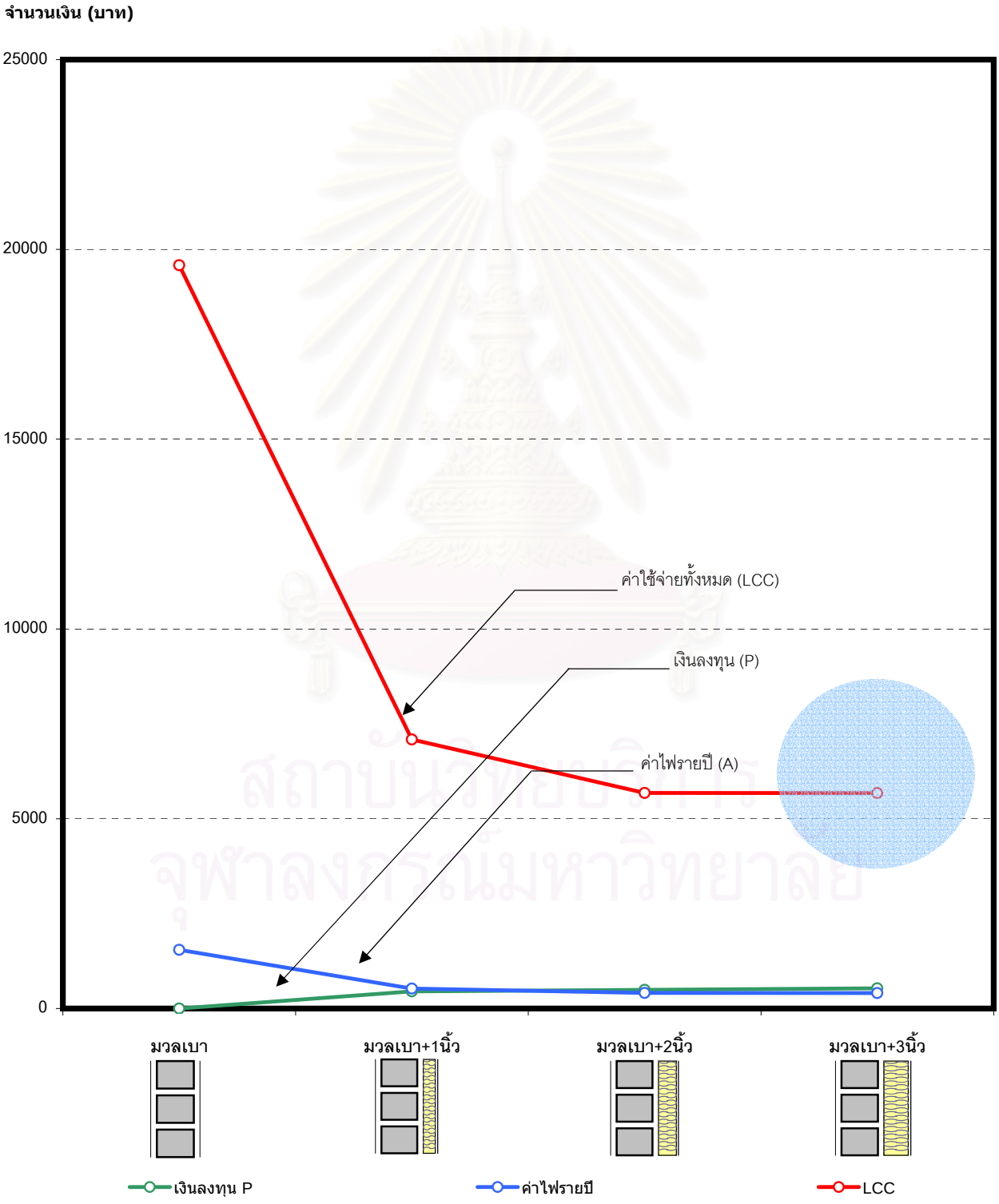
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันออก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 3.44 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.994%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.000%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.017%

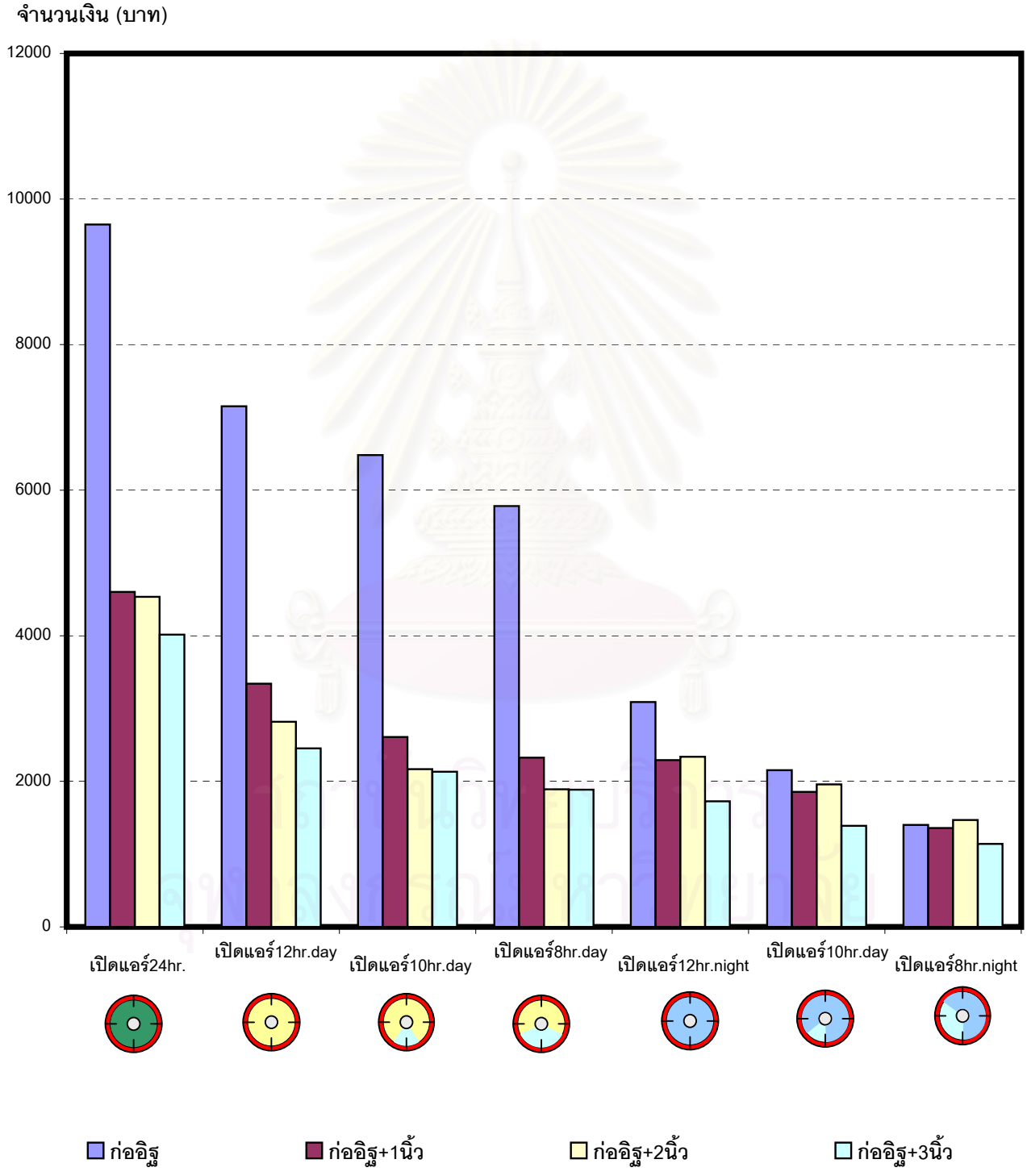
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศตะวันออก ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-67 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-68 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
ทางทิศตะวันออก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันออก (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 5-6 ม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบามีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.7 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.0 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.8 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 5.7 องศาเซลเซียส)

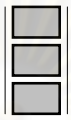
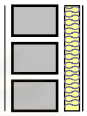
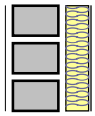
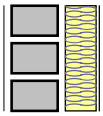
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-22 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

EAST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบาโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันออก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

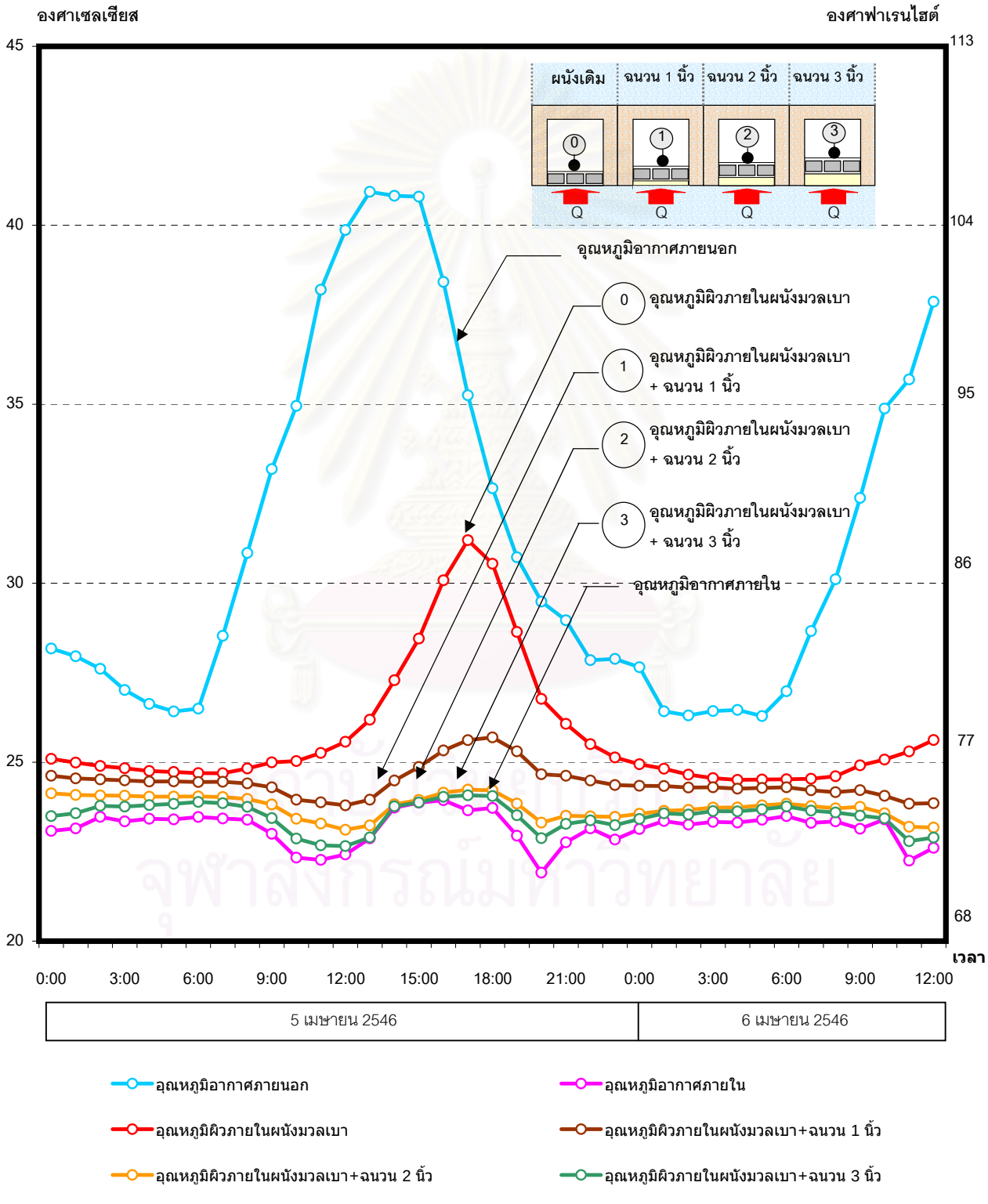
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

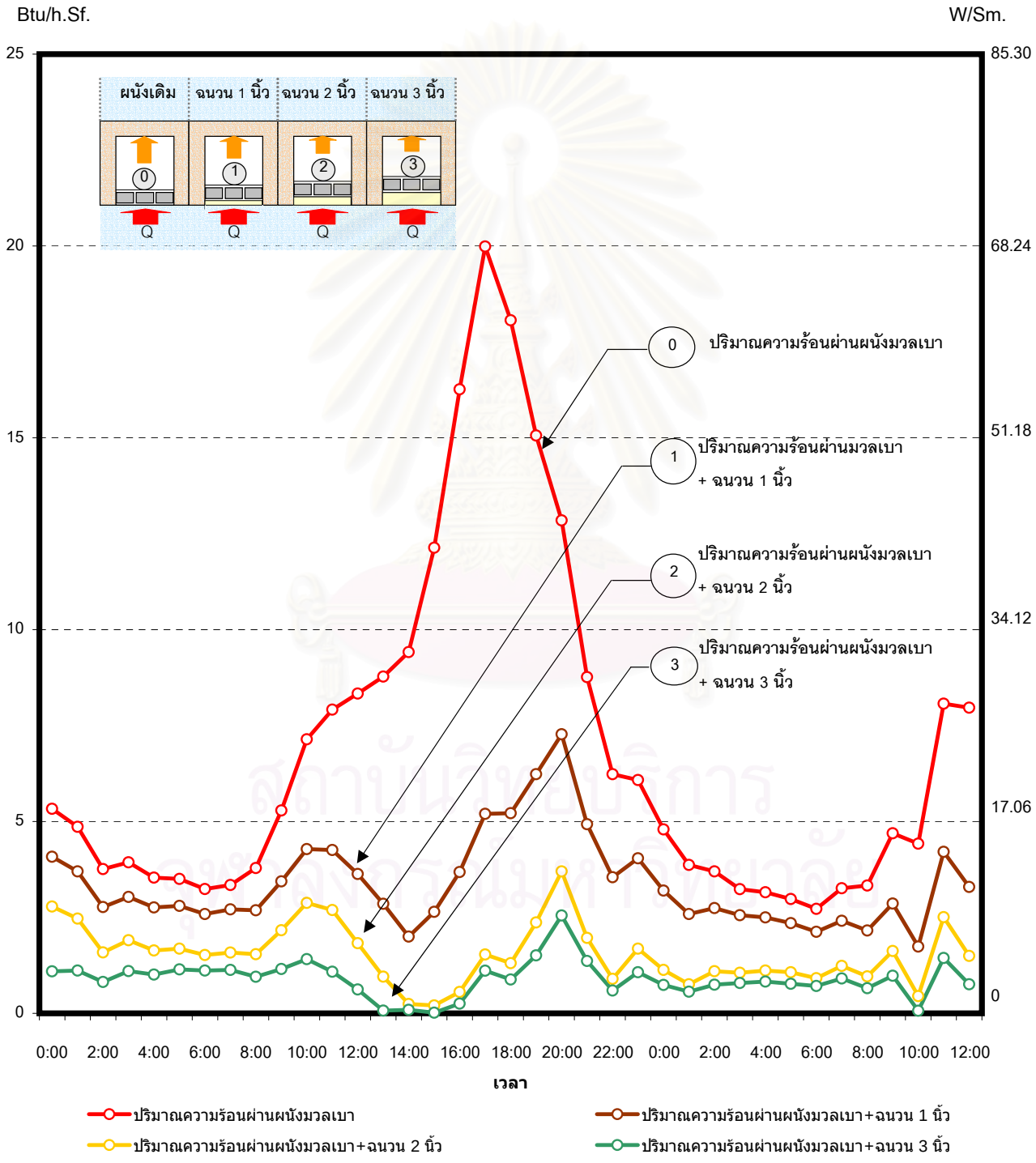
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันออก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

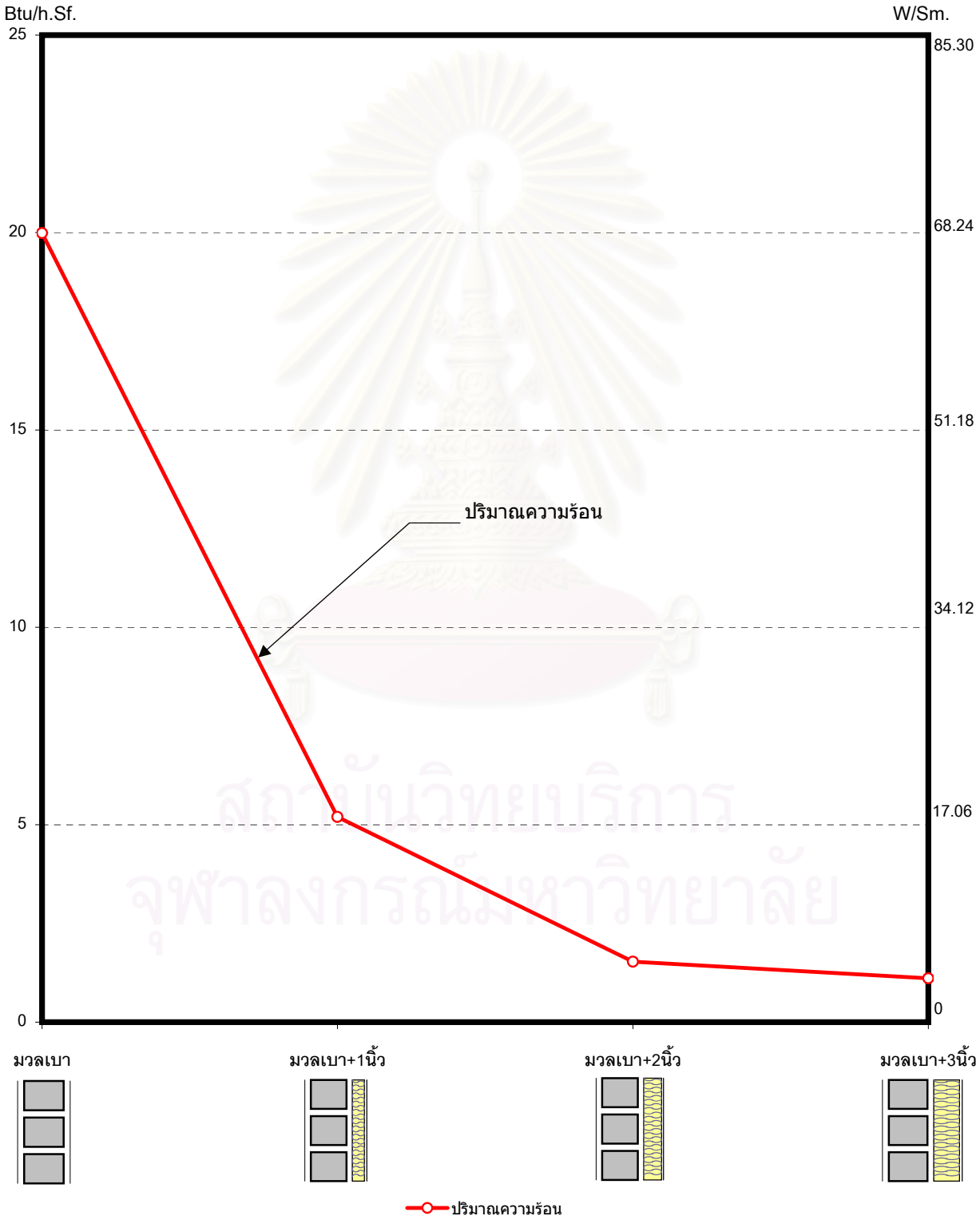
แผนภูมิที่ 4-69 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4-70 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายนอก ทางทิศตะวันตก

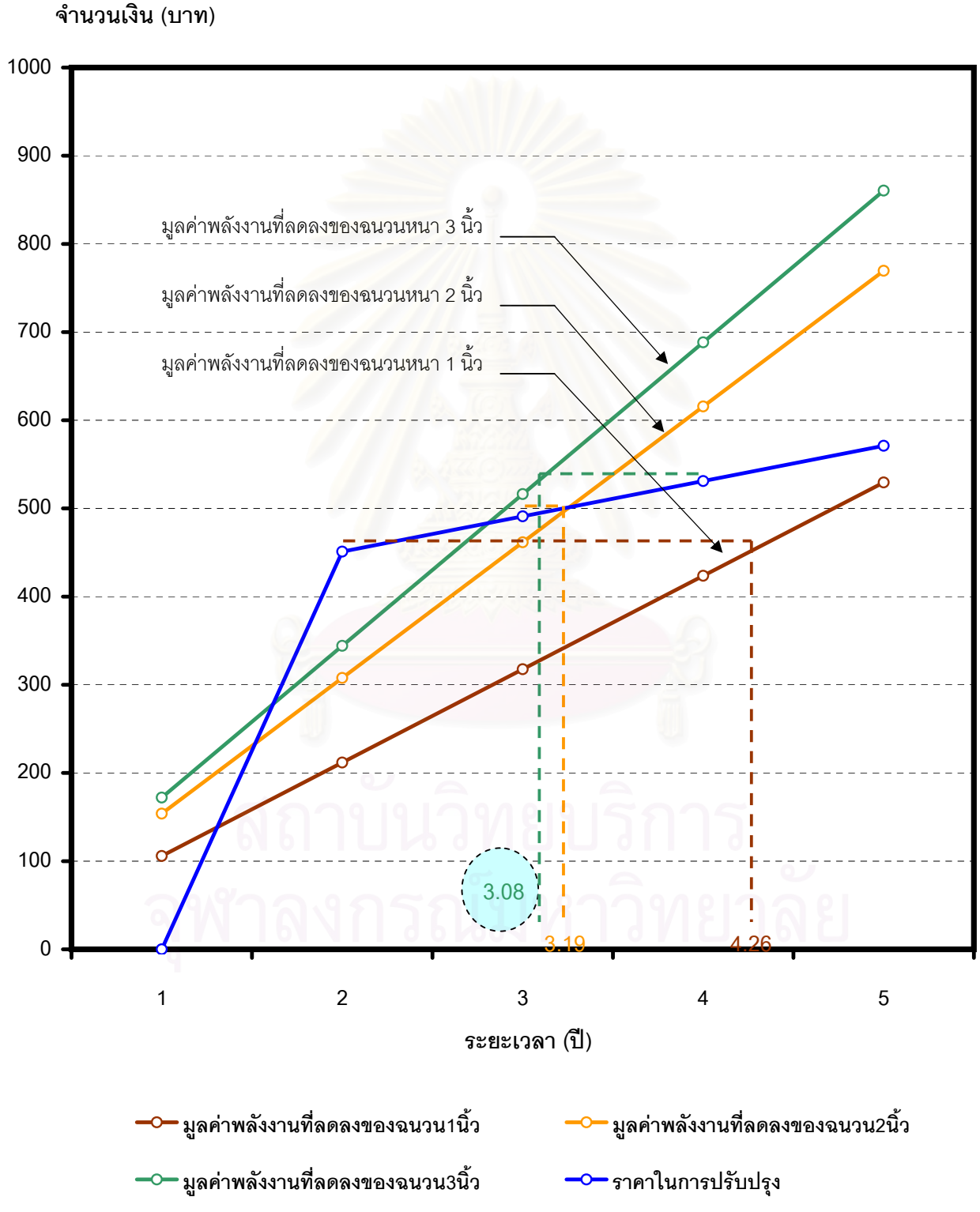


แผนภูมิที่ 4-71 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบ
กับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายนอก ทิศตะวันตก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 72 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
ภายนอกหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก



ตารางที่ 4-23 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายนอกหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก

West	Q-con-out						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	197.6098606	63.5401481	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	90.36786706	29.05719198	34.48295612	42356.10466	105.8902616	451	4.259126316
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	41.70292412	13.40930036	50.13084774	61576.7229	153.9418072	491	3.189516927
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	23.26812353	7.481711746	56.05843635	68857.69854	172.1442464	531	3.08462241

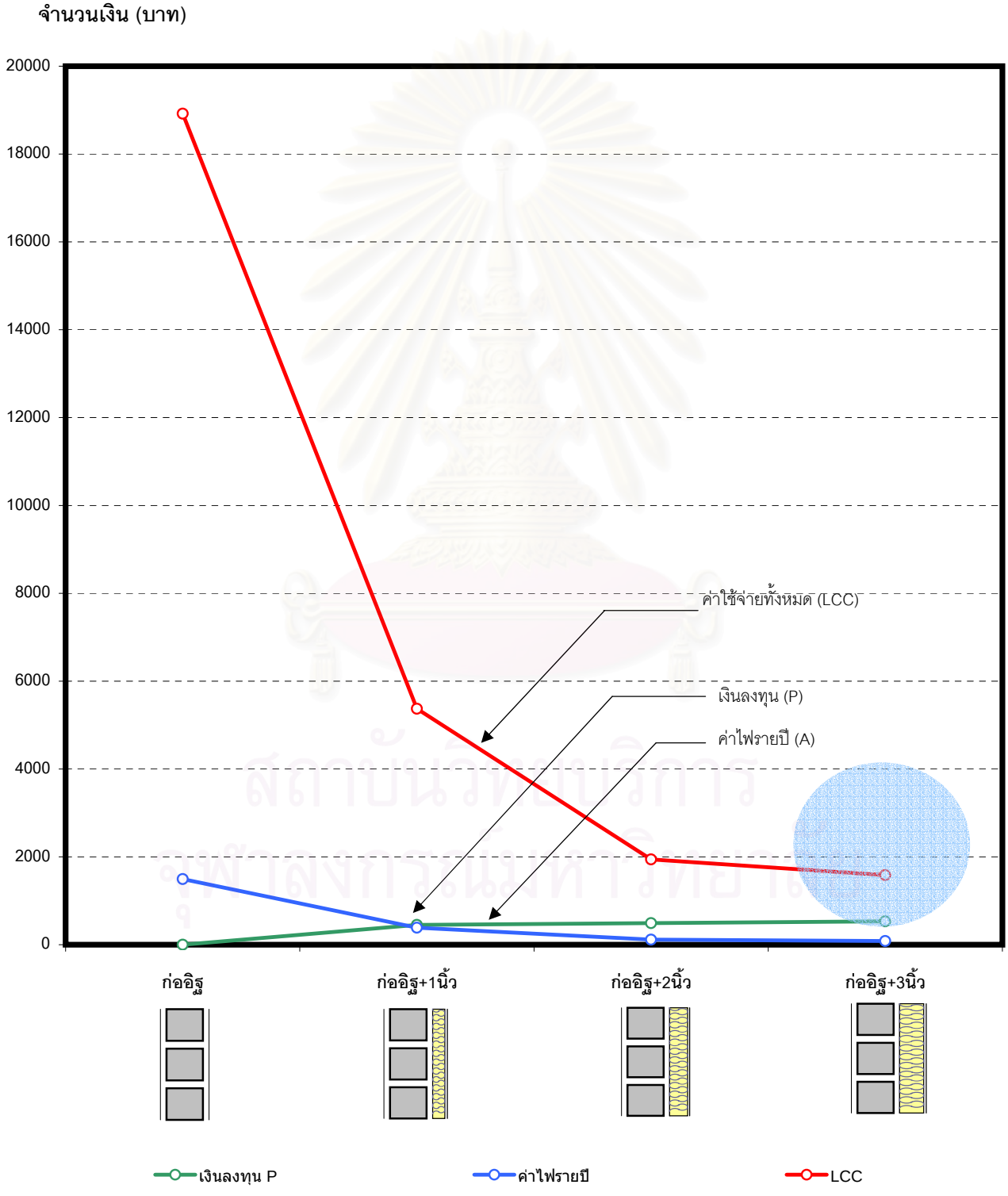
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันออก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 3.08 ปี ซึ่งใกล้เคียงกับการติดตั้งฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.823%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.101%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.136%

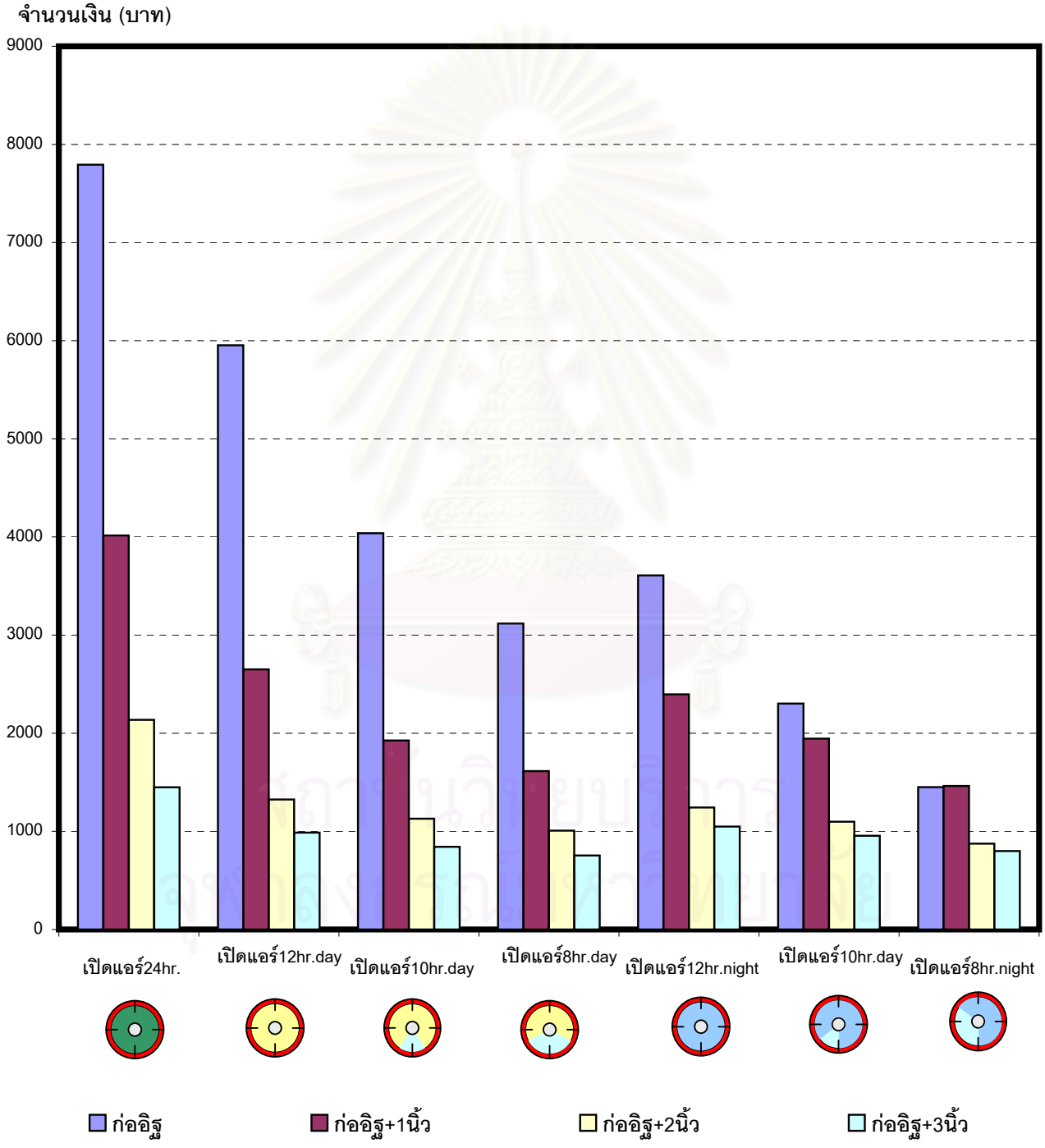
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารทางทิศตะวันออก ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-73 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา
เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก



แผนภูมิที่ 4-74 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
ทางทิศตะวันตก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันตก (ติดตั้งฉนวนภายนอก)

กระทำการทดสอบวันที่ 5-6 เม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบามีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.7 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.1 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 2.0 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 6.5 องศาเซลเซียส)

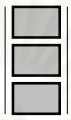
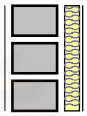
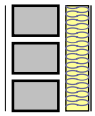
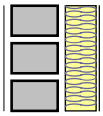
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-24 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายนอกผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

WEST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบาโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันตก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

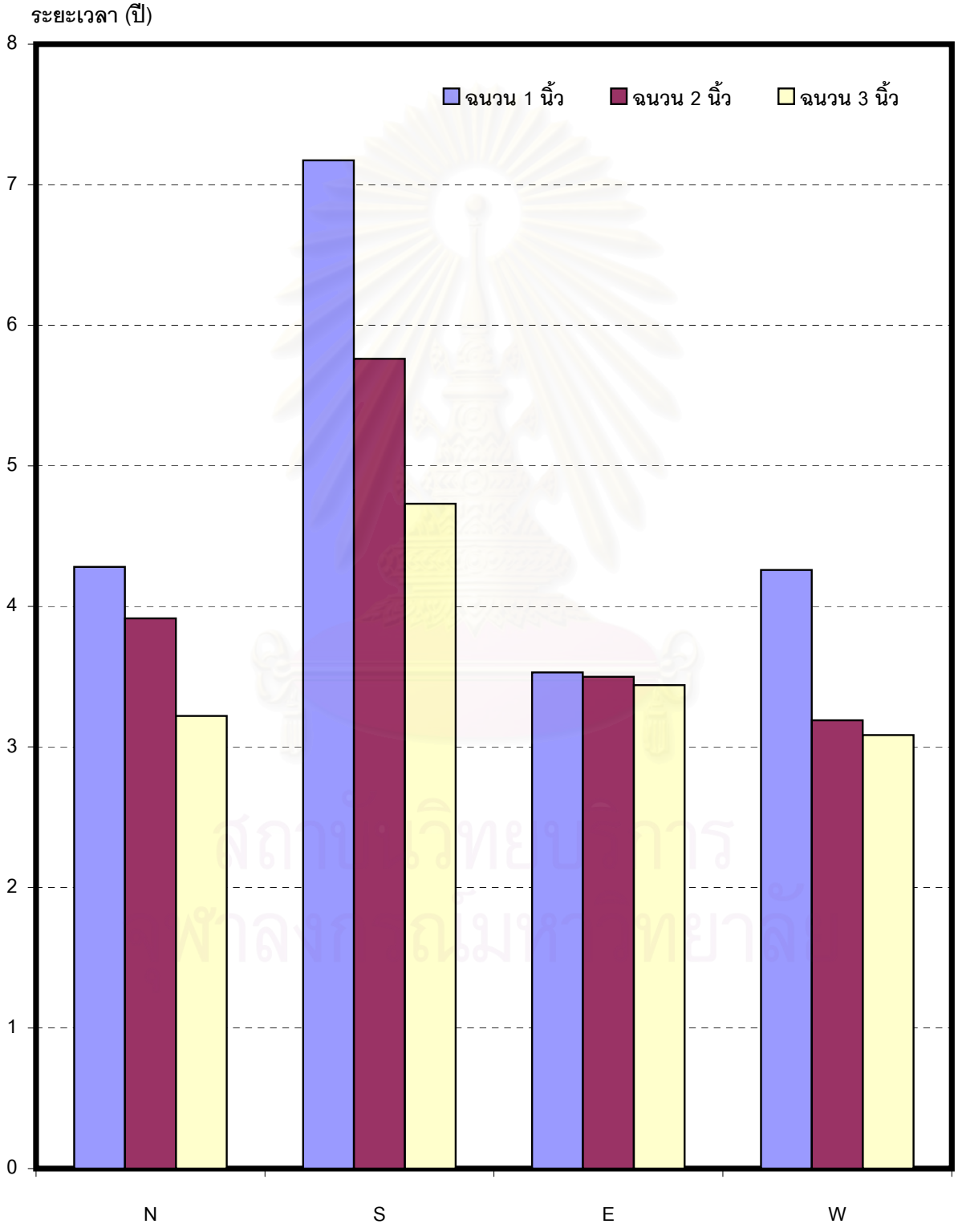
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันตก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-75 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังมวลเบาติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ



สรุปการเลือกความหนาฉนวนที่เหมาะสมในการปรับปรุงผนังภายนอกทั้ง 4 ทิศ

ในการปรับปรุงผนังอาคาร การพิจารณาระยะเวลาคืนทุนมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะสามารถทำให้ทราบถึงช่วงเวลาคืนทุนหลังทำการปรับปรุง และใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบในการปรับปรุงผนังอาคาร ซึ่งจากการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า

ทิศเหนือ

ผนังมวลเบา+ ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	4.28	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.91	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**3.22**	ปี

ทิศใต้

ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	7.17	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	5.76	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**4.72**	ปี

ทิศตะวันออก

ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.52	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.49	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**3.44**	ปี

ทิศตะวันตก

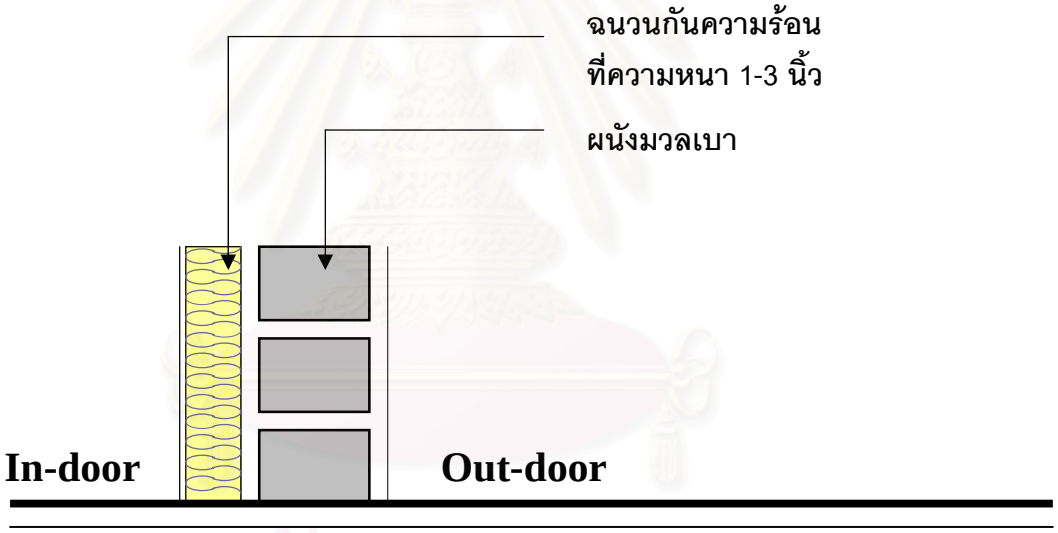
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	4.25	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	3.18	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายนอก	คืนทุนที่	**3.08**	ปี

จากผลการวิเคราะห์พบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อน 3 นิ้วภายนอกอาคาร มีช่วงระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดใกล้เคียงกับ ฉนวน 2 นิ้ว ส่วนการติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนที่นานที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด จึงสามารถลดปริมาณความร้อนได้มากกว่าฉนวนหนา 1 และ 2 นิ้ว ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพบว่า อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของผนังที่ปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าน้อยที่สุดทั้ง 4 ทิศ

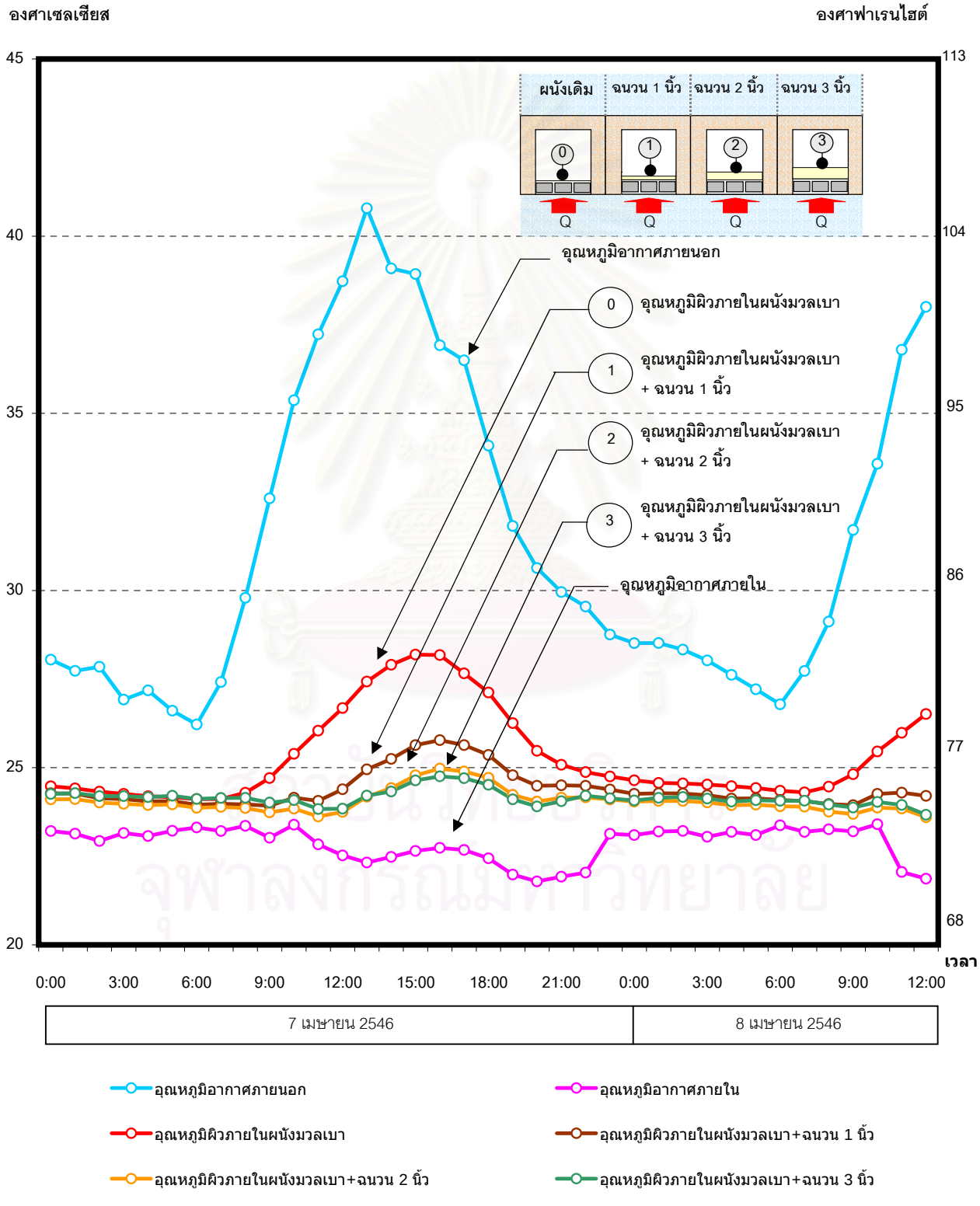
ดังนั้น **การเลือกใช้ฉนวน 3 นิ้วติดตั้งภายนอกอาคารทั้ง 4 ทิศ จึงมีความเหมาะสมที่สุด**

4.2.2 การปรับปรุงผนังมวลเบา โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว ภายในอาคาร

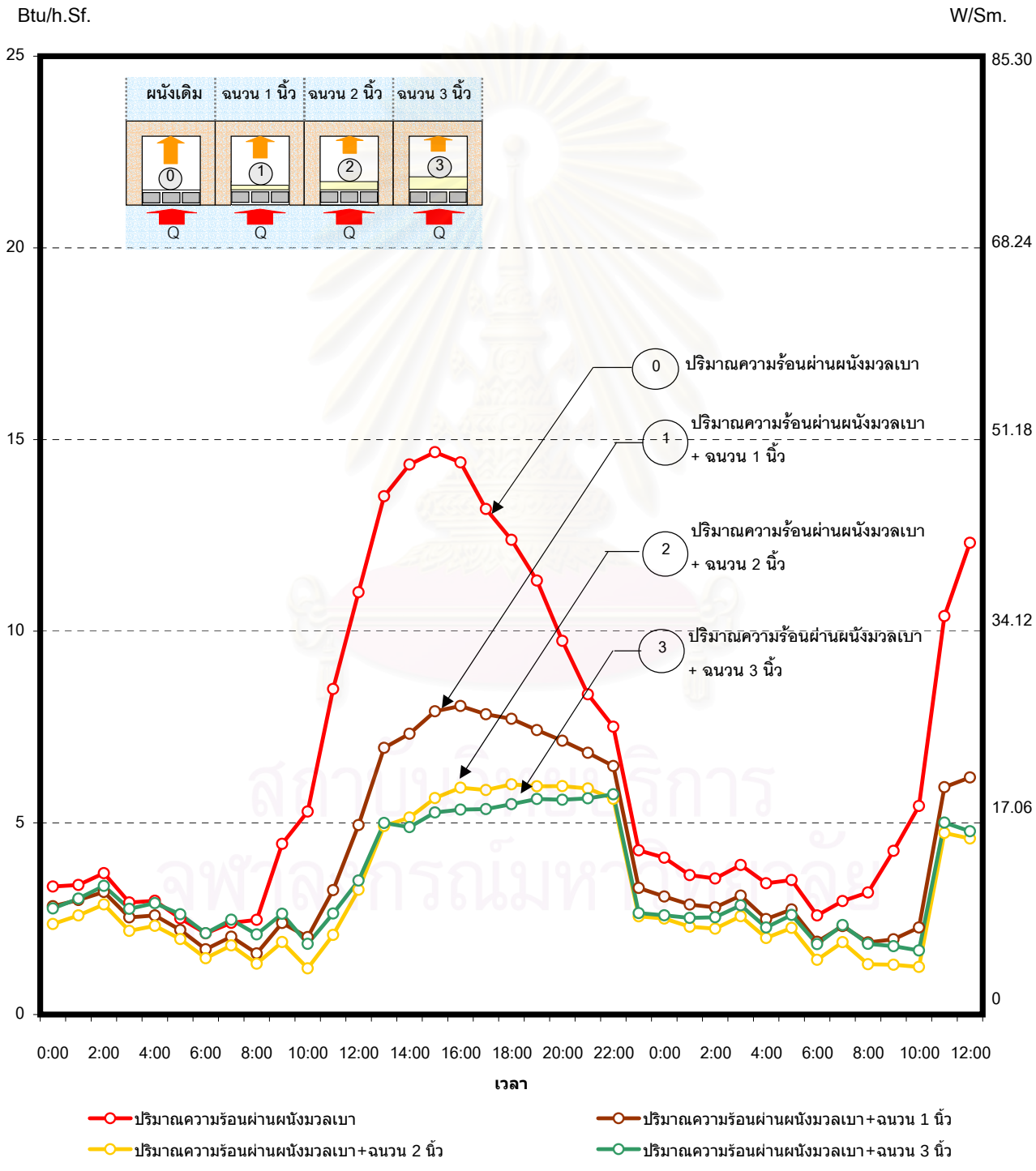


ทำการทดสอบผนังมวลเบา ที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก) จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

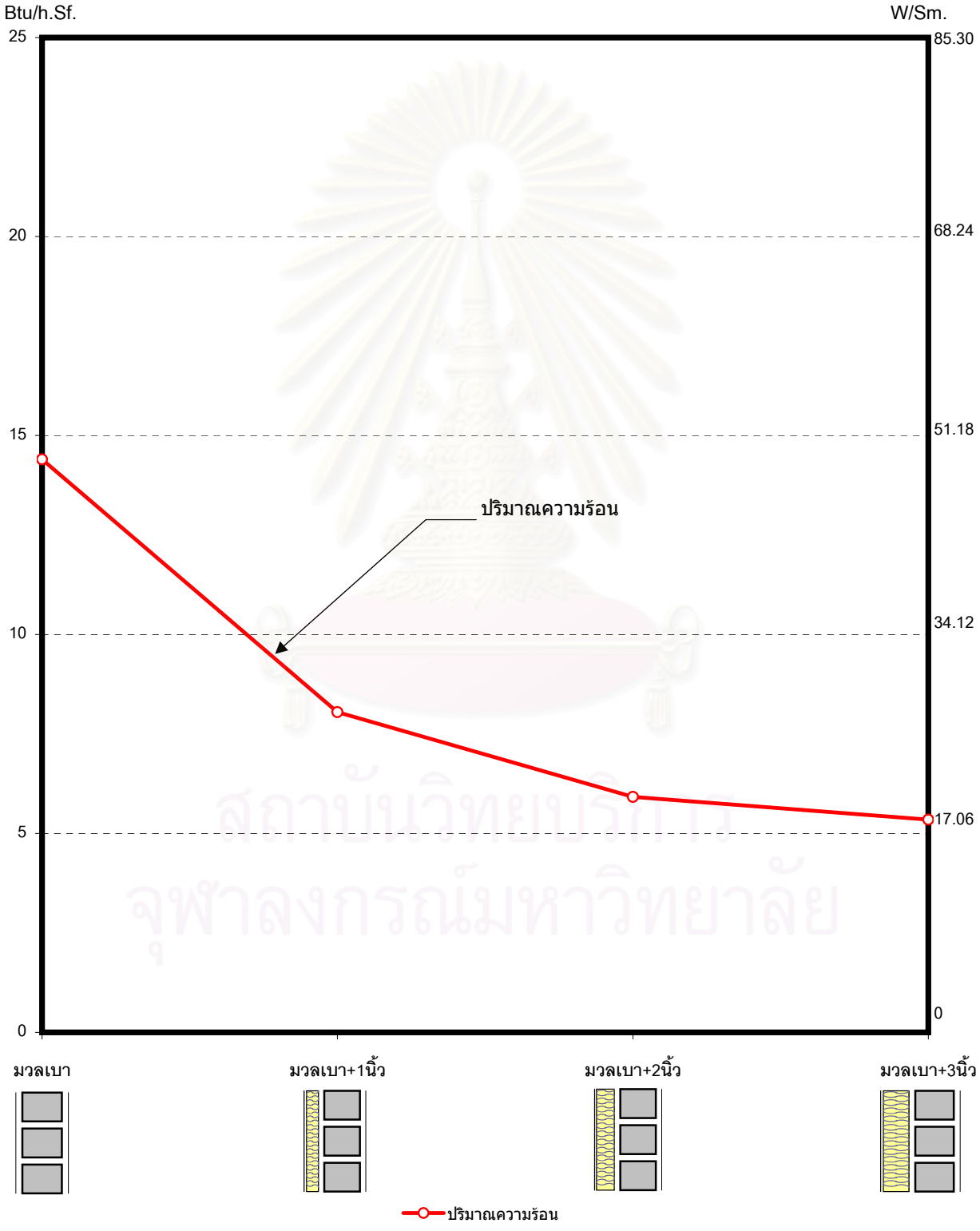
แผนภูมิที่ 4-76 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวน
กันความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทิศเหนือ



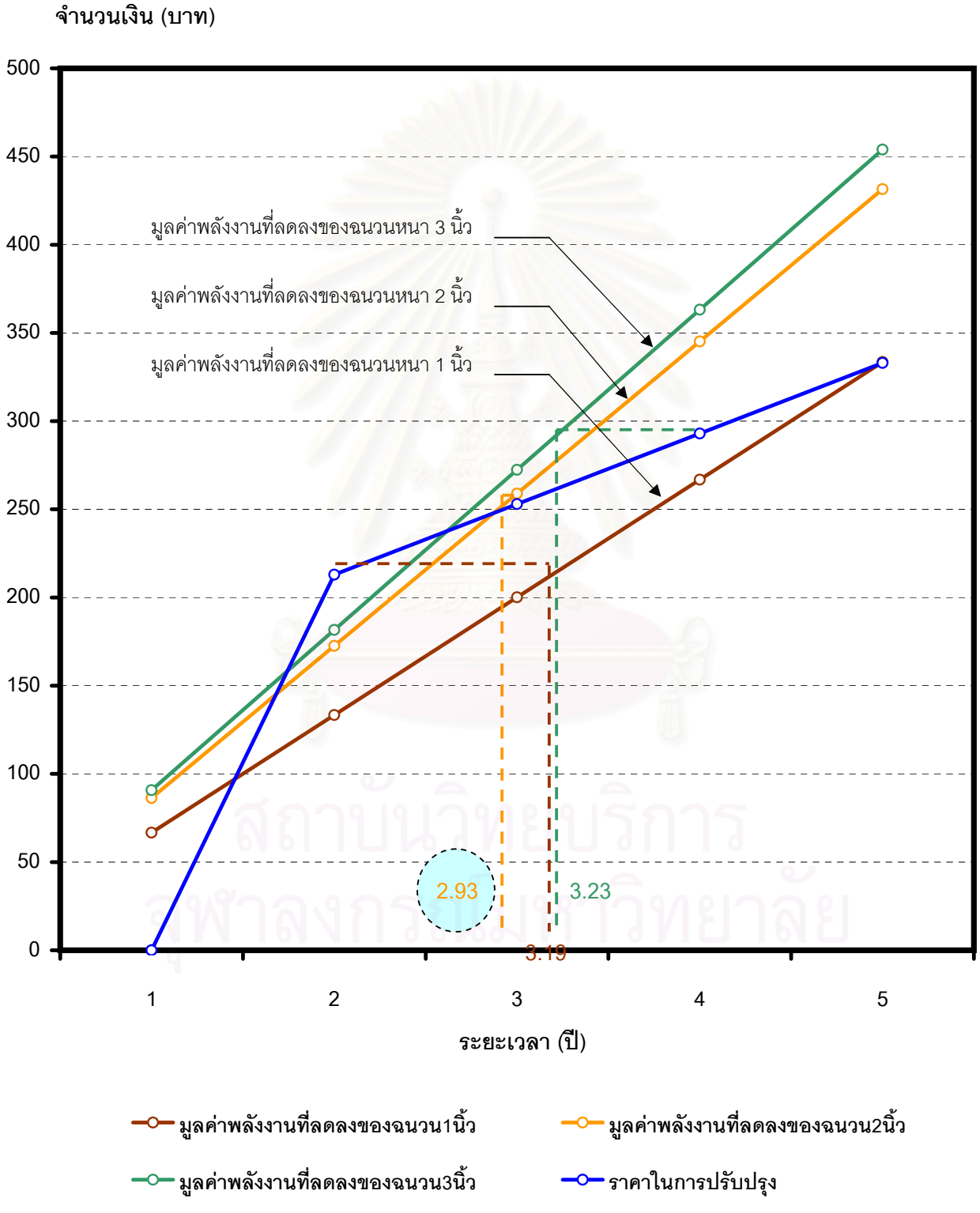
แผนภูมิที่ 4-77 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-78 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายใน ทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4- 79 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศเหนือ



ตารางที่ 4-25 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ

North	Q-con-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	178.7668941	57.48131644	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	111.2201788	35.76211538	21.71920106	26678.12905	66.69532261	213	3.193627254
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	91.31760265	29.3625732	28.11874324	34538.81469	86.34703674	253	2.930036856
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	86.78354824	27.90467789	29.57663855	36329.57666	90.82394165	293	3.226021627

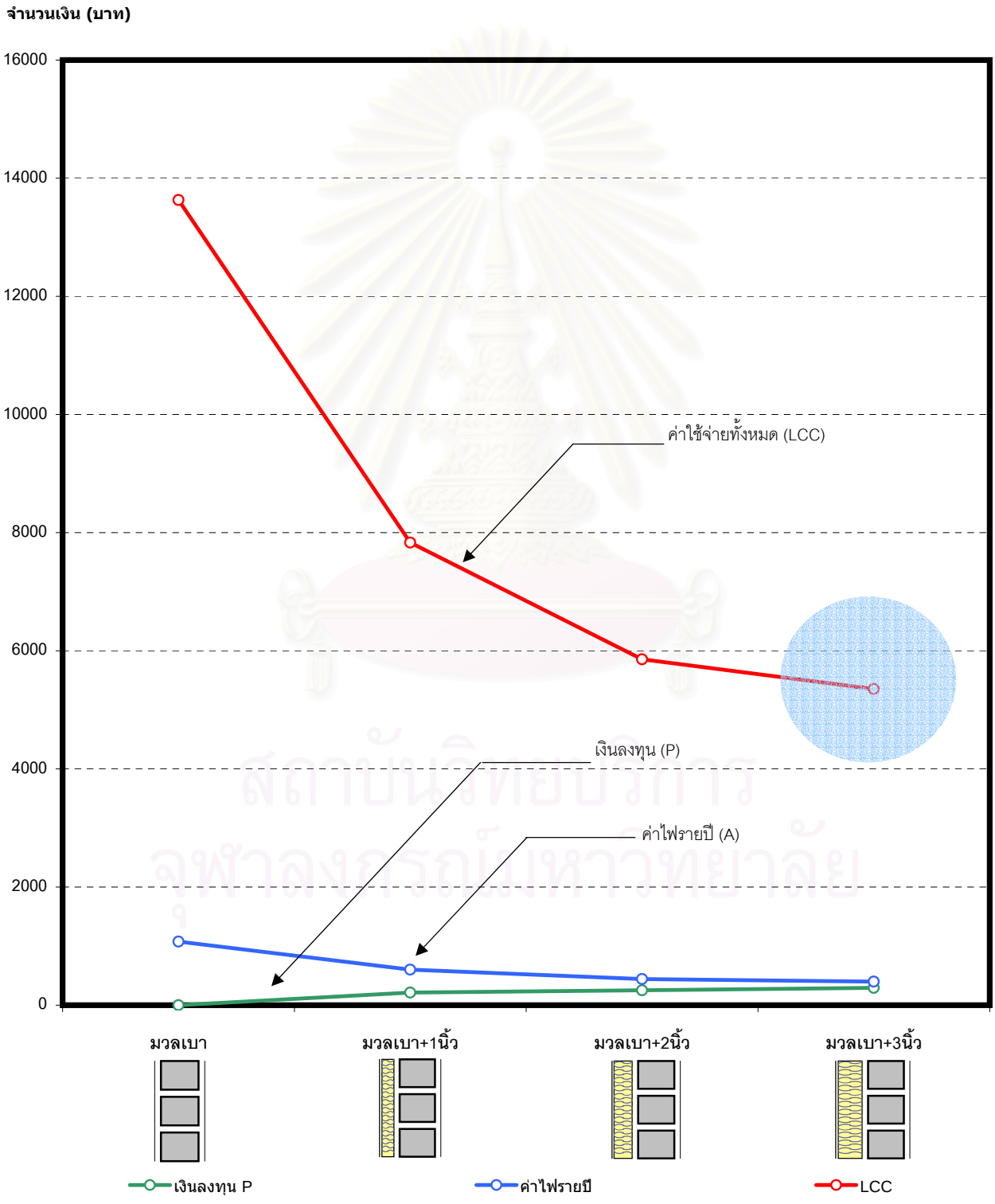
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศเหนือ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 2.93 ปี และเมื่อ พิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.097%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.194%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.086%

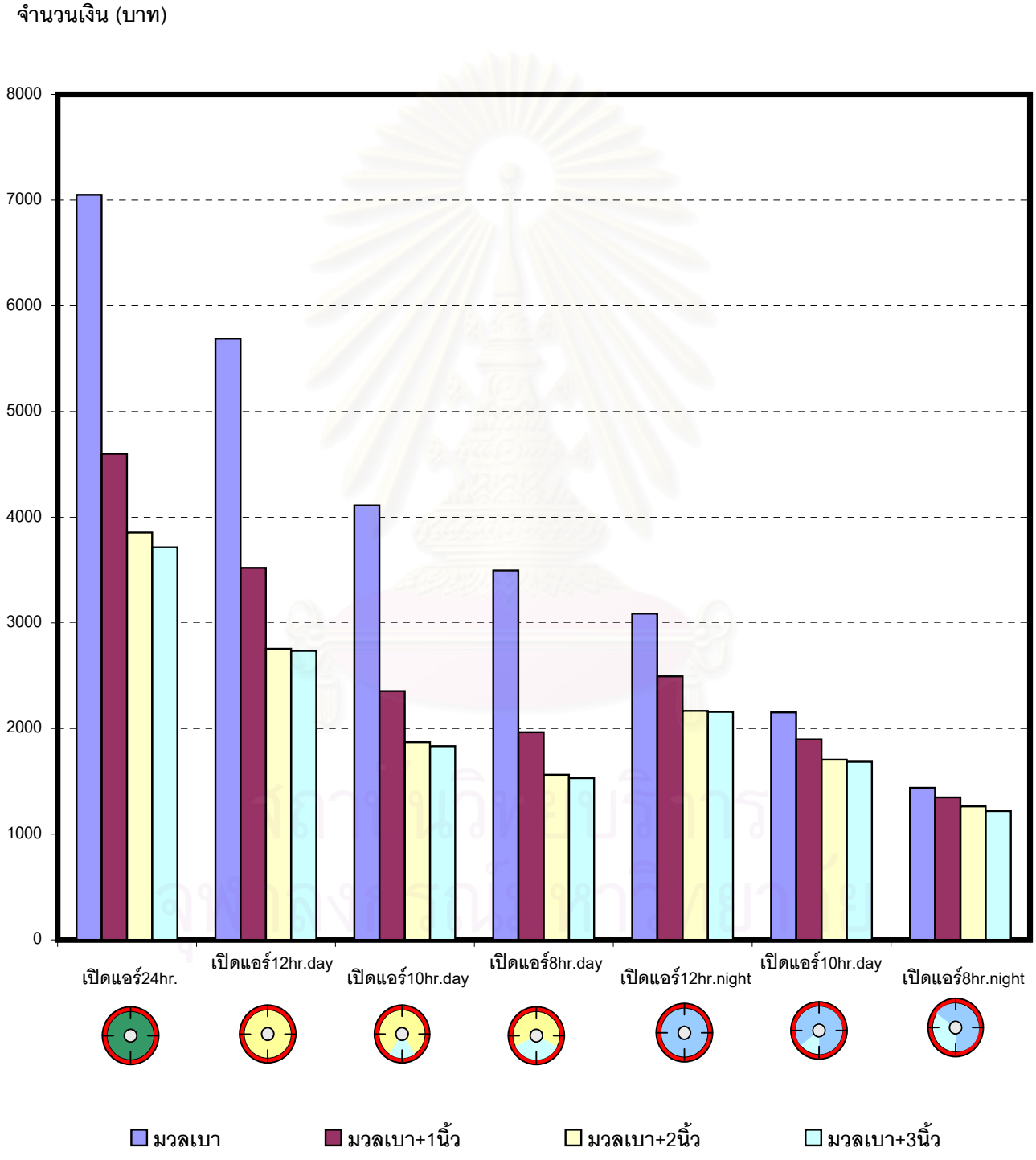
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศเหนือ ควรติดฉนวนที่ความหนา 2 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-80 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศเหนือ



แผนภูมิที่ 4-81 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
ทางทิศเหนือ



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศเหนือ (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 7-8 เม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบา มีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.3 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.8 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบา ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 3.7 องศาเซลเซียส)

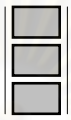
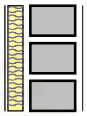
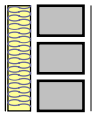
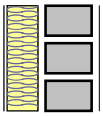
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-26 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ทางทิศเหนือ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

NORTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา+ ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศเหนือ

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

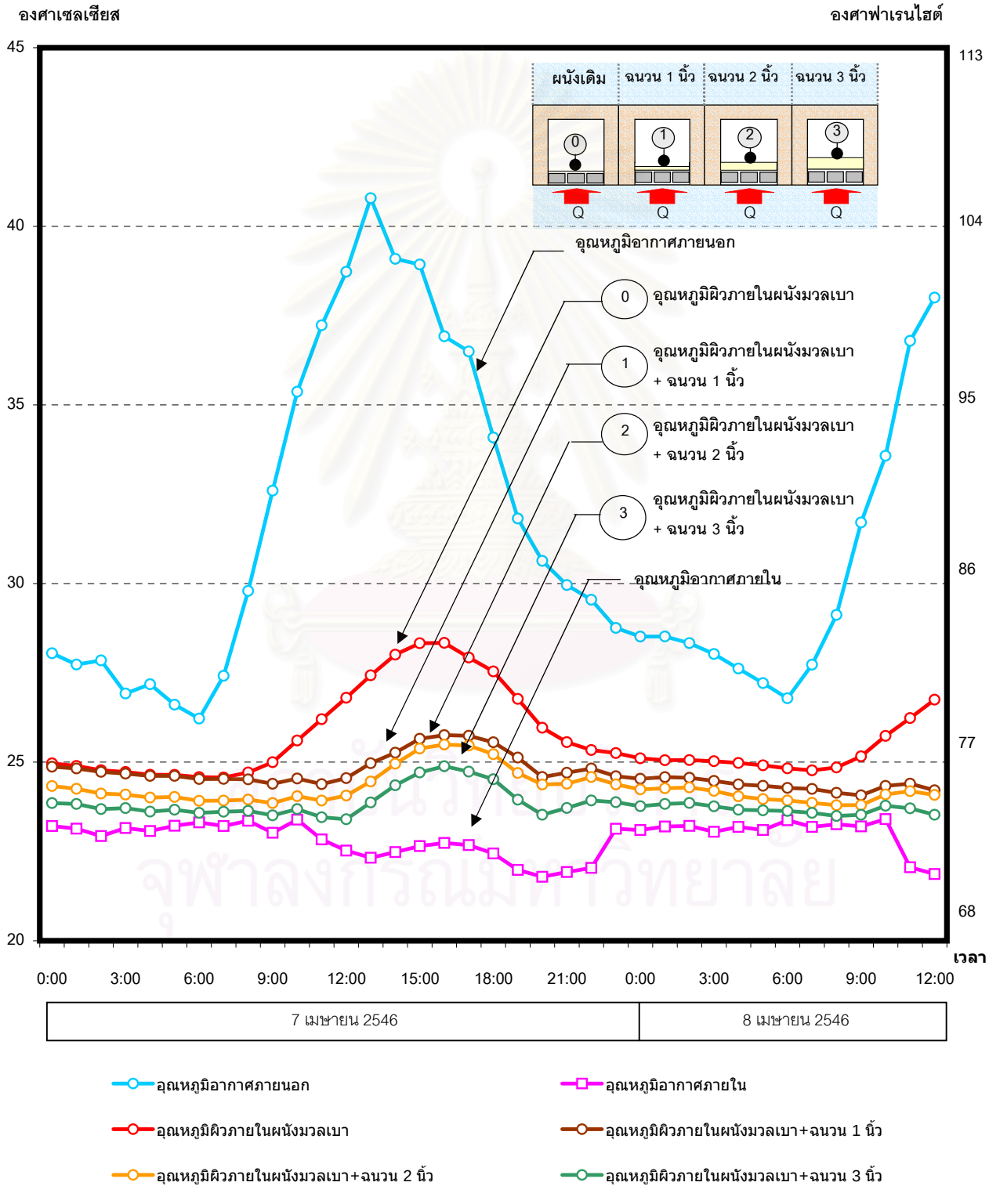
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

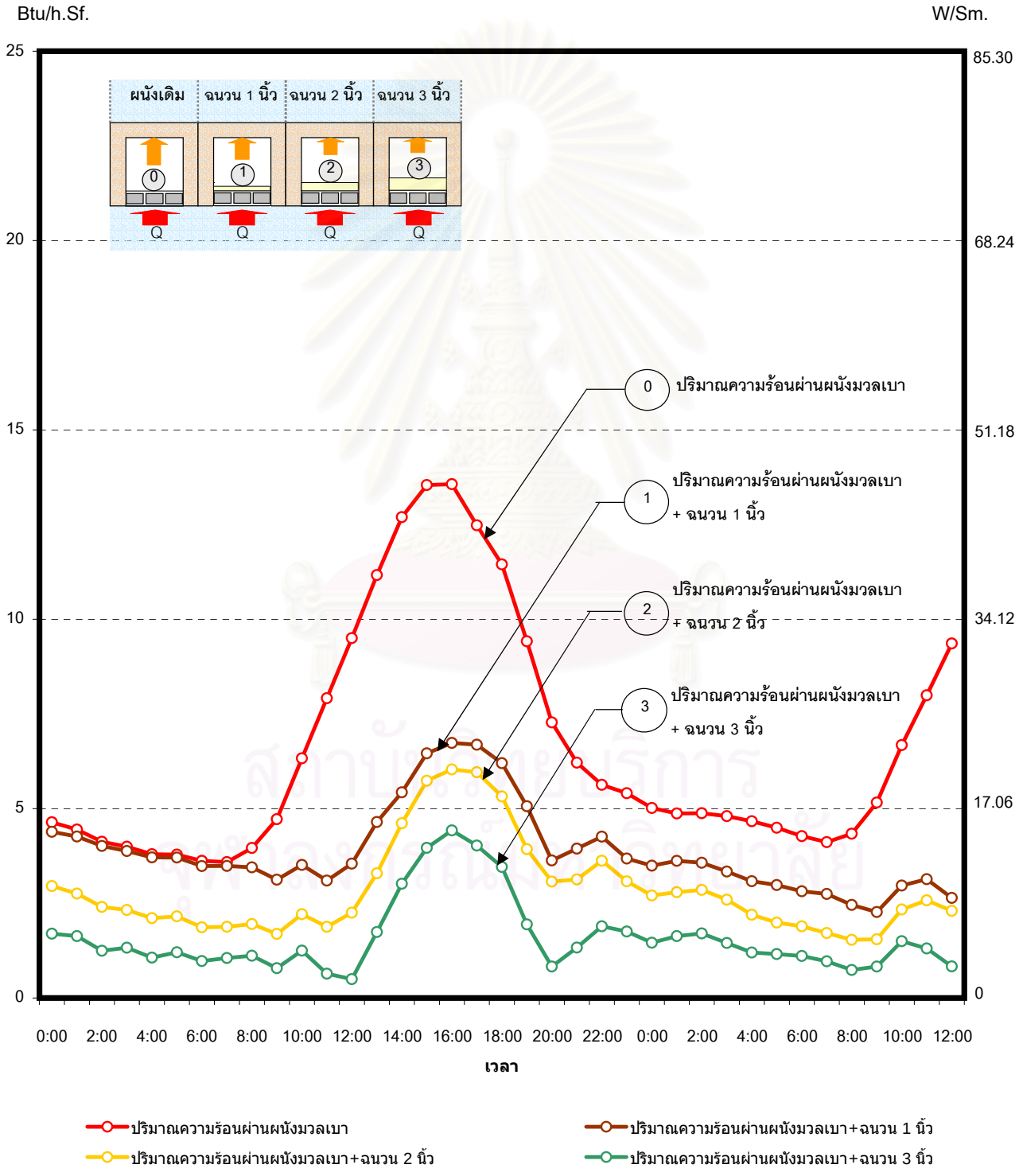
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศเหนือ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

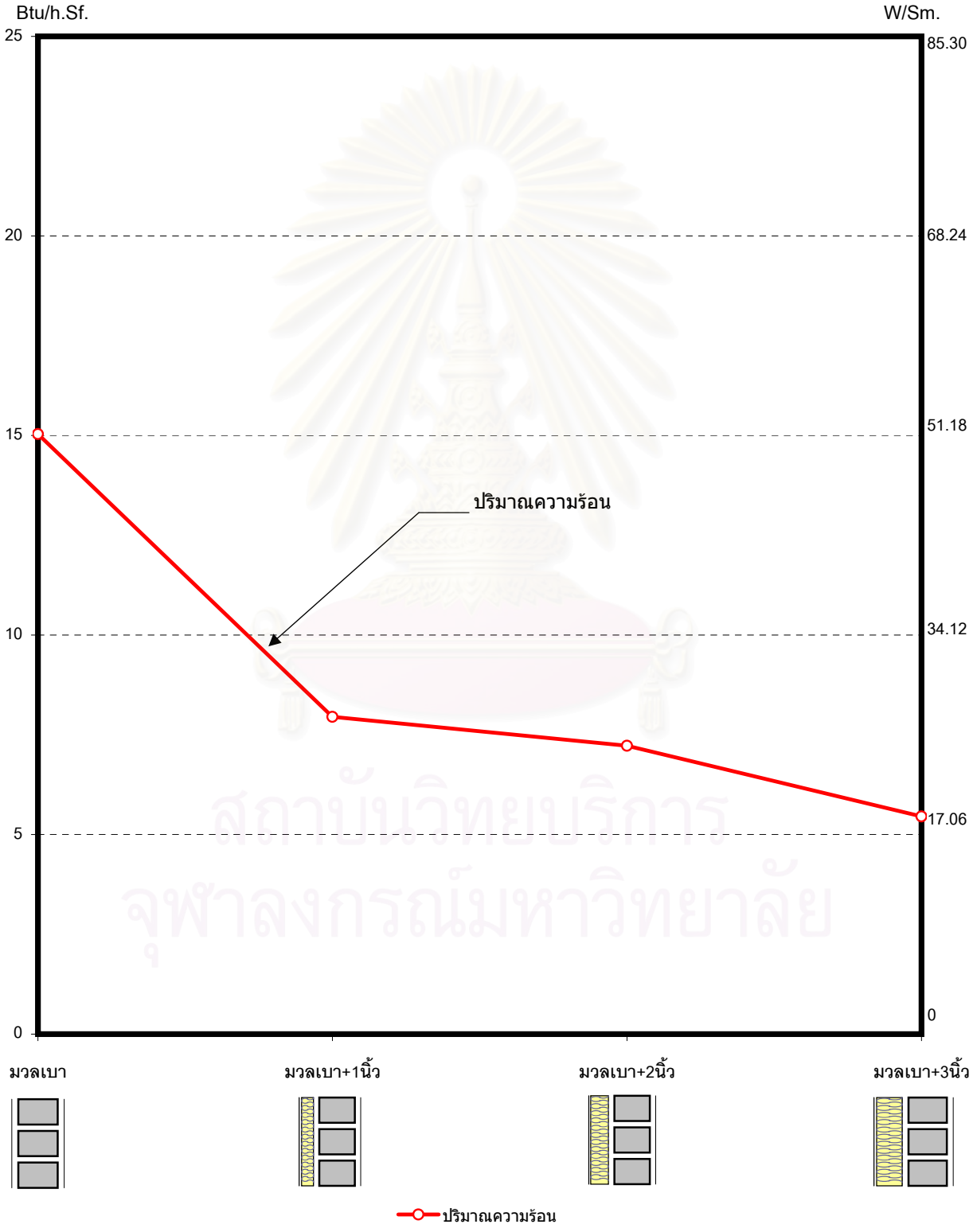
แผนภูมิที่ 4-82 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-83 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศใต้

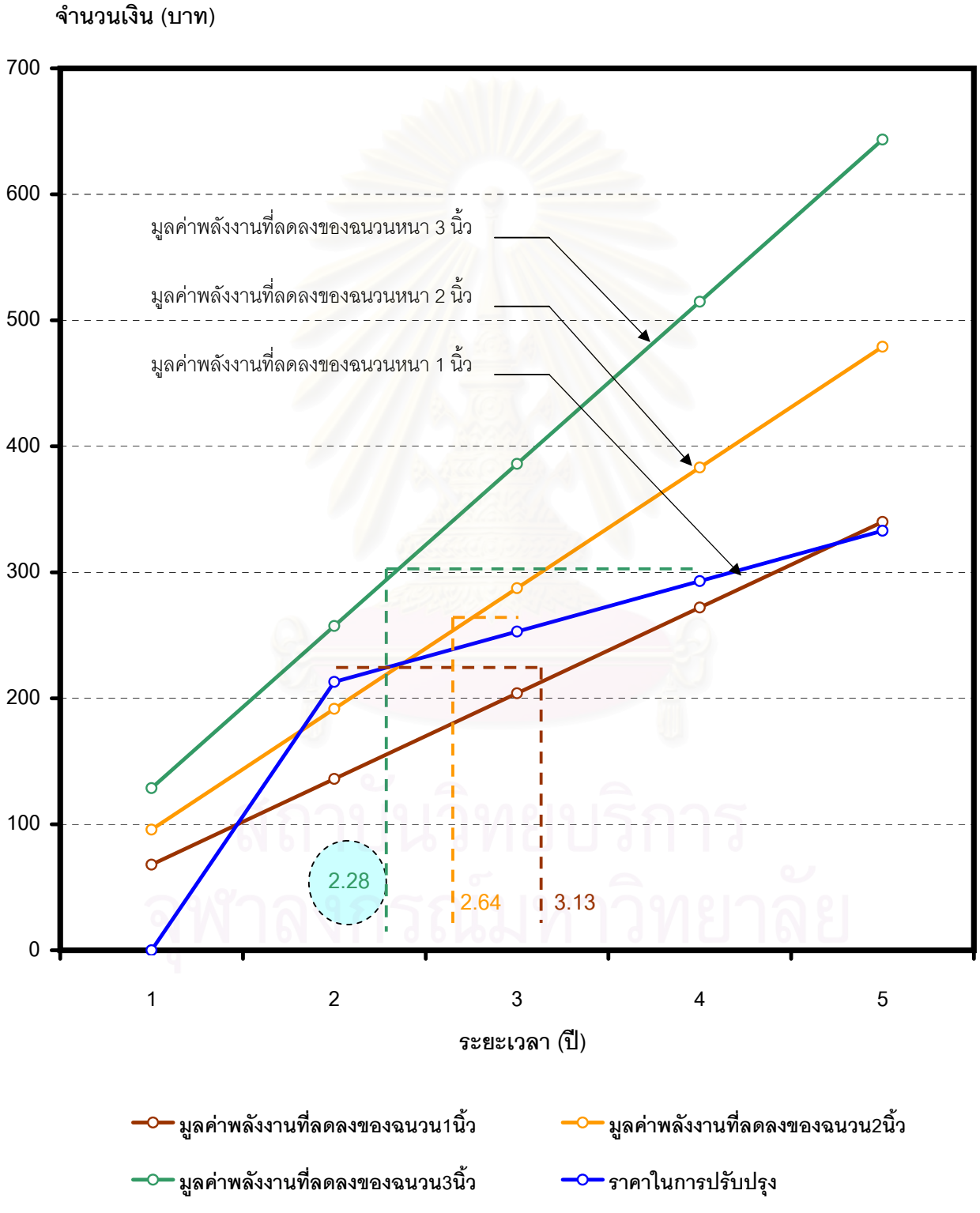


แผนภูมิที่ 4-84 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบ
กับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายใน ทิศใต้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 85 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศใต้



ตารางที่ 4-27 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้

South	Q-con-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	173.2881335	55.71965708	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	104.4174732	33.57475024	22.14490685	27201.03198	68.00257995	213	3.132234103
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	76.241385	24.51491479	31.20474229	38329.40905	95.82352263	253	2.640270291
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	42.89766353	13.79346094	41.92619614	51498.78524	128.7469631	293	2.275781835

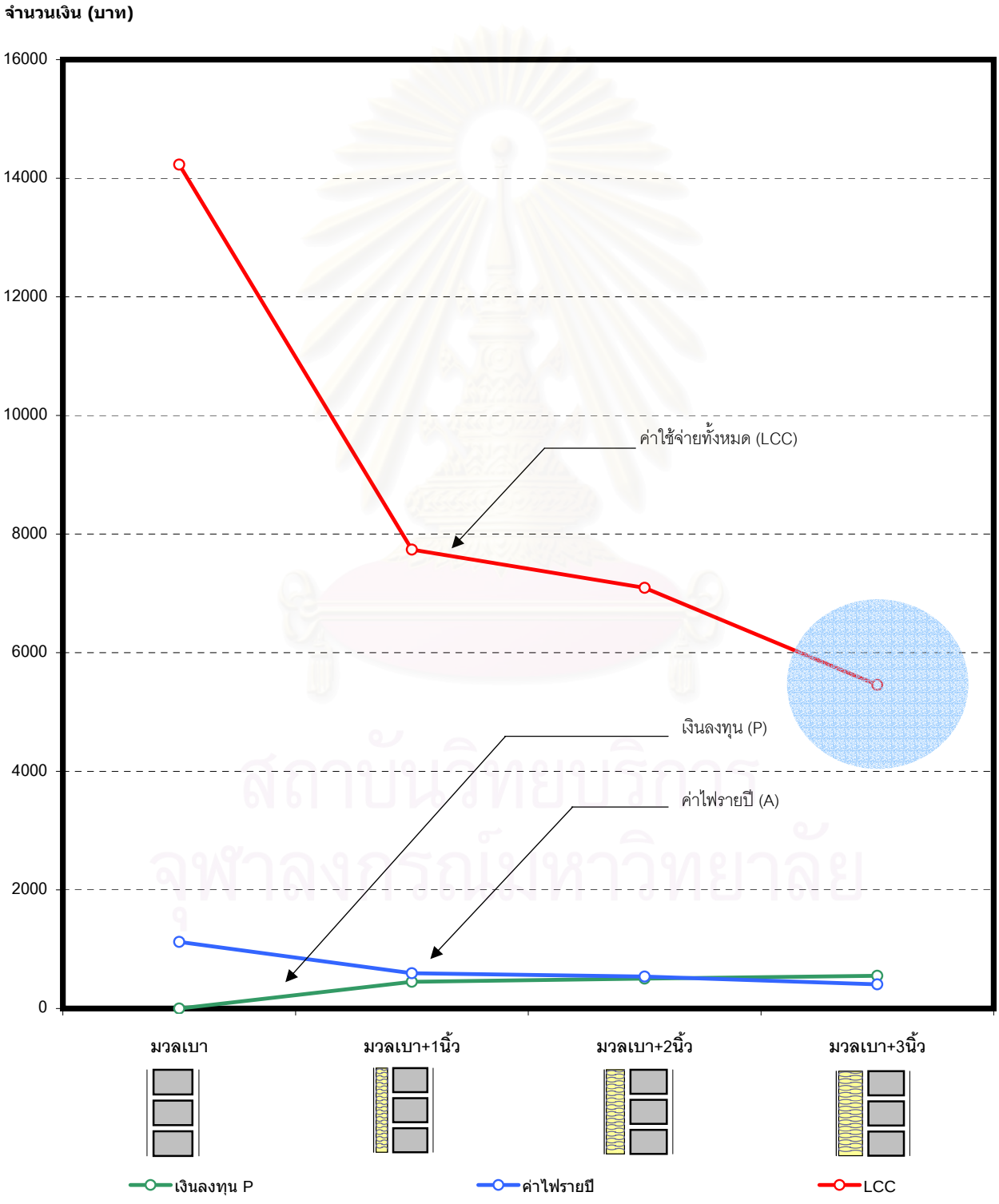
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศใต้ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 1.75 ปี และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.118%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.326%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.541%

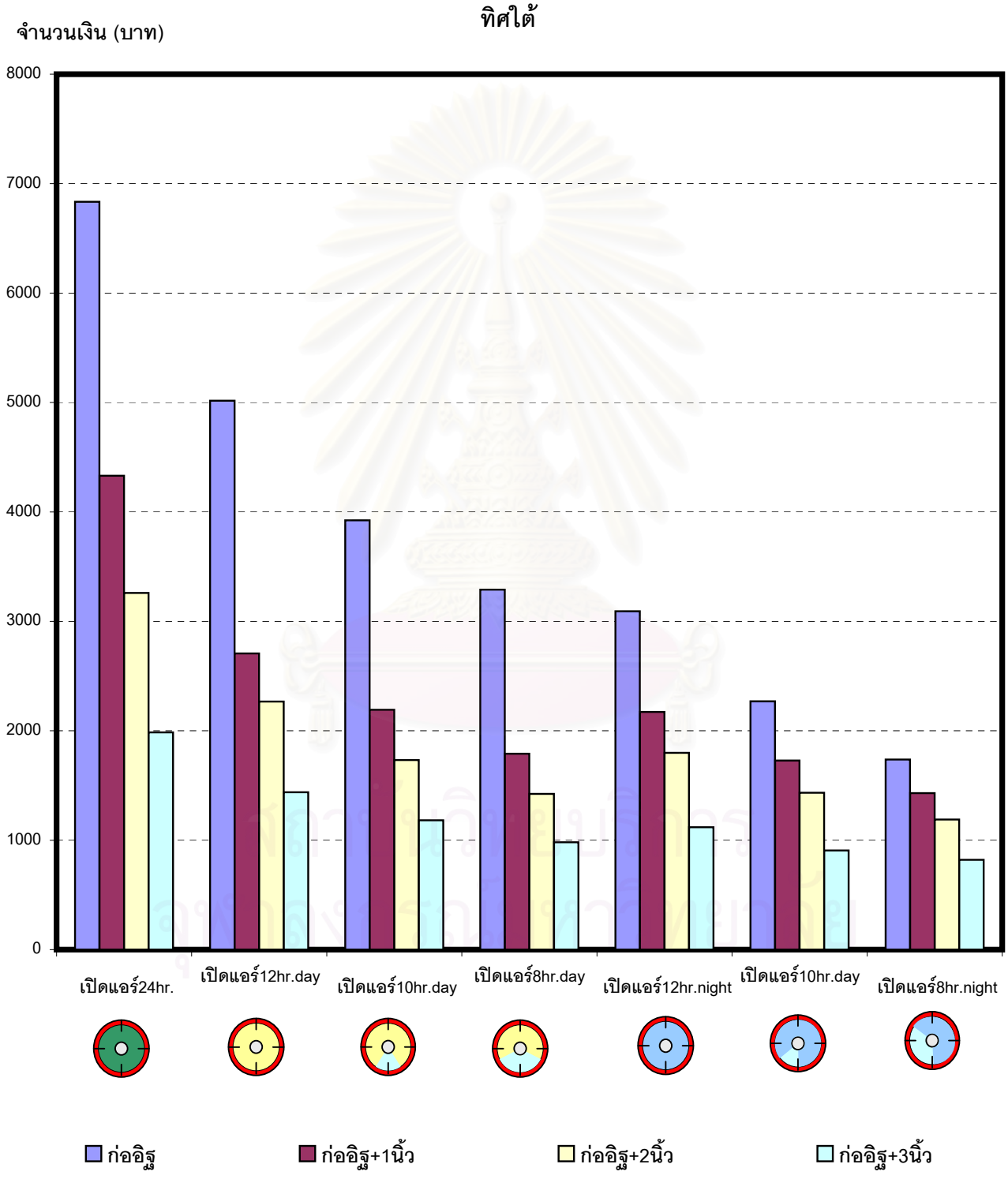
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศใต้ ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-86 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศใต้



แผนภูมิที่ 4-87 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ ทางทิศใต้



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศใต้ (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 7-8 เม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบา มีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.7 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.1 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 1.4 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบา ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 3.8 องศาเซลเซียส)

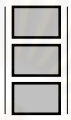
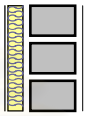
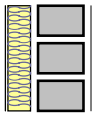
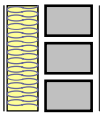
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-28 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ทางทิศใต้ ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

SOUTH-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศใต้

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

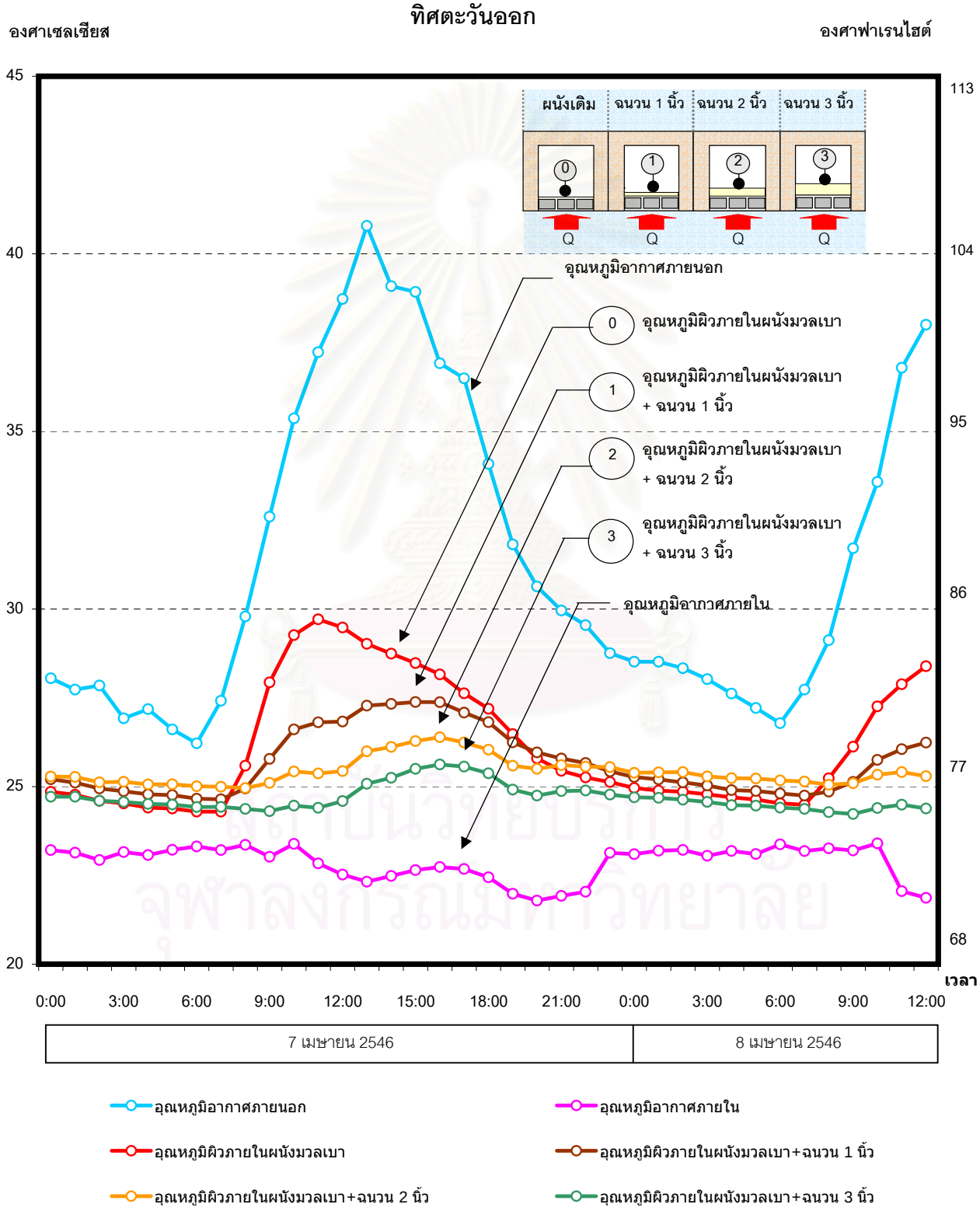
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

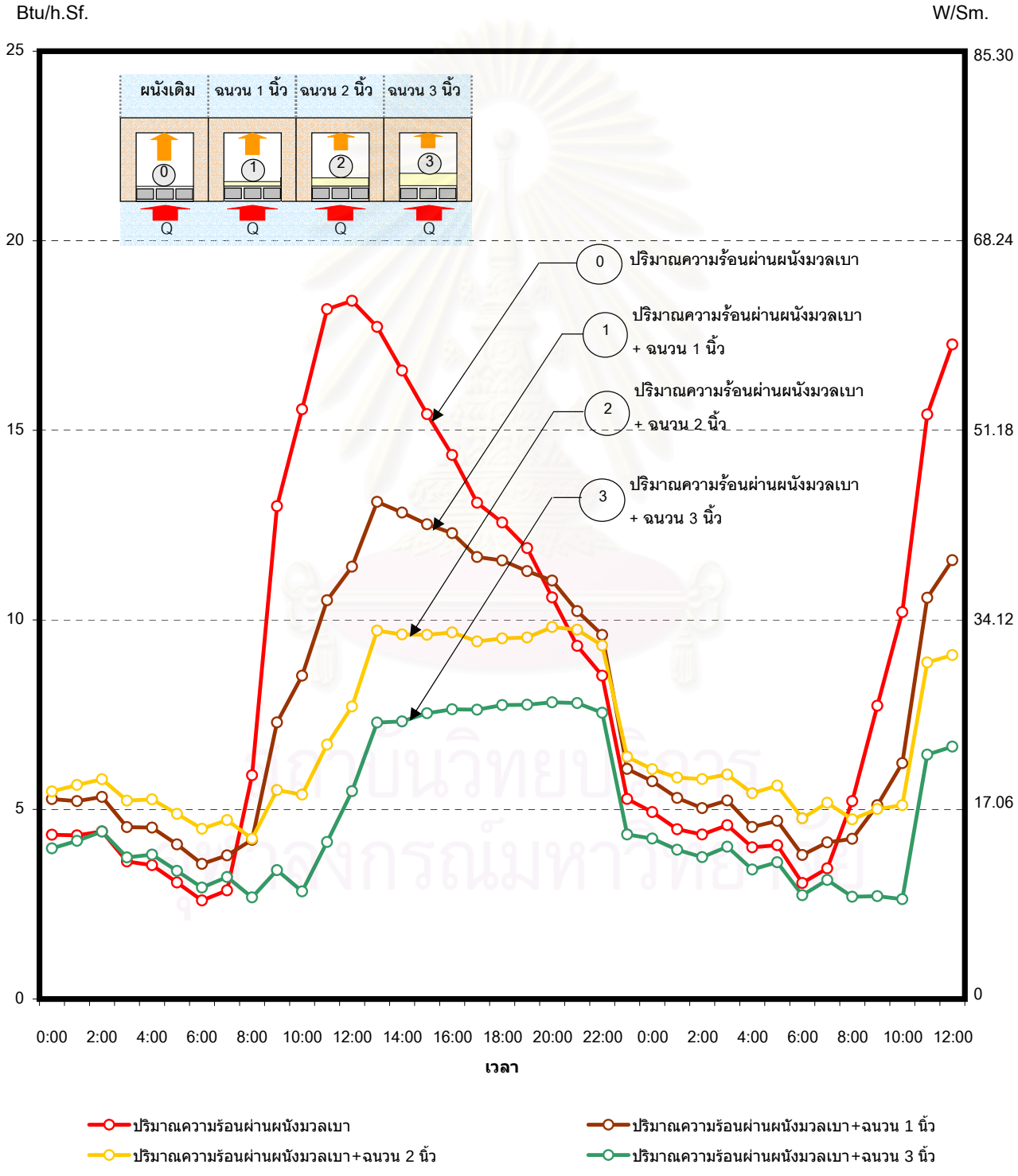
ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศใต้ โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

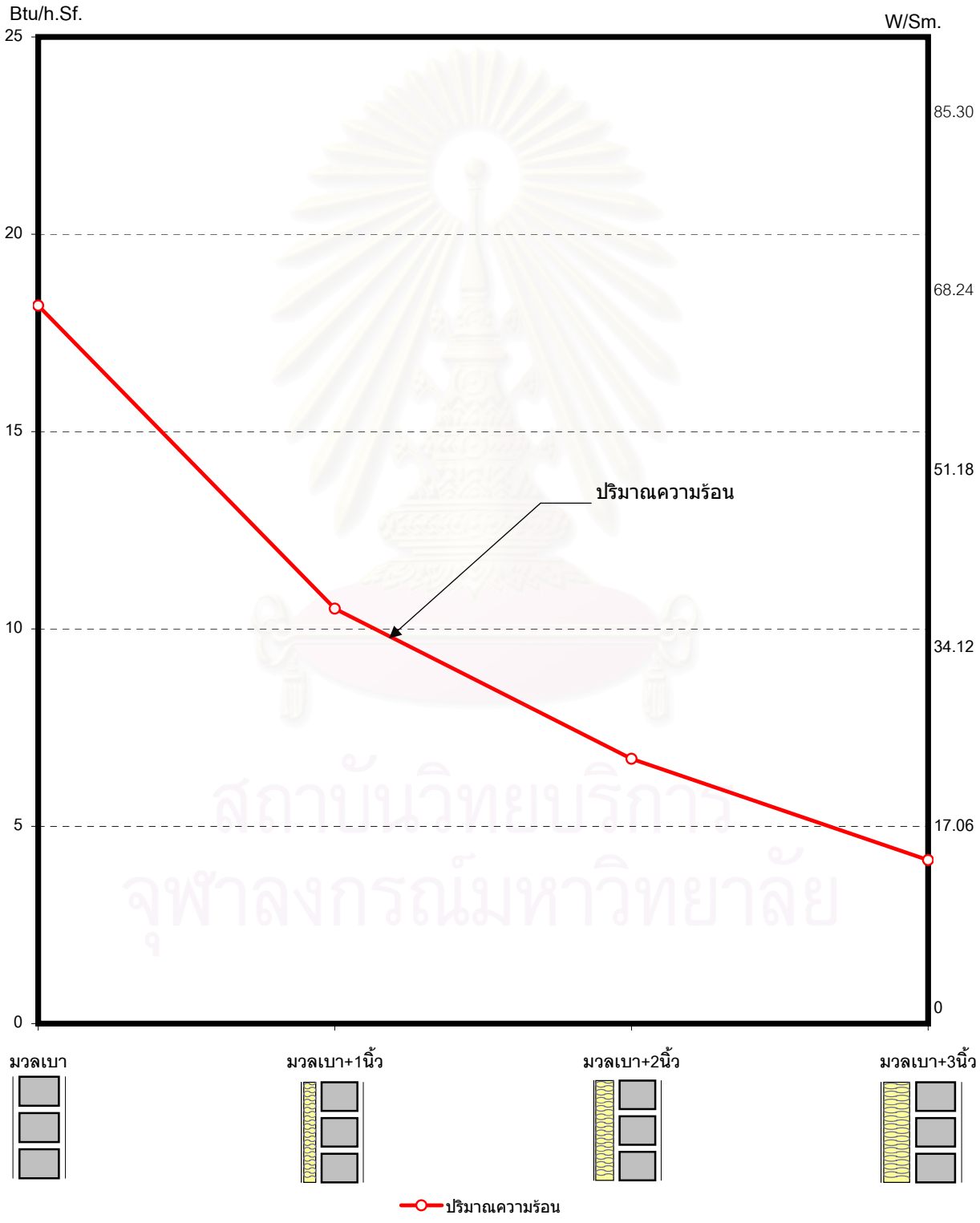
แผนภูมิที่ 4-88 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังทดสอบที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบา ทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-89 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศตะวันออก

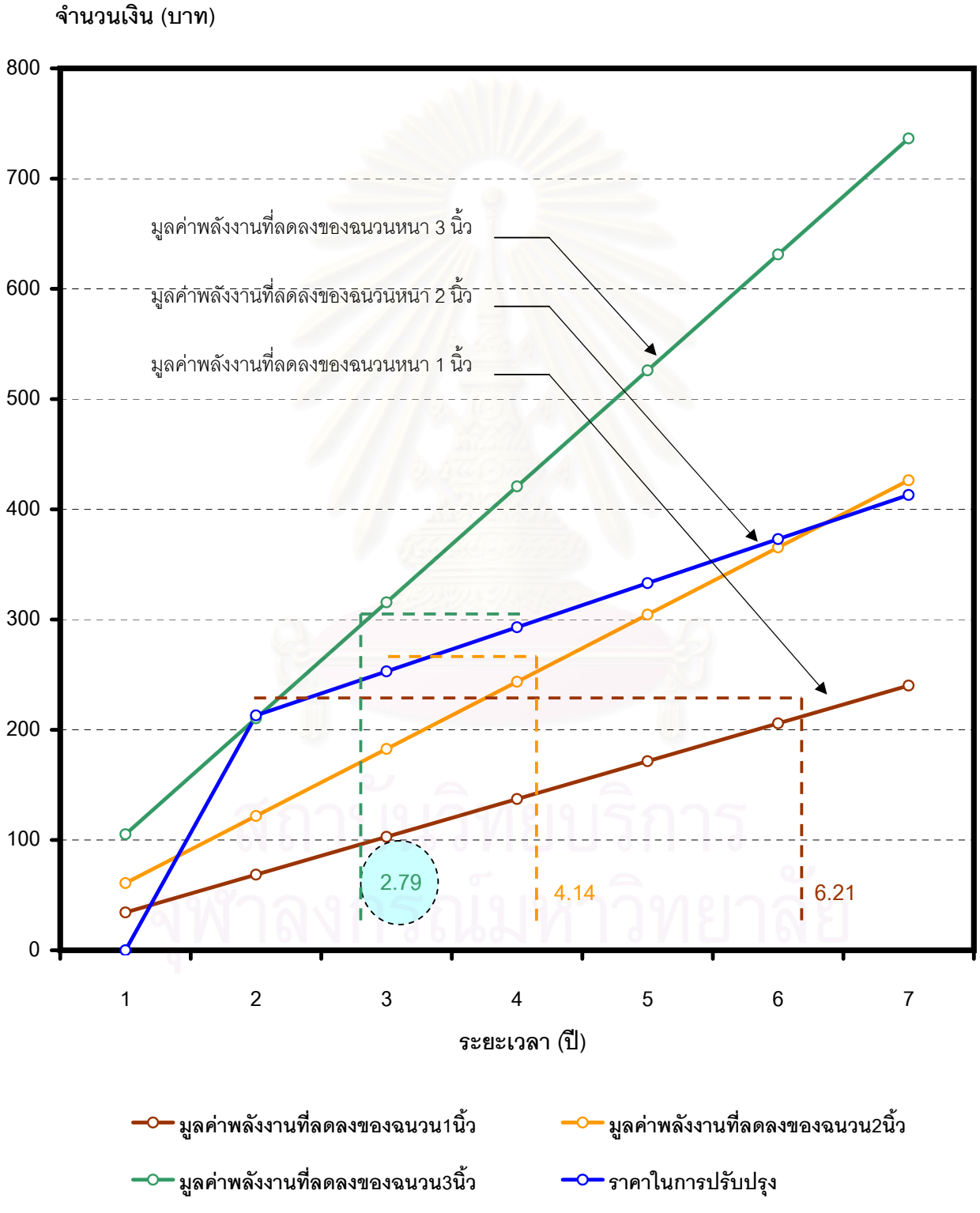


แผนภูมิที่ 4-90 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบ
กับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายใน ทิศตะวันออก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 91 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก



ตารางที่ 4-29 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก

East	Q-con-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	235.1764218	75.61942822	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	200.4561159	64.45534273	11.16408549	13713.06949	34.28267373	213	6.213050991
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	173.4246635	55.7635574	19.85587082	24389.36324	60.9734081	253	4.149349821
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	128.643705	41.36453537	34.25489285	42075.96999	105.189925	293	2.785437865

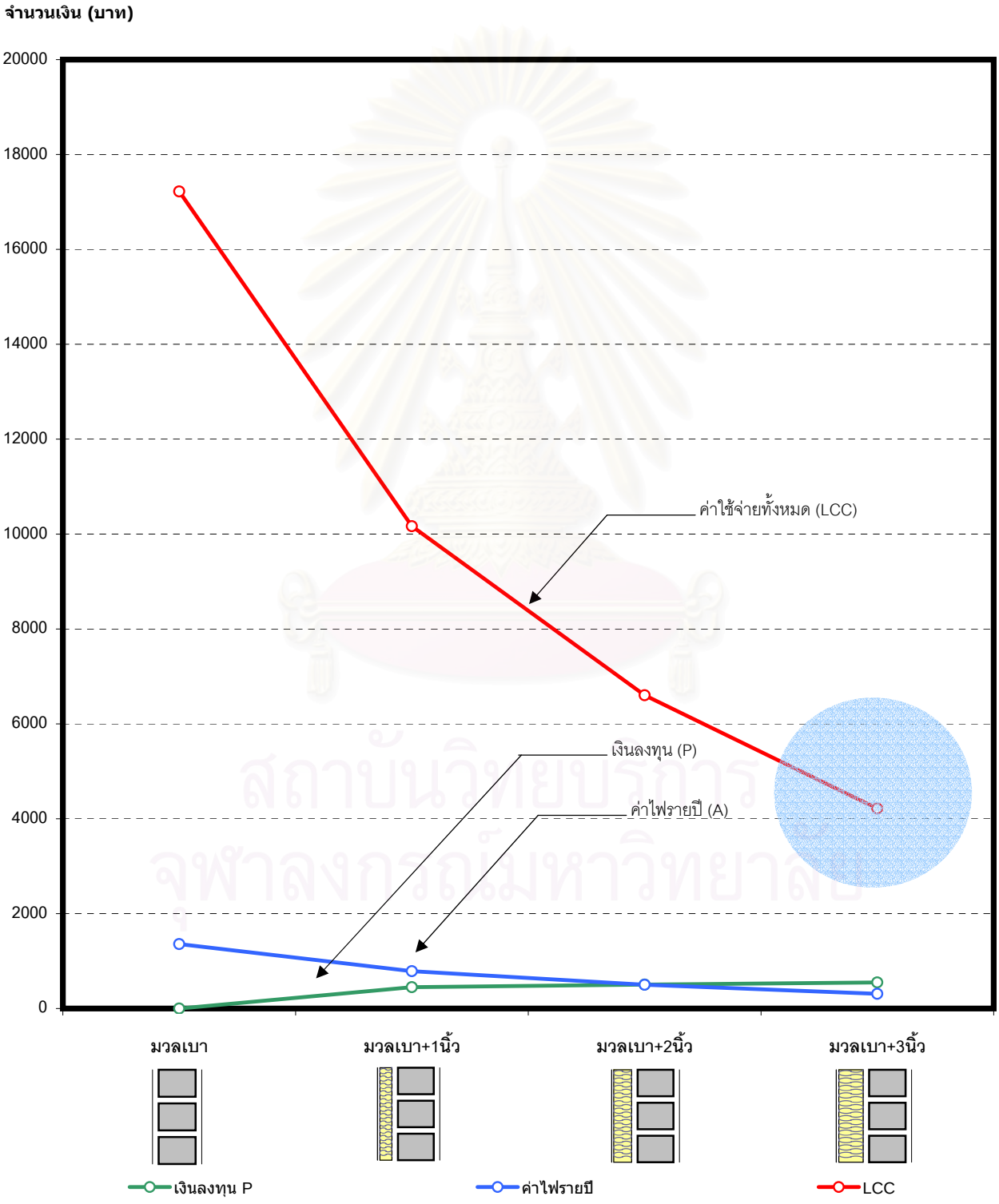
จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันออก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 2.78 ปี และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.563%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.845%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.256%

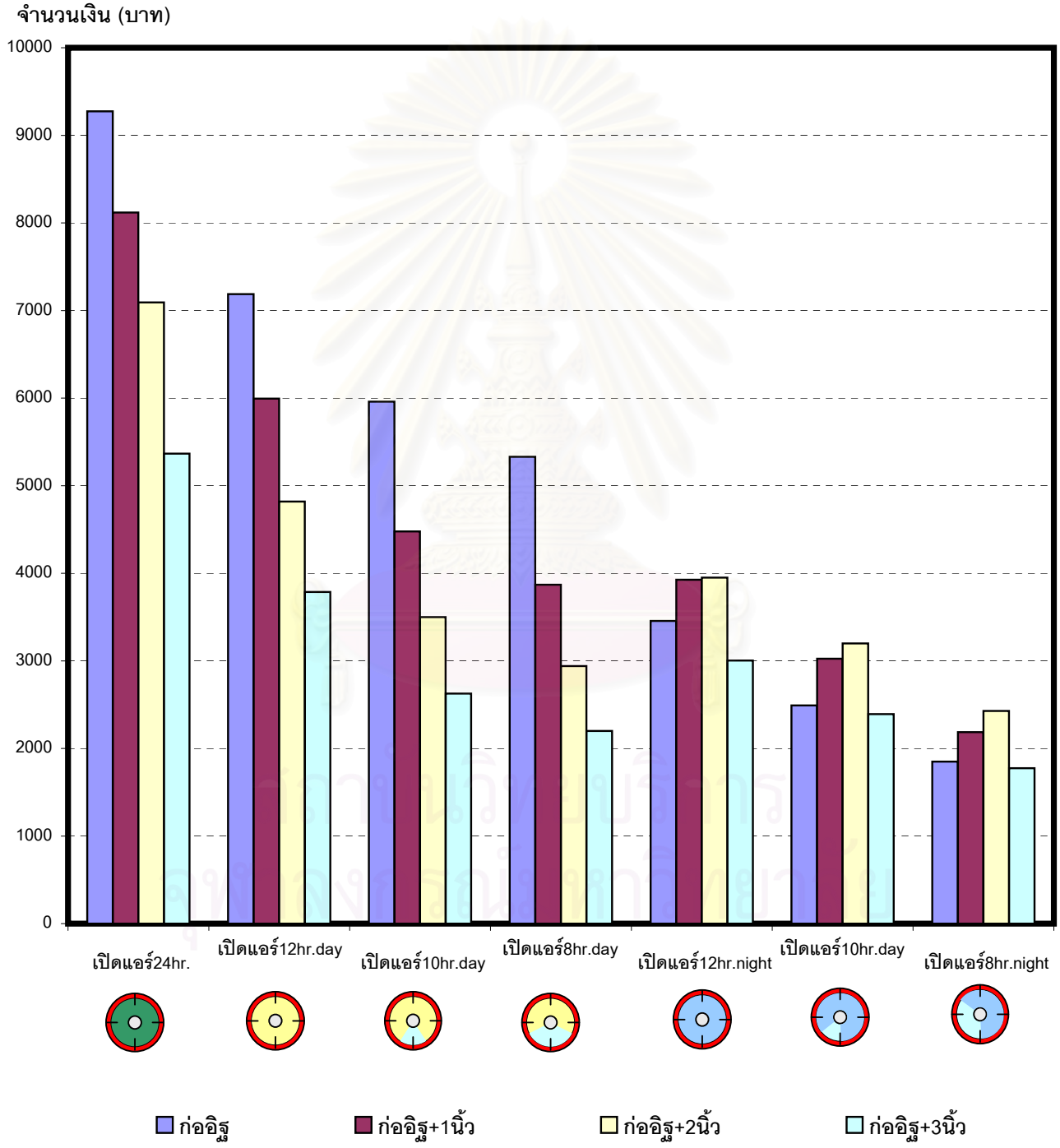
นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศตะวันออก ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-92 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันออก



แผนภูมิที่ 4-93 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
ทางทิศตะวันออก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันออก (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 7-8 เม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบา มีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 1.2 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.5 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 2.7 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบา ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 5.4 องศาเซลเซียส)

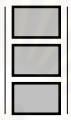
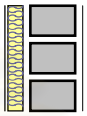
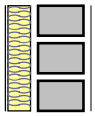
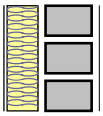
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-30 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ทางทิศตะวันออก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

EAST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันออก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

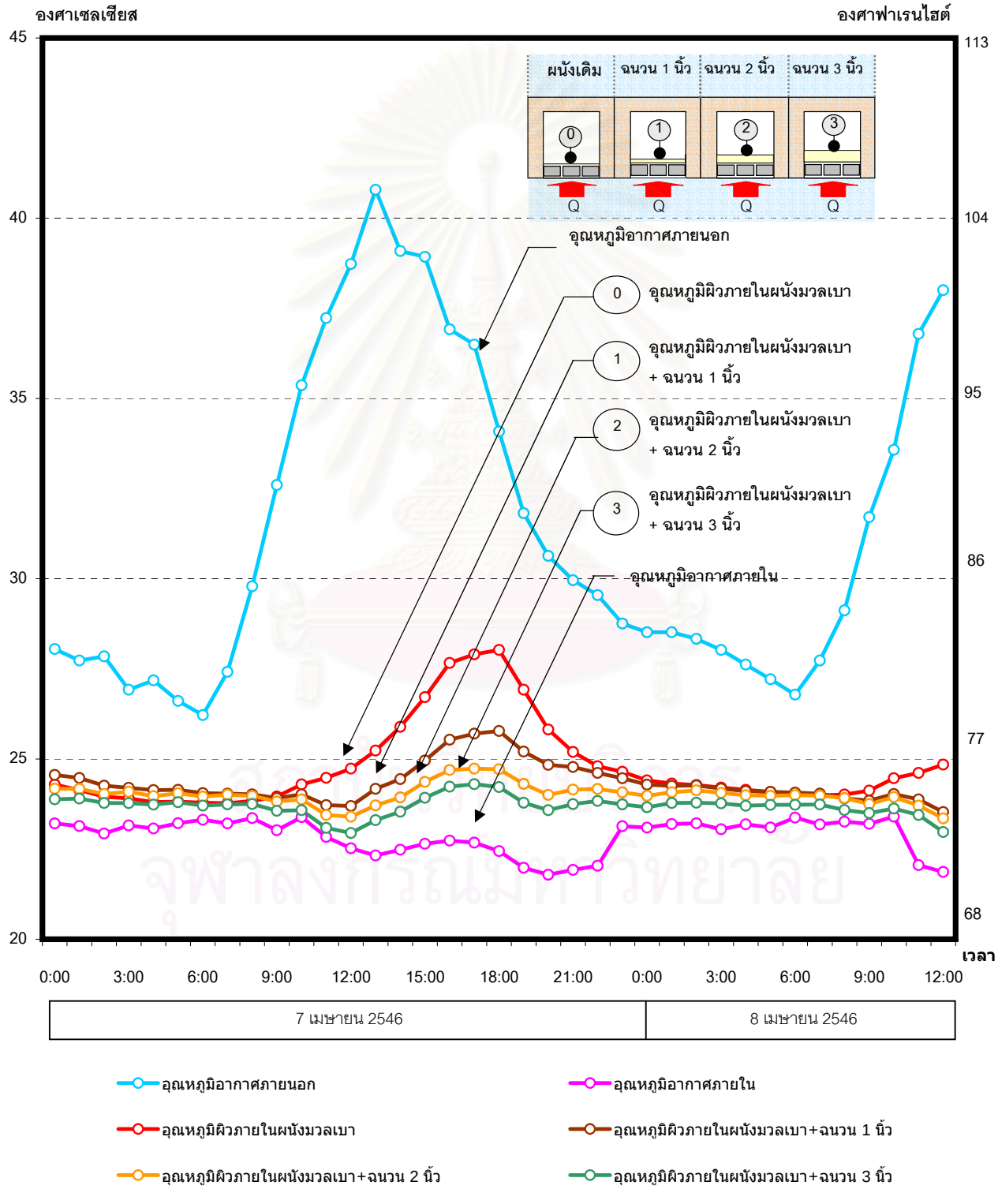
เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันออก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

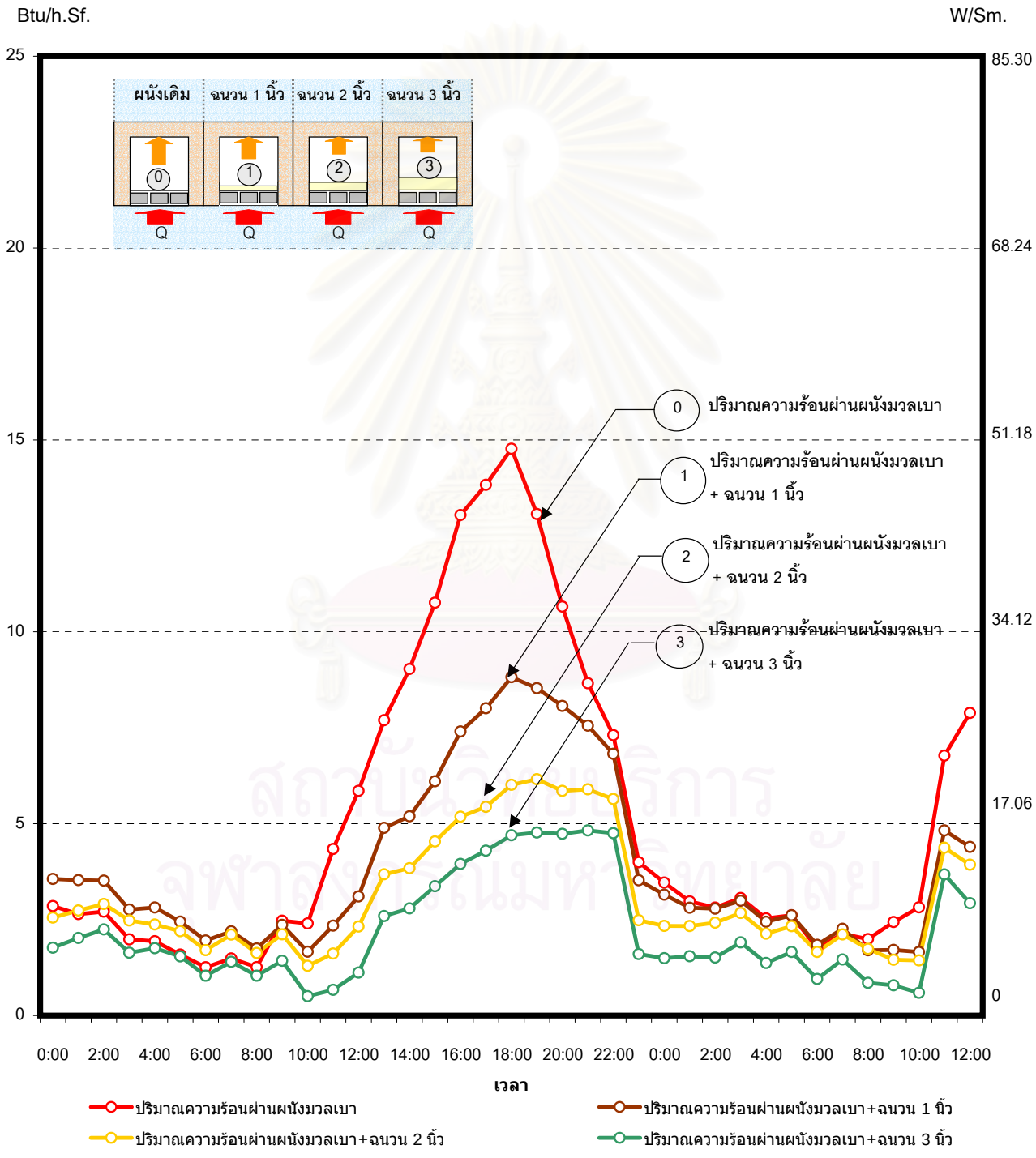
W-in

แผนภูมิที่ 4-94 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาทิศตะวันตก



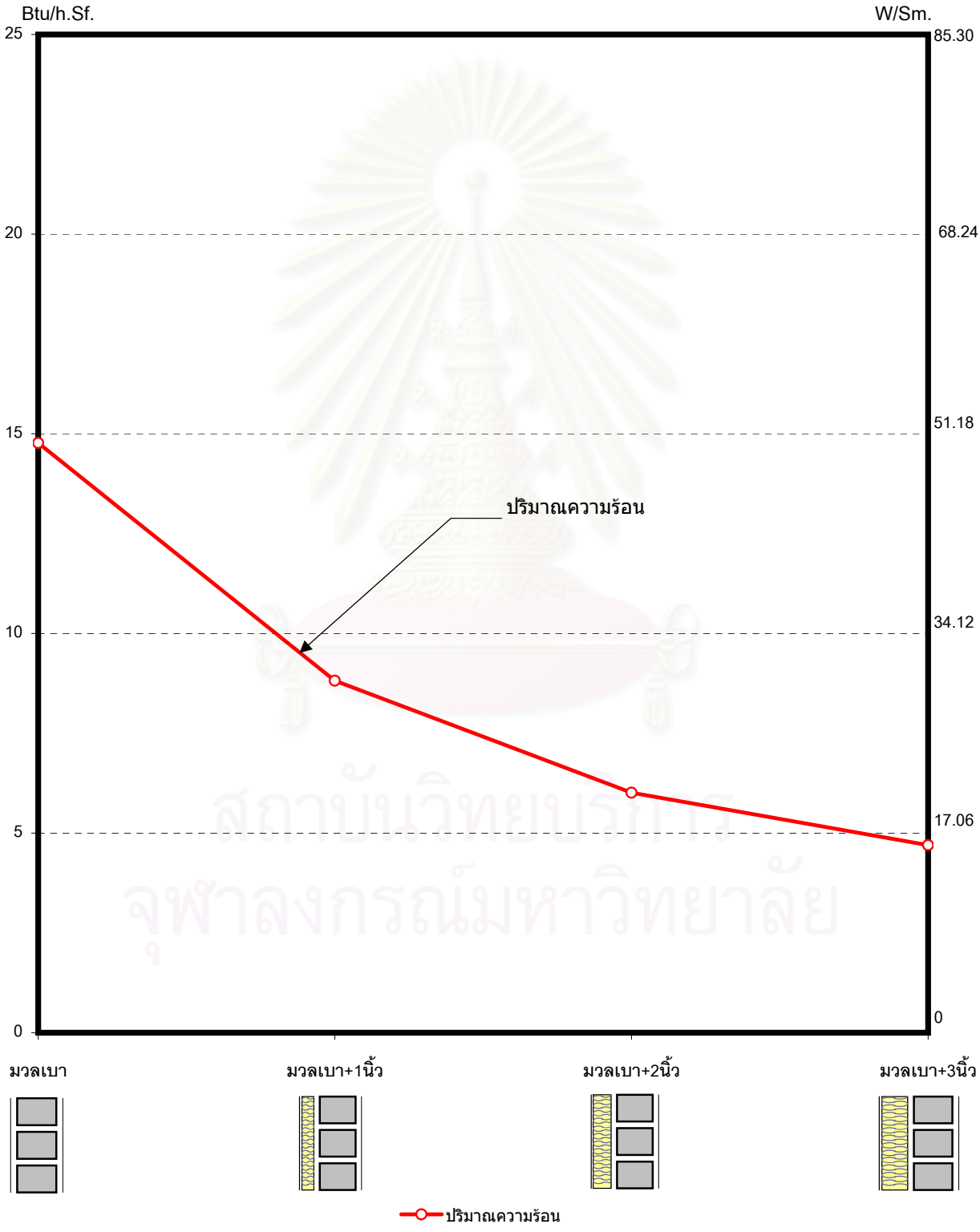
W-in

แผนภูมิที่ 4-95 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบาเปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวน 1-3 นิ้วภายใน ทางทิศตะวันตก



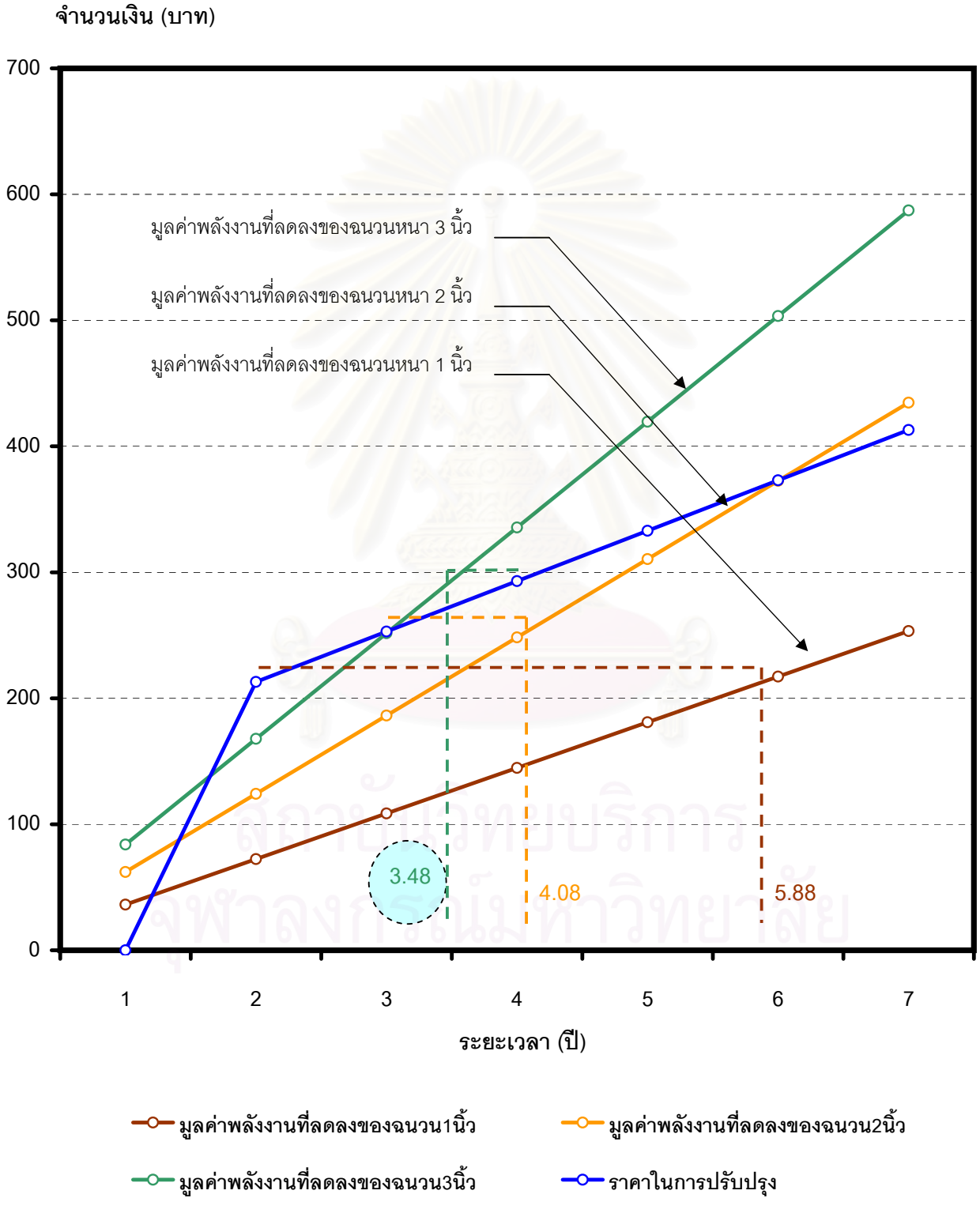
W-in

แผนภูมิที่ 4-96 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการบุฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้วภายใน ทิศตะวันตก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4- 97 แสดงระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้วของผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก



ตารางที่ 4-31 แสดงการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังมวลเบาติดฉนวนภายในหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก

West	Q-con-in						
	ปริมาณความร้อน (Q)	พลังงานปรับอากาศ =Q/3.11	อัตราพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง	พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงใน 1 ปี	มูลค่าพลังงานที่ลดลง	ราคาฉนวน+ค่าแรง	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
ผนังก่ออิฐ (24hr.)	145.5982676	46.81616323	0	0	0	0	0
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 1 นิ้ว	108.8977129	35.01534178	11.80082145	14495.185	36.23796251	213	5.877813908
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 2 นิ้ว	82.74844588	26.60721733	20.20894591	24823.05243	62.05763109	253	4.076855587
ผนังก่ออิฐ+ฉนวน 3 นิ้ว	60.53852647	19.46576414	27.35039909	33595.04221	83.98760553	293	3.488609994

จากการคำนวนระยะเวลาคืนทุนในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ในการปรับปรุงผนังอาคารทางด้านทิศตะวันตก การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดที่ 3.48 ปี และเมื่อพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อเทียบกับ Fix Cost ที่ 3.5 ปี พบว่า

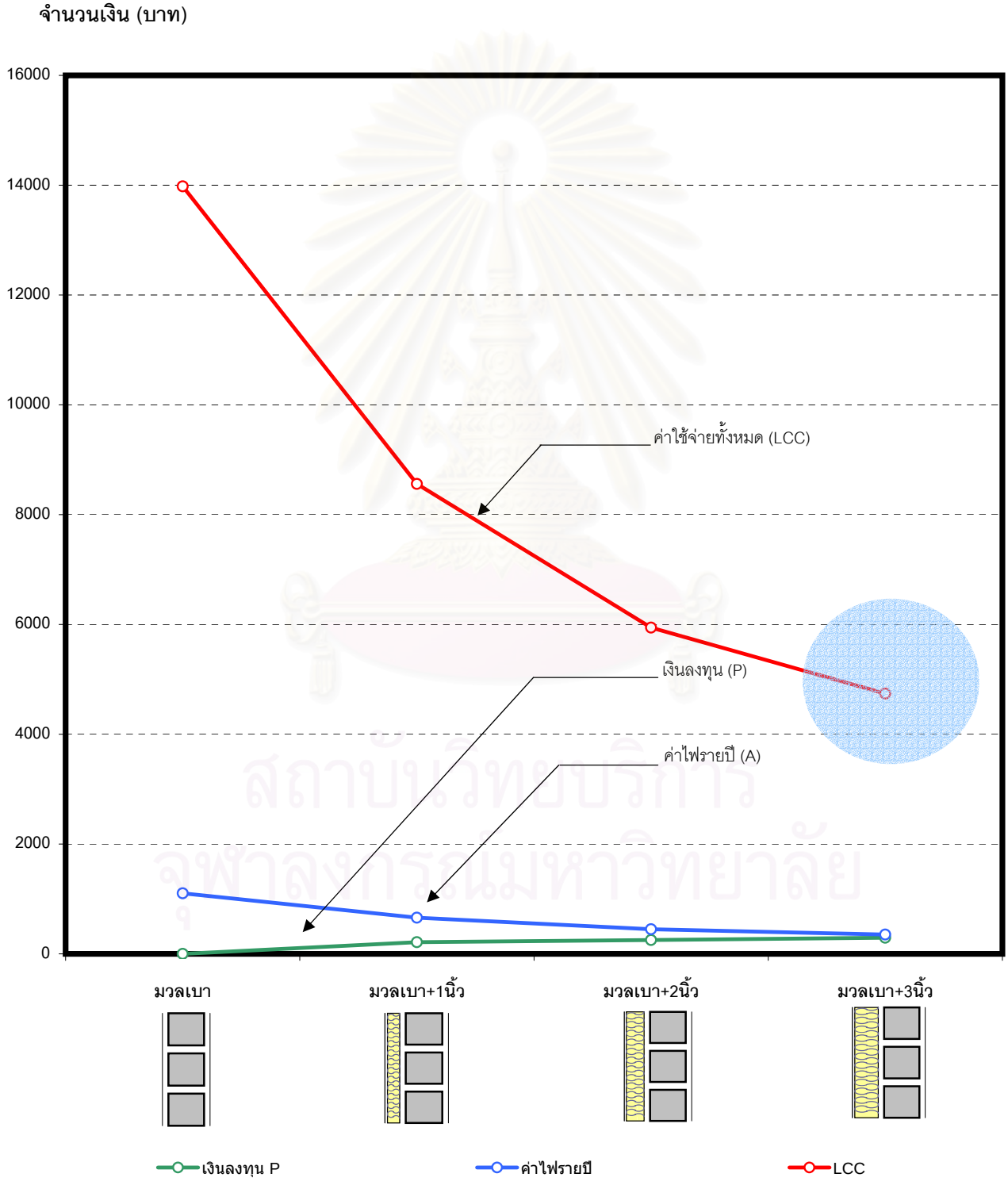
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.596%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 2 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 0.859%
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้ 1.005%

นั่นคือการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 3 นิ้ว สามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าได้มากที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารทางทิศตะวันตก ควรติดฉนวนที่ความหนา 3 นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

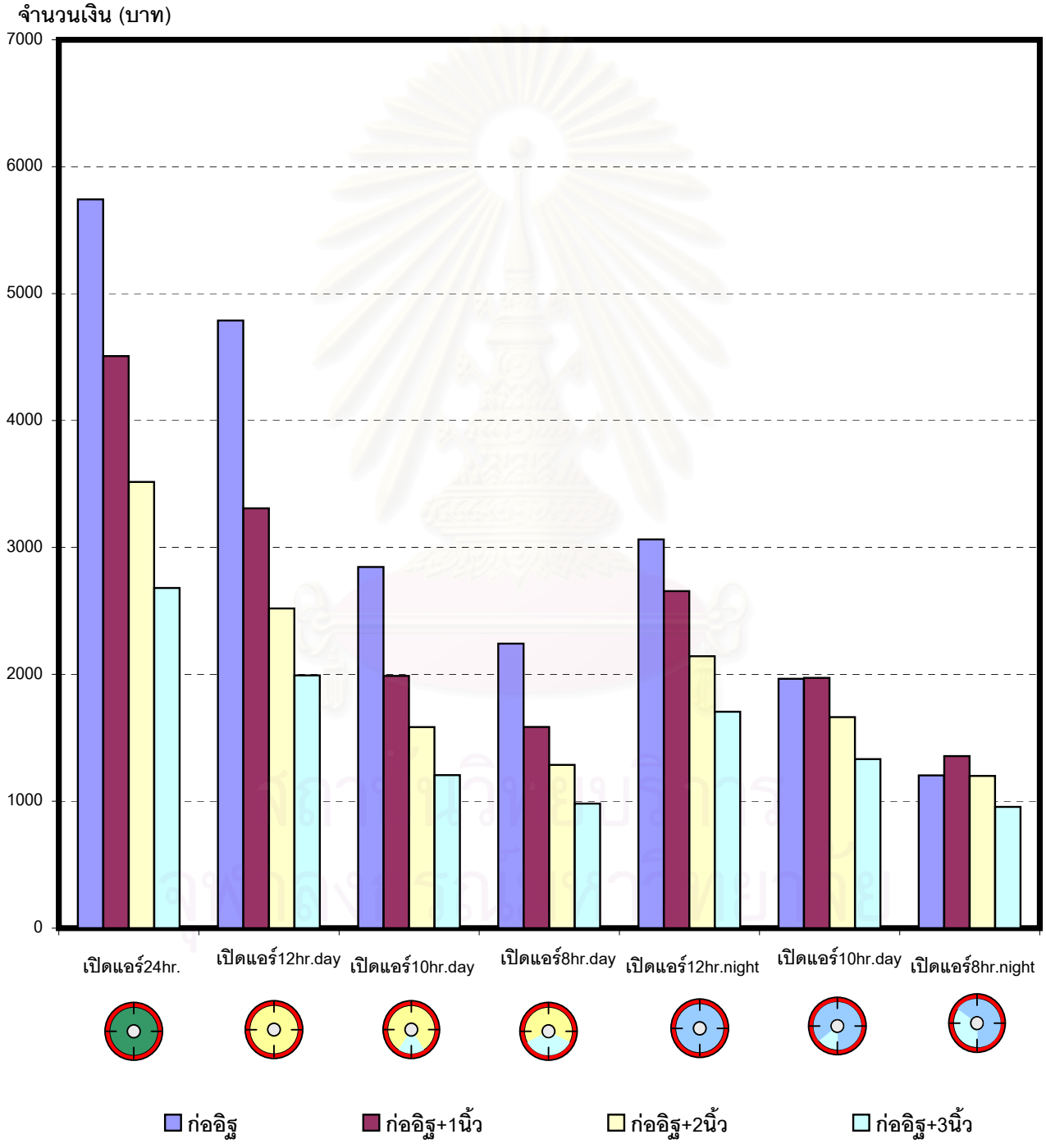
W-in

แผนภูมิที่ 4-98 แสดงค่าใช้จ่ายทั้งหมดตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา
เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาบุฉนวน 1-3 นิ้ว ทางทิศตะวันตก



W-in

แผนภูมิที่ 4-99 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการปรับปรุงผนังมวลเบา
โดยการบุฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พิจารณาจากลักษณะการเปิดเครื่องปรับอากาศ
ทางทิศตะวันตก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิและปริมาณความร้อน ทางทิศตะวันตก (ติดตั้งฉนวนภายใน)

กระทำการทดสอบวันที่ 7-8 เม.ย. 2546

จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบา มีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 2 นิ้ว (ประมาณ 1.3 องศาเซลเซียส) และ 1 นิ้ว (ประมาณ 2.1 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบา ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 4.4 องศาเซลเซียส)

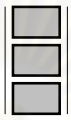
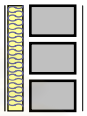
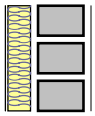
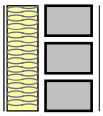
ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ

วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว

ตารางที่ 4-32 สรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาตั้งแต่ 3-1นิ้ว ติดตั้งภายในผนังมวลเบา ทางทิศตะวันตก ของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภท

WEST-WALL **ประเภทของอาคาร**	**ผนังมวลเบา** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 1 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 2 นิ้ว** 	**ผนังมวลเบา + ฉนวน 3 นิ้ว** 
อาคารที่มีการปรับอากาศ 24 hr. (ช่วงเวลา 00:00-23:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 10:00-22:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 07:00-17:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางวัน (ช่วงเวลา 08:00-16:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 12 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 18:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 10 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 20:00-06:00 น(.				●
อาคารที่มีการปรับอากาศ 8 hr. กลางคืน (ช่วงเวลา 22:00-06:00 น(.				●

หมายเหตุ พิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ในการปรับปรุงผนังมวลเบา โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร โดยสรุปแนวทางการเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างๆจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน)LCC (ที่ต่ำที่สุด และมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปการปรับปรุงผนังทางด้านทิศตะวันตก

1. พิจารณาระยะเวลาคืนทุน

สำหรับการปรับปรุงผนังอาคารที่มีอยู่เดิม การพิจารณาระยะเวลาคืนทุน เพื่อดูว่า การปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ที่ความหนาเท่าใดจึงมีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว มีความเหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

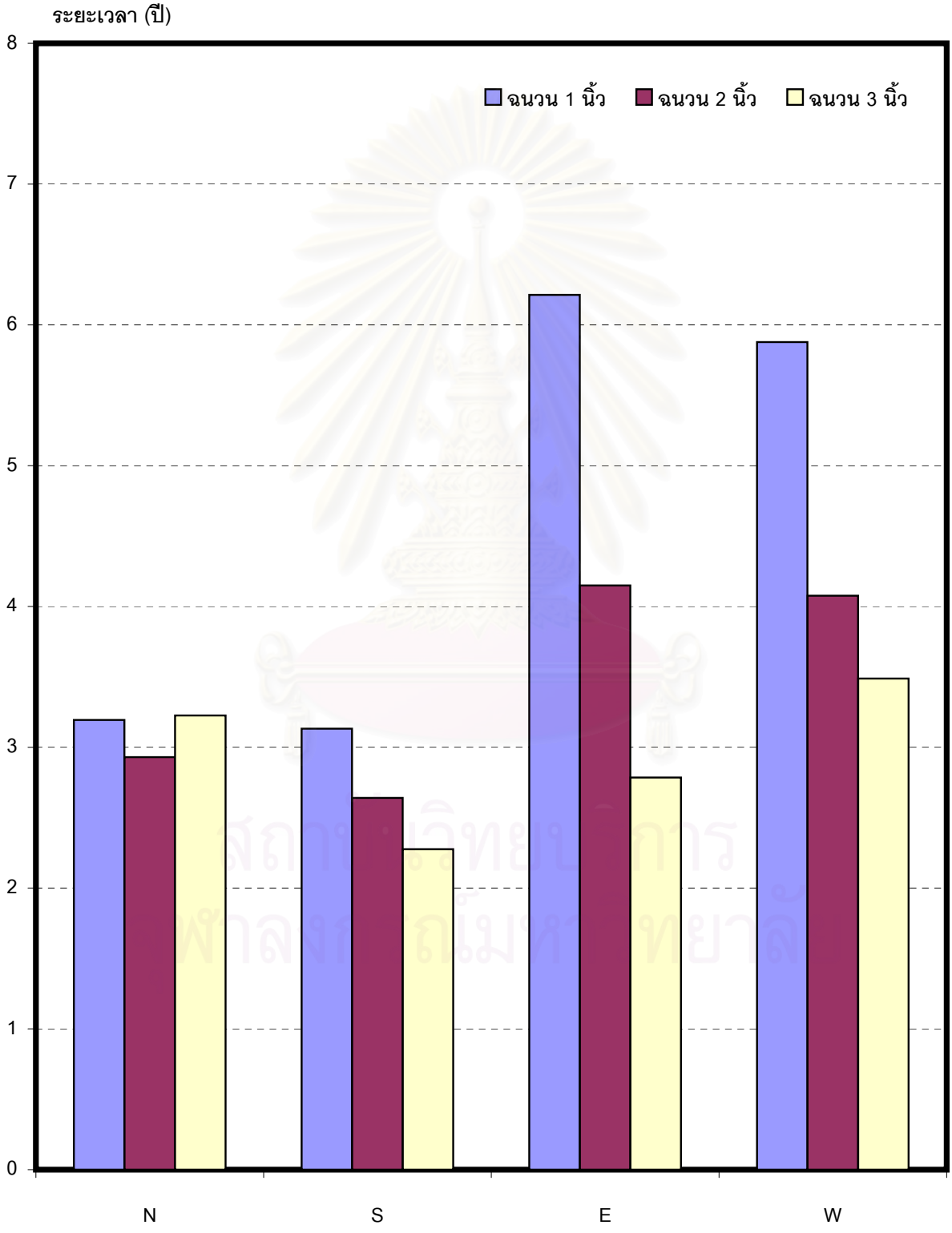
2. พิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดระยะเวลาการใช้งาน

เหมาะสำหรับการพิจารณาในการเริ่มสร้างอาคาร แต่สามารถนำมาใช้พิจารณาร่วมกับระยะเวลาคืนทุนเพื่อดูแนวโน้มในการเลือกวัสดุและปรับปรุงอาคาร ซึ่งจากการวิจัยพบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุเวลาการใช้งานของการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าต่ำที่สุด ในแต่ละอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ

ดังนั้นในการปรับปรุงผนังอาคารทางทิศตะวันตก โดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร ควรเลือกใช้ฉนวนที่ความหนา 2 หรือ 3 นิ้ว จึงมีความเหมาะสมในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนภูมิที่ 4-100 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังมวลเบาติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1-3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศ



สรุปการเลือกความหนาฉนวนที่เหมาะสมในการปรับปรุงผนังภายในทั้ง 4 ทิศ

ในการปรับปรุงผนังอาคาร การพิจารณาระยะเวลาคืนทุนมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะสามารถทำให้ทราบถึงช่วงเวลาคืนทุนหลังทำการปรับปรุง และใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบในการปรับปรุงผนังอาคาร ซึ่งจากการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในการปรับปรุงผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า

ทิศเหนือ

ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	3.19	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**2.93**	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	3.22	ปี

ทิศใต้

ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	3.13	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	2.64	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**2.27**	ปี

ทิศตะวันออก

ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	6.21	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	4.14	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**2.78**	ปี

ทิศตะวันตก

ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 1 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	5.87	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 2 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	4.07	ปี
ผนังมวลเบา + ฉนวนกันความร้อน 3 นิ้ว ภายใน	คืนทุนที่	**3.48**	ปี

จากผลการวิเคราะห์พบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อน 3 นิ้วภายในอาคาร มีช่วงระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุดใกล้เคียงกับ ฉนวน 2 นิ้ว ส่วนการติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนที่นานที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด จึงสามารถลดปริมาณความร้อนได้มากกว่าฉนวนหนา 1 และ 2 นิ้ว ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพบว่า อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของผนังที่ปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าน้อยที่สุดทั้ง 4 ทิศ

ดังนั้น **การเลือกใช้ฉนวน 2 หรือ 3 นิ้วติดตั้งภายในอาคารทั้ง 4 ทิศ จึงมีความเหมาะสมที่สุด**

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 3

ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว ภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบาก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

วัตถุประสงค์

-เพื่อทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริงของแต่ละแนวทางที่ทำการปรับปรุง ให้เหมาะกับอาคารแต่ละประเภท

- ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน, ค่าพลังงานที่สูญเสีย และราคาวัสดุที่ใช้ประกอบการปรับปรุงผนังอาคาร เพื่อดูความเหมาะสมในการลงทุน

ตัวแปรควบคุม

-กำหนดให้กล่องทดสอบในแต่ละด้าน ทั้ง 4 กล่องหันทิศทางเดียวกัน ในเวลาและสถานที่เดียวกัน เพื่อให้ได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน

- มวลสารของผนังทดสอบ เป็นผนังก่ออิฐฉาบปูนความหนารวม 0.10ม .

-เนื่องจากเป็นผนังที่นิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารในประเทศ กระทำการก่อสร้างด้วยวัสดุและเทคนิคเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกัน

-สีเคลือบพื้นผิวภายนอกและภายใน เลือกใช้สีขาวชนิดเดียวกัน

-ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอาคารทดลอง ด้วยระบบปรับอากาศ

การเตรียมการทดลอง

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงการปรับปรุงระบบผนังอาคารโดยใช้ฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่างกันดังนั้นจึงกระทำการเก็บข้อมูลทั้ง 4ทิศทาง โดยแต่ละทิศทางประกอบด้วย : กล่องทดลองจำนวน 4 กล่อง มีรายละเอียด ดังนี้

<u>กล่องที่ 1</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังทดสอบ หนา 0.10เมตร

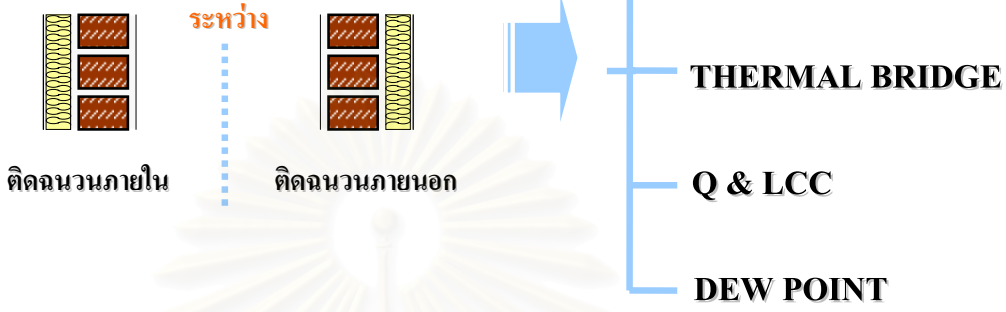
<u>กล่องที่ 2</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังทดสอบหนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 1 นิ้ว

<u>กล่องที่ 3</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังทดสอบหนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว

<u>กล่องที่ 4</u> ทดสอบอุณหภูมิผิวผนังทดสอบหนา 0.10เมตรติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว

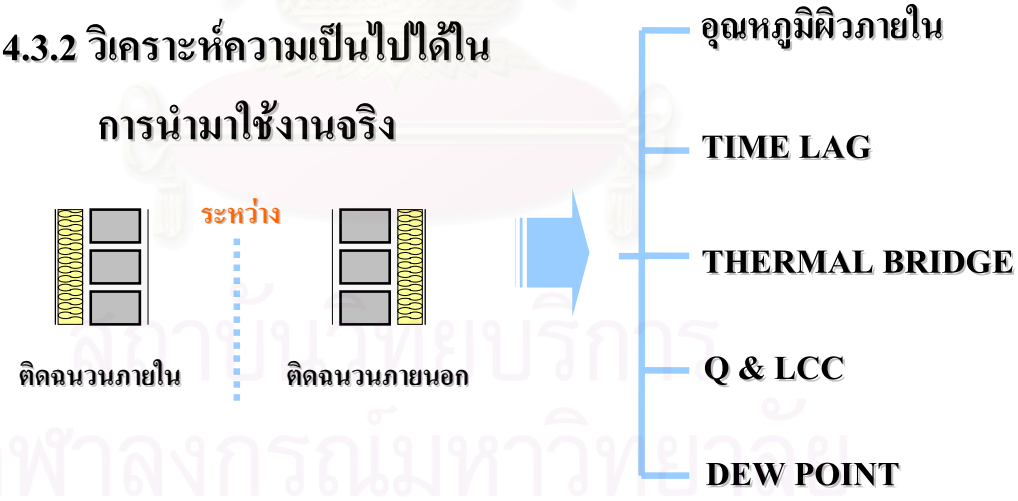
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.1 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง



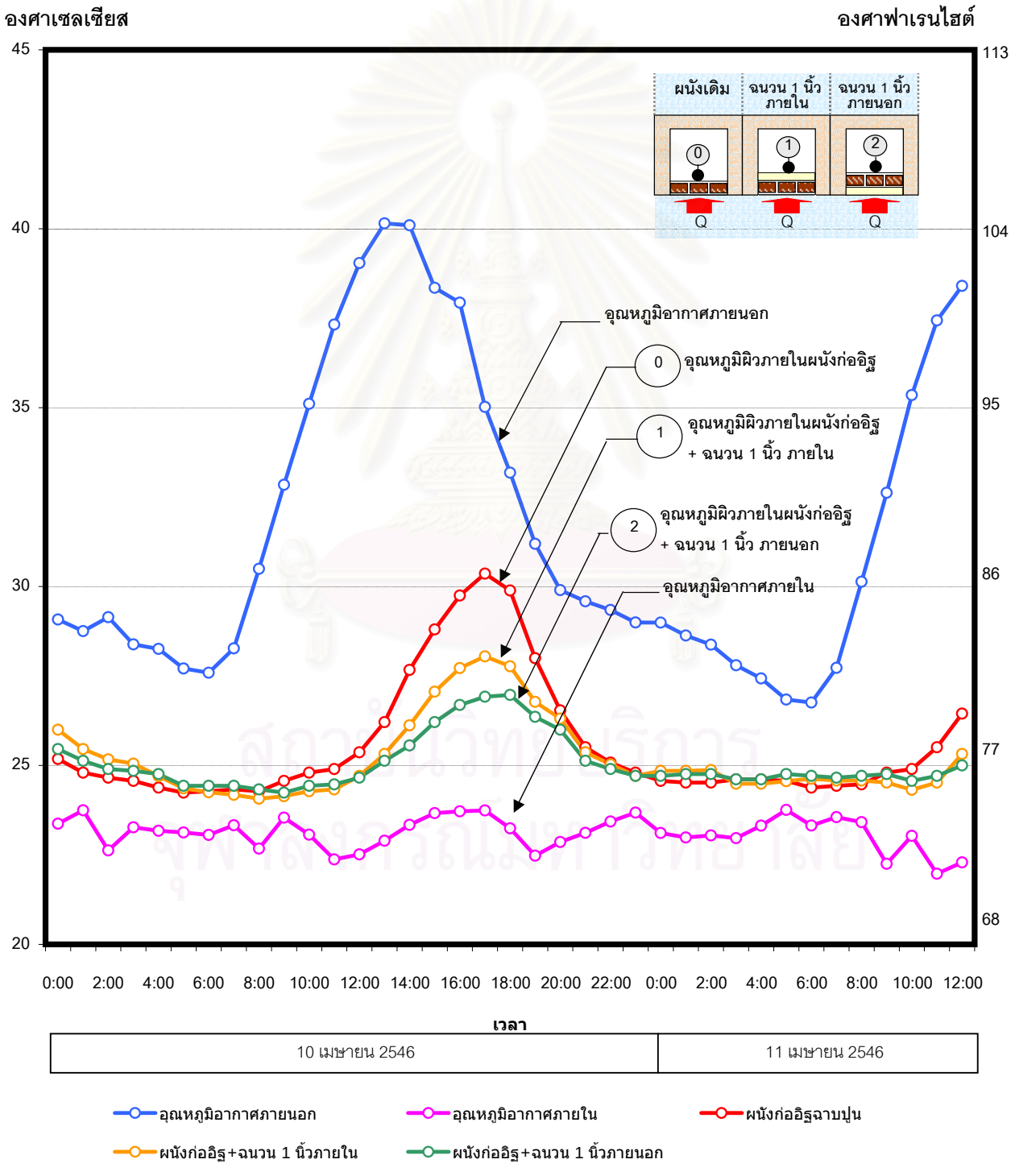
ทำการทดสอบผนังก่ออิฐที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้วภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

4.3.2 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง

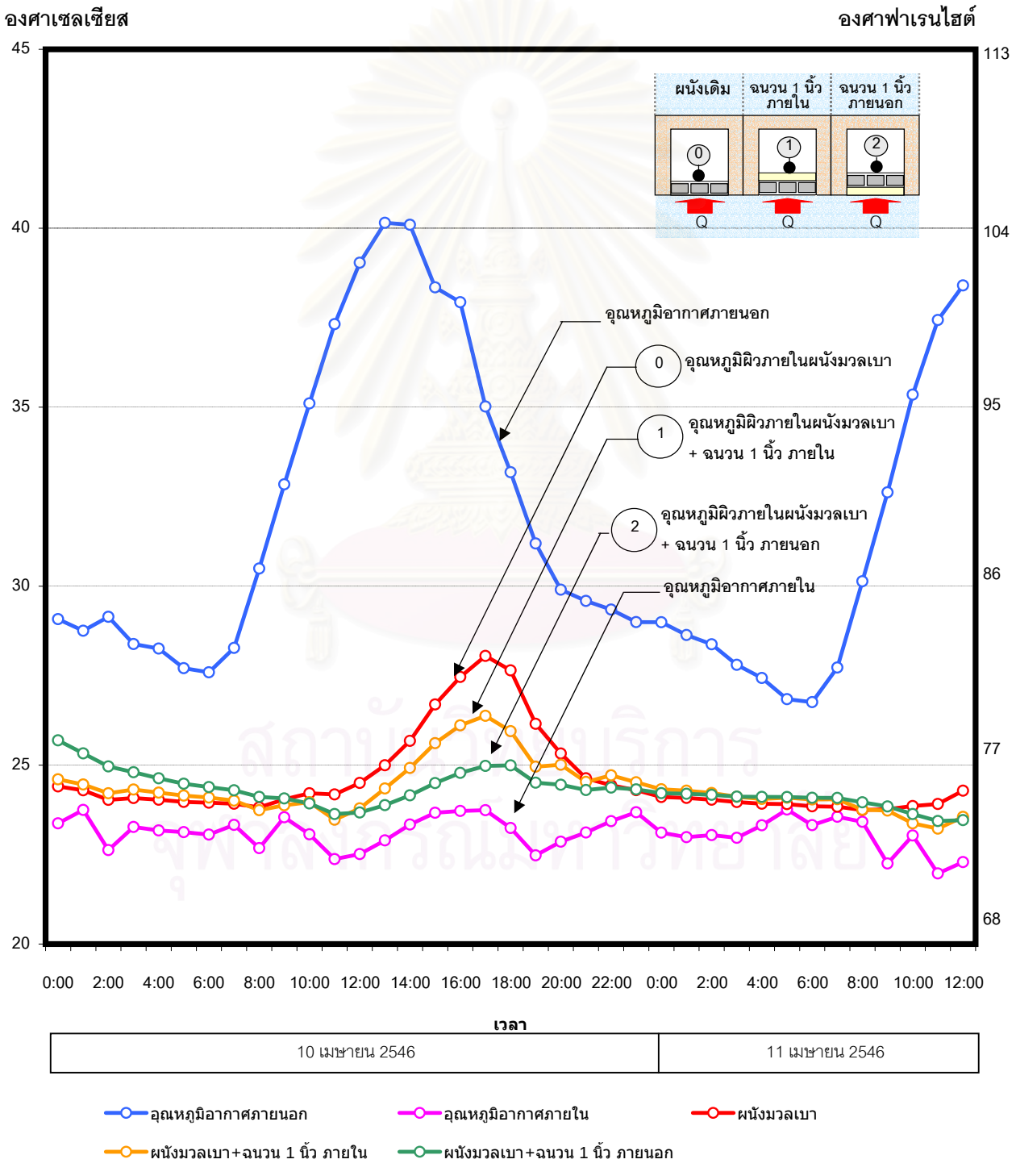


ทำการทดสอบผนังก่ออิฐที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้วภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

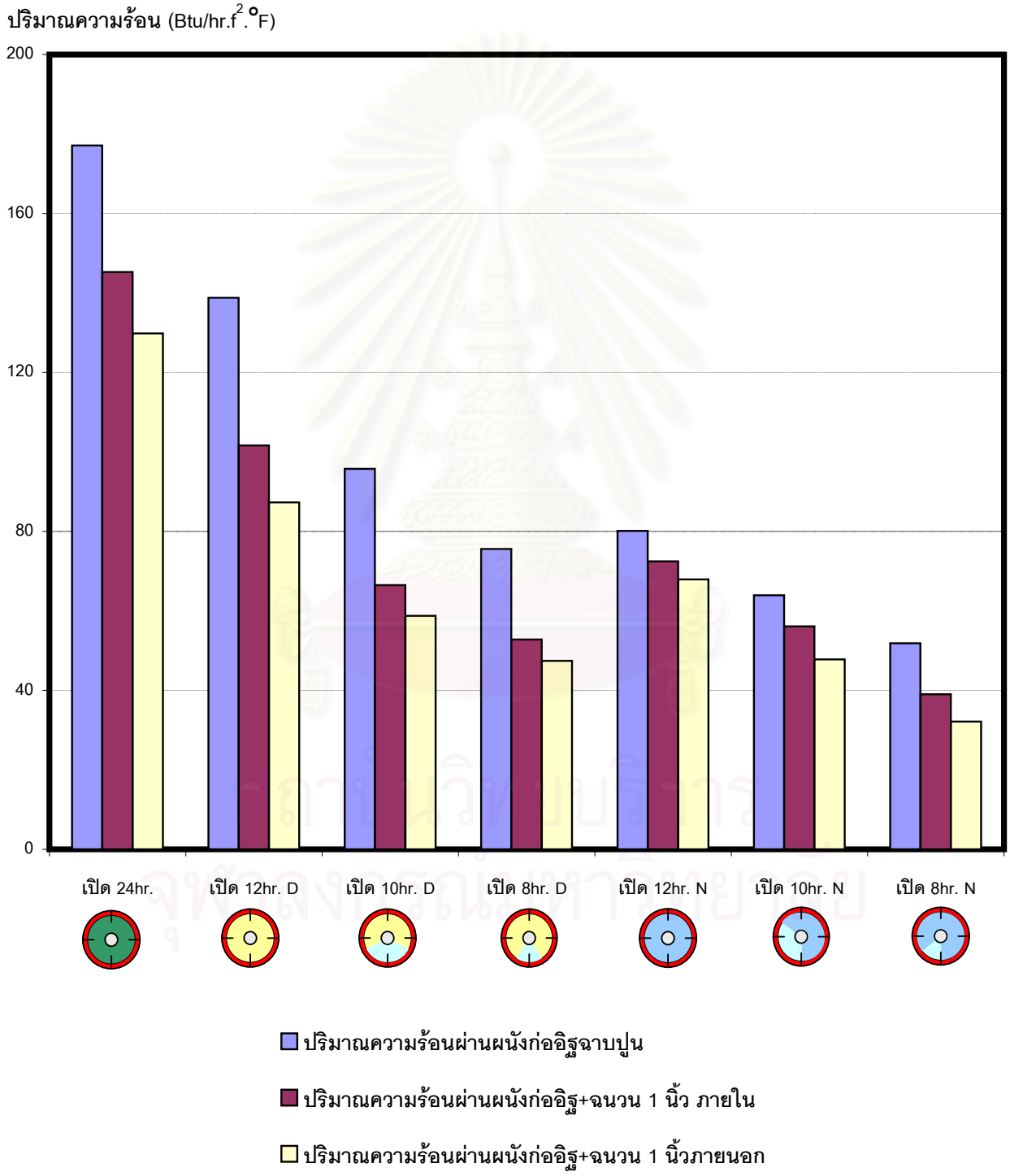
แผนภูมิที่ 4-101 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอก



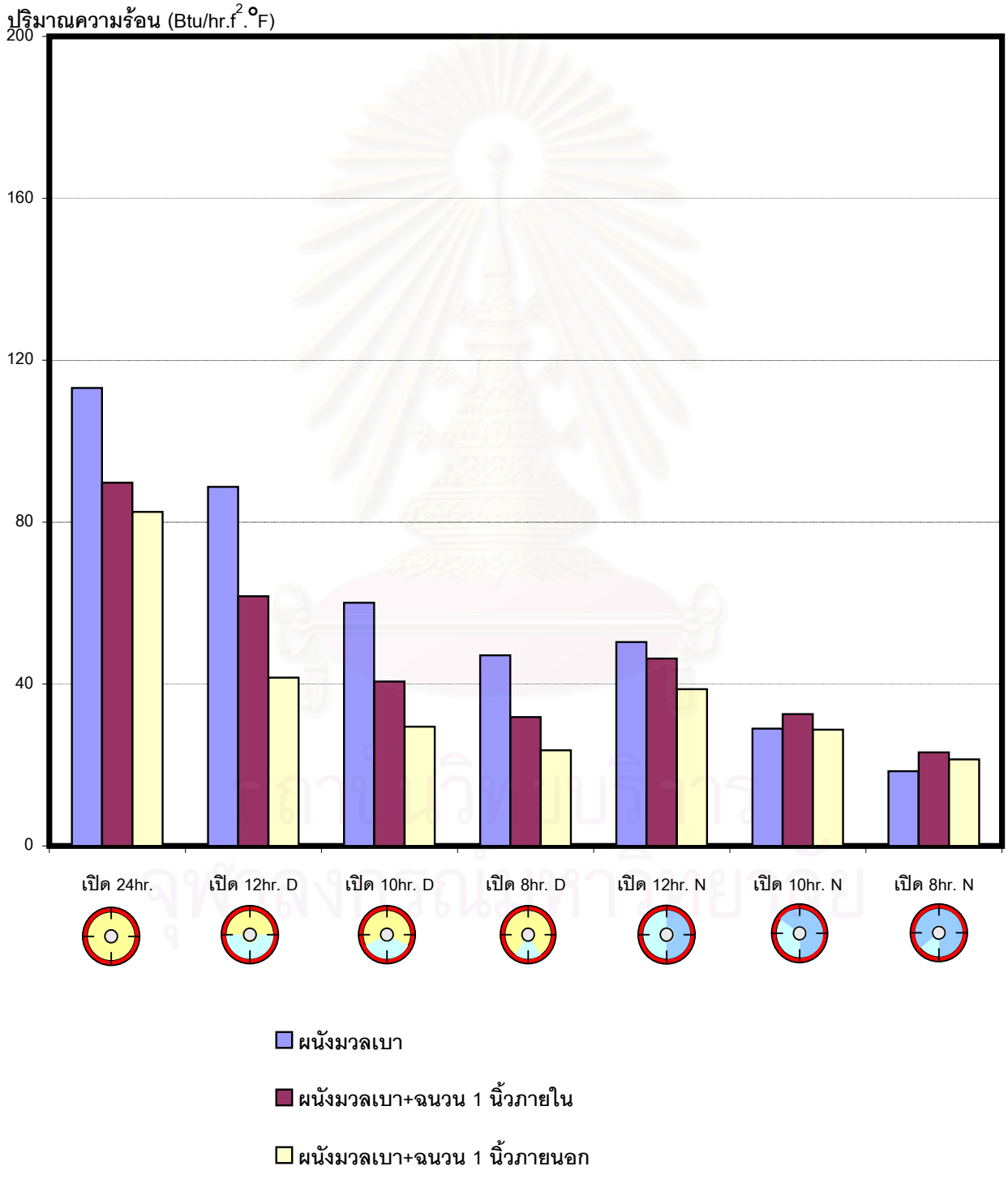
แผนภูมิที่ 4-102 แสดงอุณหภูมิผิวภายในของผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนทั้งภายในและภายนอก



แผนภูมิที่ 4-103 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังก่ออิฐฉาบปูน เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐที่มีการติดตั้งฉนวน 1 นิ้วทั้งภายในและภายนอก



แผนภูมิที่ 4-104 แสดงปริมาณความร้อนที่ผ่านผนังมวลเบา เปรียบเทียบกับ
ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวน 1 นิ้วทั้งภายในและภายนอก



พฤติกรรมของวัสดุทดสอบด้านอุณหภูมิ, ระยะเวลาในการหน่วงเหนียวความร้อนและปริมาณความร้อน

กระทำการทดสอบวันที่ 10-11 เม.ย. 2546

ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ทำการปรับปรุง

อุณหภูมิผิวภายใน จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนมีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน1นิ้ว และภายนอก 1 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 2.7 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1 นิ้ว (ประมาณ 4.0 องศาเซลเซียส) ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 6.3 องศาเซลเซียส)

การควบแน่นของหยดน้ำในผนัง พบว่าผนังที่ทำการทดสอบมีโอกาสเกิดการควบแน่นในผนังได้ทั้งกรณีที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายใน ซึ่งบริเวณที่เกิดการควบแน่นจะเกิดในฉนวนกันความร้อน ดังนั้นการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในจะยากต่อการควบคุมความชื้นที่เกิดขึ้น ส่วนการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกสามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้ดี การควบแน่นของหยดน้ำในผนังจึงไม่มีปัญหา

ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูน และผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนภายในหนา 1 นิ้ว มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเท่ากันคือ 4 ชั่วโมง ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนติดตั้งฉนวนภายนอกหนา 1 นิ้ว มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 5 ชั่วโมง เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air Temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอกสุด จากนั้นปริมาณพลังงานซึ่งถูกลดลงจึงค่อยผ่านมวลสารภายในซึ่งเป็นผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้ว มวลสารในวัสดุทดสอบจึงสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวปริมาณความร้อนดังกล่าวลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนยืดออกไป

ปริมาณความร้อน เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ประกอบกับระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1 นิ้ว มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงสุด และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดวัน) ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง ทำให้ผนังดังกล่าวมีปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาน้อยกว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1 นิ้ว ประมาณ 7-10%

ผนังมวลเบาที่ทำการปรับปรุง

อุณหภูมิผิวภายใน จากการทดสอบพบว่า อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบามีค่าสูงสุดตลอดวันและสูงกว่า ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน1นิ้ว และภายนอก 1 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (ประมาณ 0.7 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในที่ความหนา 1 นิ้ว (ประมาณ 2.7 องศาเซลเซียส) ส่วนผนังมวลเบาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด (ประมาณ 4.2 องศาเซลเซียส)

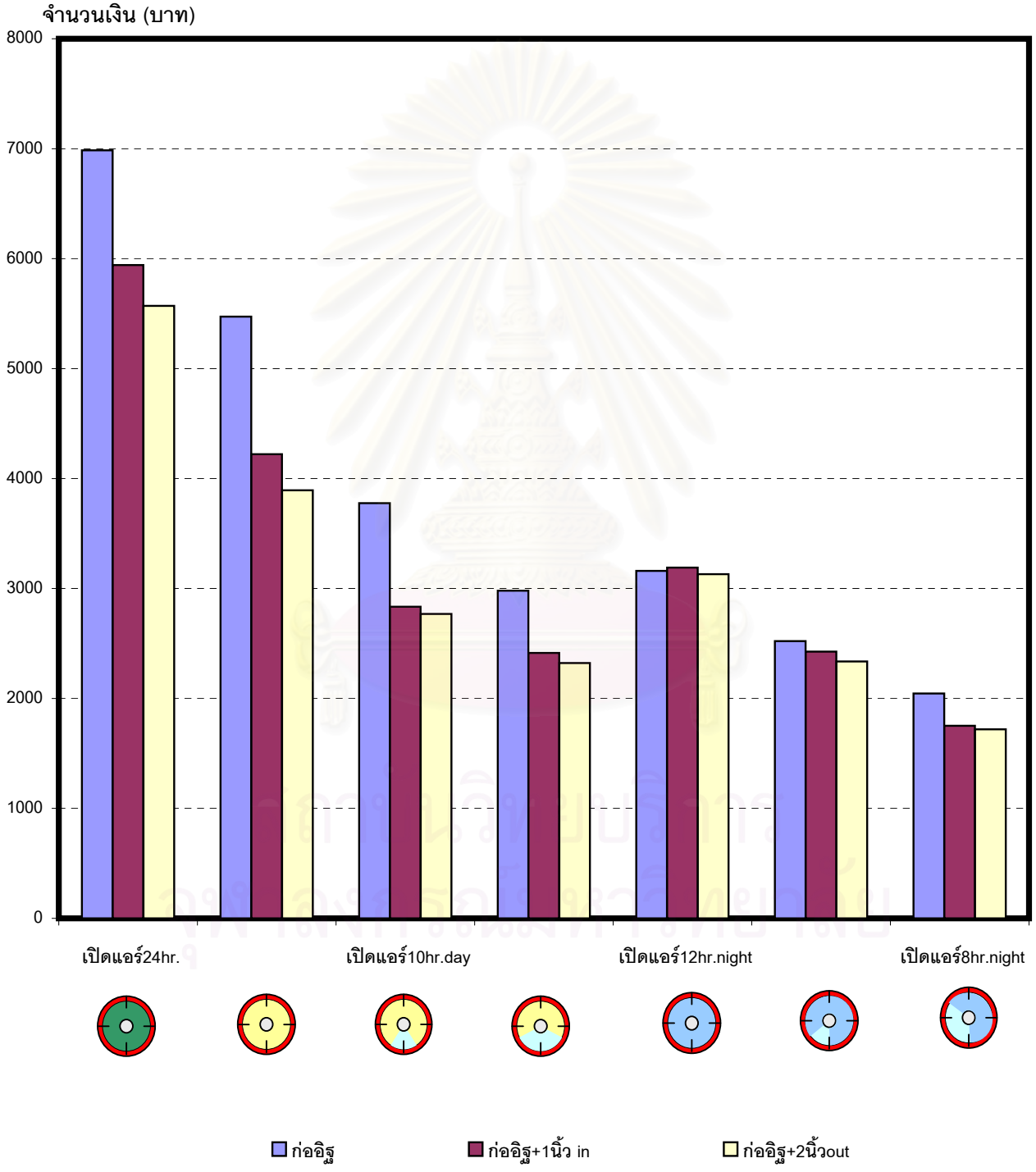
การควบแน่นของหยดน้ำในผนัง พบว่าผนังที่ทำการทดสอบมีโอกาสเกิดการควบแน่นในผนังได้ทั้งกรณีที่ติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายใน ซึ่งบริเวณที่เกิดการควบแน่นจะเกิดในฉนวนกันความร้อน ดังนั้นการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในจะยากต่อการควบคุมความชื้นที่เกิดขึ้น ส่วนการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกสามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้ดี การควบแน่นของหยดน้ำในผนังจึงไม่มีปัญหา

ระยะเวลาการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด พบว่า ผนังมวลเบาและผนังมวลเบาติดตั้งฉนวนภายในหนา 1 นิ้ว มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเท่ากันคือ 4 ชั่วโมง ส่วนผนังมวลเบาติดตั้งฉนวนภายนอกหนา 1 นิ้ว มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน 5 ชั่วโมง เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air Temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอกสุด จากนั้นปริมาณพลังงานซึ่งถูกลดลงจึงค่อยผ่านมวลสารภายในซึ่งเป็นผนังมวลเบา 4 นิ้ว มวลสารในวัสดุทดสอบจึงสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวปริมาณความร้อนดังกล่าวลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนยืดออกไป

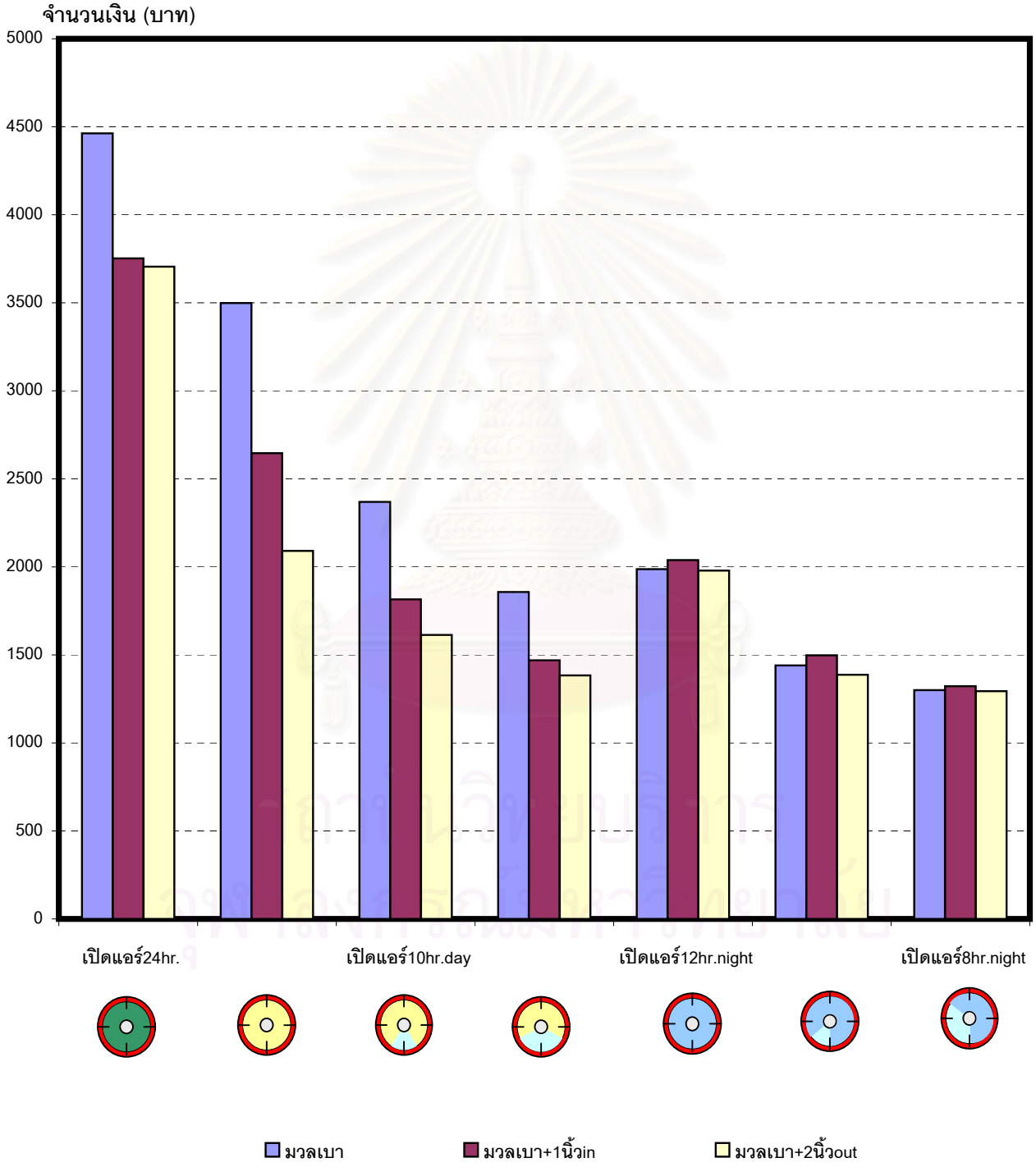
ปริมาณความร้อน เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ประกอบกับระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน พบว่าผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกหนา 1 นิ้ว มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสูงสุด และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด (อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดวัน) ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง ทำให้ผนังดังกล่าวมีปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาน้อยกว่าผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในหนา 1 นิ้ว ประมาณ 7-10%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

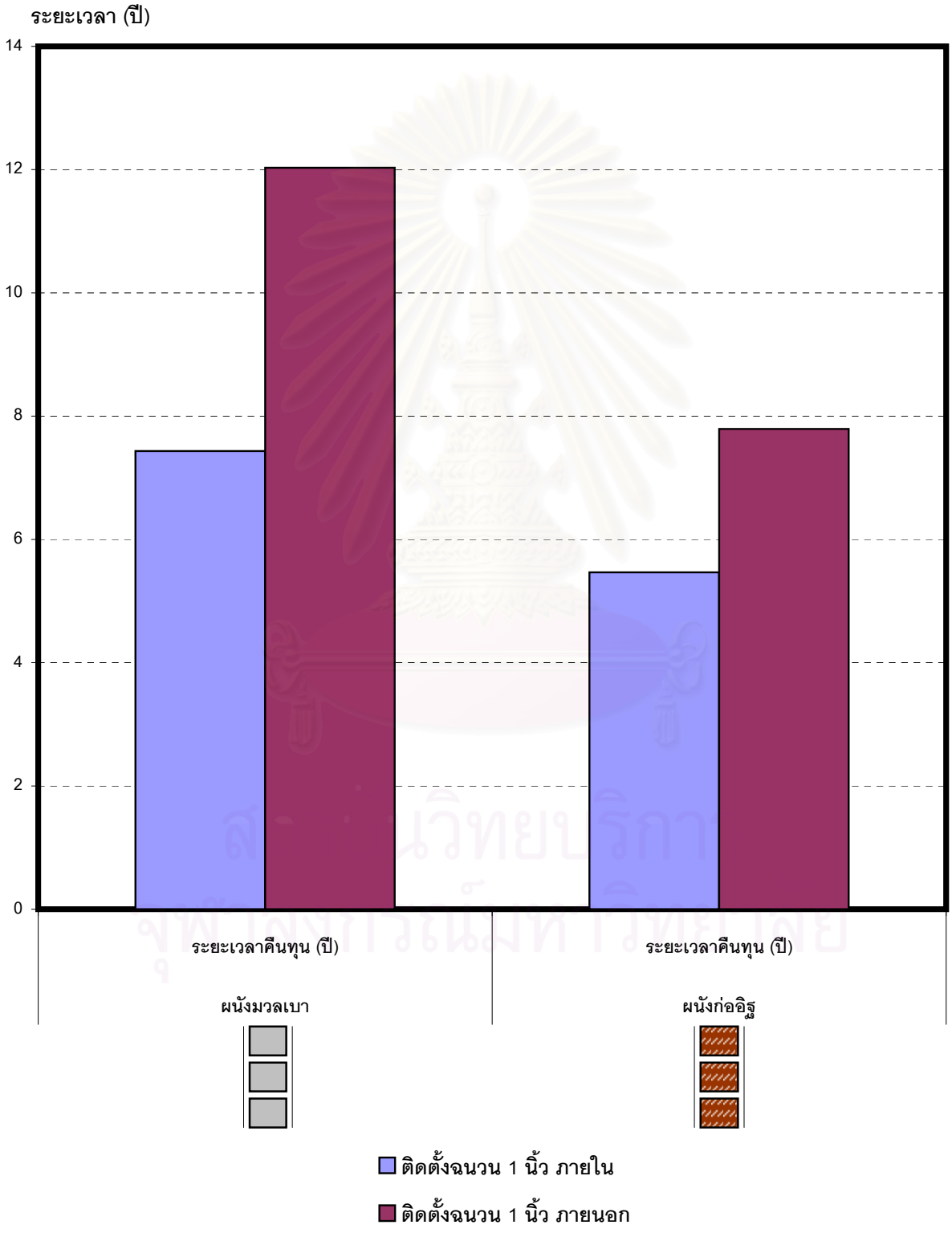
แผนภูมิที่ 4-105 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังก่ออิฐ
เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐที่มีการติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว ภายในและภายนอก



แผนภูมิที่ 4-106 แสดงค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังมวลเบา
เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวน 1 นิ้ว ภายในและภายนอก



แผนภูมิที่ 4-107 แสดงระยะเวลาคืนทุนของผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบา ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้ว ภายในและภายนอก



วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน (ผนังก่ออิฐและผนังมวลเบา)

จากการคำนวนค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของอาคารที่มีการปรับอากาศแต่ละประเภทโดยพิจารณาที่ 30 ปี ที่อัตราดอกเบี้ย 10 % และอัตราการขึ้นราคาค่าไฟฟ้า 3% พบว่า

- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนภายนอก หนา 1 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (10:00-22:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนภายนอก หนา 1 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (07:00-17:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนภายนอก หนา 1 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (08:00-16:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนภายนอก หนา 1 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 12 ชั่วโมง กลางวัน (18:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนภายนอก หนา 1 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 10 ชั่วโมง กลางวัน (20:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนภายนอก หนา 1 นิ้ว
- อาคารที่มีการปรับอากาศตลอด 8 ชั่วโมง กลางวัน (22:00-06:00น.) มีค่า LCC ต่ำสุดที่ การติดตั้งฉนวนภายนอก หนา 1 นิ้ว

ระยะเวลาคืนทุน พบว่า หากมีการปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน หนา 1 นิ้วคืนทุนที่ 5.46 ปี เร็วกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอก หนา 1 นิ้วคืนทุนที่ 7.79 ปี ส่วนอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาอื่นๆมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับอาคารที่มีการปรับอากาศ 24 ชั่วโมง

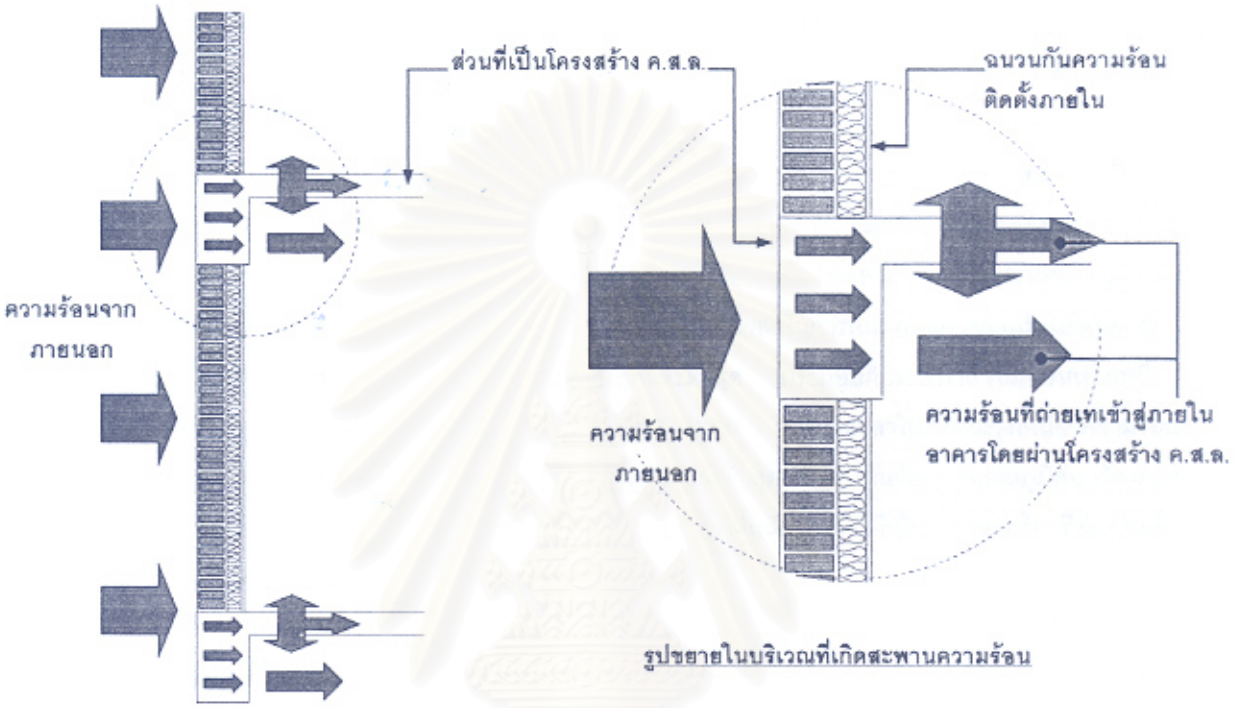
ผนังมวลเบาที่มีติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน หนา 1 นิ้วคืนทุนที่ 7.4 ปี เร็วกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอก หนา 1 นิ้วคืนทุนที่ 12 ปี

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบ การปรับปรุงผนังอาคารโดยติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอก ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยในด้านของพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ซึ่งการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารจะทำให้สูญเสียพื้นที่ใช้งานภายใน และไม่สะดวกในการติดตั้งหากมีการใช้งานในอาคาร

การเกิดสะพานความร้อนในส่วนของโครงสร้างอาคาร โดยความร้อนสามารถส่งผ่านโครงสร้างของอาคารเข้าสู่ภายในอาคารได้ ดังนั้นการปรับปรุงผนังอาคารโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร จึงสามารถป้องกันความร้อนที่เกิดจากสะพานความร้อนได้ดีกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร

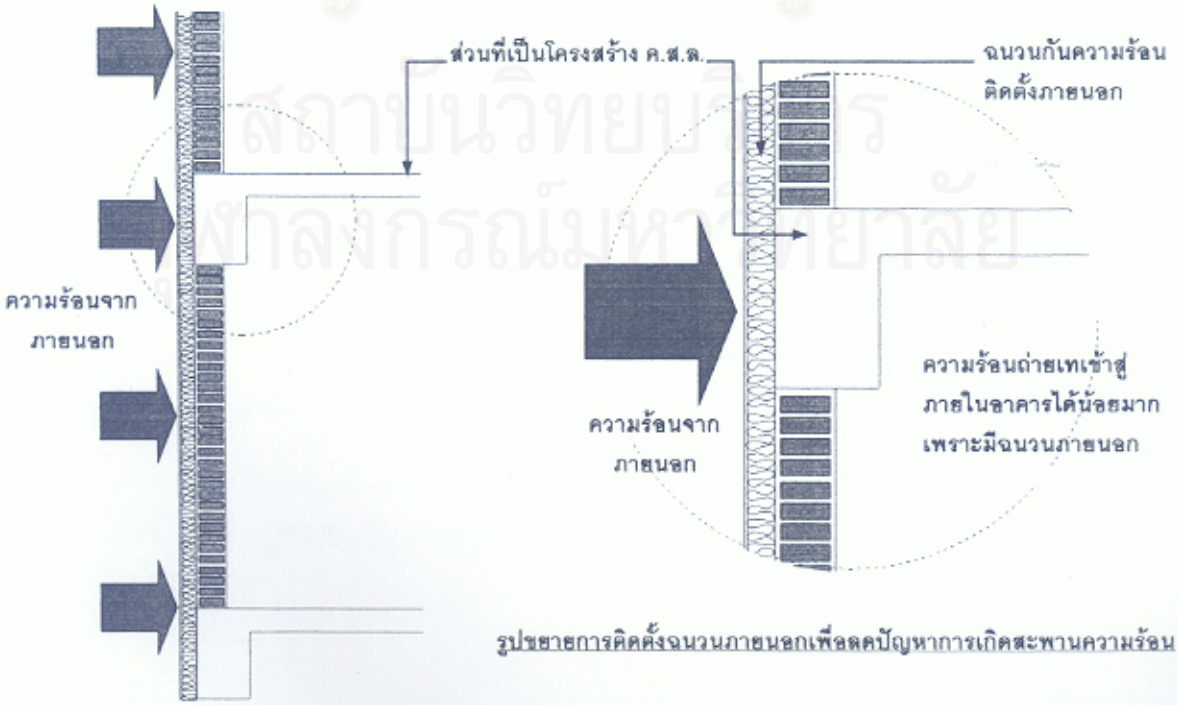
ข้อแตกต่างระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกผนังก่ออิฐฉาบปูน ในเรื่องการเกิดสะพานความร้อน (Thermal Bridge)

1. กรณีที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนภายในอาคาร



รูปขยายในบริเวณที่เกิดสะพานความร้อน

2. กรณีที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนกับผนังก่ออิฐฉาบปูนภายนอกอาคาร



รูปขยายการติดตั้งฉนวนภายนอกเพื่อลดปัญหาการเกิดสะพานความร้อน

สรุปผลการทดสอบความเหมาะสมในการใช้งานระหว่างการติดตั้งฉนวนภายในและภายนอก

สำหรับอาคารปรับอากาศ การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารมีความเหมาะสม มากกว่า การเลือกใช้ฉนวนภายในอาคาร เนื่องจาก

- ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของฉนวนภายนอก มีค่าน้อย
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอก สามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้ดี การควบแน่นของหยดน้ำในผนังจึงไม่มีปัญหา
- ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air Temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอกสุด จากนั้นปริมาณพลังงานซึ่งถูกลดลงจึงค่อยผ่านมวลสารภายในซึ่งเป็นผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้ว มวลสารในวัสดุทดสอบจึงสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวปริมาณความร้อนดังกล่าวลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนยืดออกไป
- เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ประกอบกับระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน พบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอก มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อย (อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดวัน) ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง ทำให้ผนังดังกล่าวมีปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาน้อยกว่าผนังชนิดอื่นๆ
- ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกต่ำกว่า
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารจะทำให้สูญเสียพื้นที่ใช้งานภายใน และไม่สะดวกในการติดตั้งหากมีการใช้งานในอาคาร
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร สามารถป้องกันความร้อนที่เกิดจากสะพานความร้อนได้ดีกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร

ส่วนในเรื่องของระยะเวลาคืนทุน หากมีการเปรียบเทียบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนาฉนวน 3 นิ้ว พบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกคืนทุนเร็วกว่า เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนภายในและภายนอก เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและทดสอบวัสดุผนังที่มีการปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอก เพื่อหาความหนาของฉนวนที่เหมาะสมใน 4 ทิศทาง พร้อมทั้งหาความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงระหว่างการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน และภายนอกอาคาร สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

- อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังก่ออิฐฉาบปูนทั้ง 4 ทิศ มีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนา1,2และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังก่ออิฐฉาบปูนทั้ง 4 ทิศ ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด รองลงมาคือผนังก่ออิฐฉาบปูนที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว และ 1 นิ้ว ตามลำดับ ส่วนผนังก่ออิฐฉาบปูนค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด
- ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทั้ง 4 ทิศทาง
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อน 3 นิ้วภายนอกและภายในอาคาร มีช่วงระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด รองลงมาคือ ฉนวน 2 และ 1 นิ้ว ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด จึงสามารถลดปริมาณความร้อนได้มากกว่าฉนวนหนา 1 และ 2 นิ้ว ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพบว่า อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้
- เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของผนังที่ปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าน้อยที่สุดทั้ง 4 ทิศ ในทุกประเภทของอาคารที่มีการปรับอากาศต่างกัน

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า **การเลือกใช้ฉนวน 3 นิ้วติดตั้งภายในและภายนอกอาคารทั้ง 4 ทิศ จึงมีความเหมาะสมที่สุด** ทั้งในด้านการลดปริมาณความร้อน และค่าใช้จ่ายในการลงทุน

5.1.2 ทำการทดสอบผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนาตั้งแต่ 1-3 นิ้ว เปรียบเทียบกับผนังมวลเบาก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาการลดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของผนังหลังทำการปรับปรุงซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละความหนา โดยพิจารณาเลือกความหนาที่เหมาะสมในแต่ละทิศทาง (ทิศเหนือ, ใต้, ตะวันออก และตะวันตก)

- อุณหภูมิผิวภายในโดยเฉลี่ยของผนังมวลเบาทั้ง 4 ทิศ มีค่าสูงสุดตลอดวัน และสูงกว่า ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนา1,2และ 3 นิ้วตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าผนังมวลเบาทั้ง 4 ทิศ ที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนา 3 นิ้ว มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อยที่สุด รองลงมาคือ ผนังมวลเบาที่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกที่ความหนา 2 นิ้ว และ 1 นิ้ว ตามลำดับ ส่วนผนังมวลเบาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันมากที่สุด
- ในเรื่องปริมาณความร้อนพบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกและภายในที่ความหนา 1,2 และ 3 นิ้ว สามารถลดปริมาณความร้อนจากผนังเดิมได้ประมาณ 75, 85 และ 90% ตามลำดับ โดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกันทั้ง 4 ทิศทาง
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อน 3 นิ้วภายนอกและภายในอาคาร มีช่วงระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด รองลงมาคือ ฉนวน 2 และ 1 นิ้ว ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าความต้านทานความร้อนสูงที่สุด จึงสามารถลดปริมาณความร้อนได้มากกว่าฉนวนหนา 1 และ 2 นิ้ว ซึ่งหากพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายในการลงทุนพบว่า อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนที่ความหนา 1-3 นิ้ว เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้
- เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (LCC) ของผนังที่ปรับปรุงโดยติดตั้งฉนวนหนา 1-3 นิ้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ติดตั้งฉนวนหนา 3 นิ้ว มีค่าน้อยที่สุดทั้ง 4 ทิศ ในทุกประเภทของอาคารที่มีการปรับอากาศต่างกัน

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า **การเลือกใช้ฉนวน 3 นิ้วติดตั้งภายในและภายนอกอาคารทั้ง 4 ทิศ จึงมีความเหมาะสมที่สุด** ทั้งในด้านการลดปริมาณความร้อน และค่าใช้จ่ายในการลงทุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.3 ทำการทดสอบผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบาที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนหนา 1 นิ้วภายในและภายนอก เปรียบเทียบกับผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบาก่อนทำการปรับปรุง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริง โดยพิจารณาร่วมกับค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน และระยะเวลาคืนทุน

ผลการทดสอบความเหมาะสมในการใช้งานระหว่างการติดตั้งฉนวนภายในและภายนอก พบว่า **การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารมีความเหมาะสม มากกว่า การเลือกใช้ฉนวนภายในอาคาร** เนื่องจาก

- ความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของฉนวนภายนอก มีค่าน้อย
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอก สามารถป้องกันความชื้นจากภายนอกได้ดี การควบแน่นของหยดน้ำในผนังจึงไม่มีปัญหา
- ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air Temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอกสุด จากนั้นปริมาณพลังงานซึ่งถูกลดลงจึงค่อยผ่านมวลสารภายในซึ่งเป็นผนังก่ออิฐหนา 4 นิ้ว มวลสารในวัสดุทดสอบจึงสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวปริมาณความร้อนดังกล่าวลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนยืดออกไป
- เมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด ประกอบกับระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน พบว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอก มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนมากกว่า และมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างกันน้อย (อุณหภูมิค่อนข้างคงที่ตลอดวัน) ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านผนัง ทำให้ผนังดังกล่าวมีปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาน้อยกว่าผนังชนิดอื่นๆ
- ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของผนังที่ปรับปรุงโดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกต่ำกว่า
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคารจะทำให้สูญเสียพื้นที่ใช้งานภายใน และไม่สะดวกในการติดตั้งหากมีการใช้งานในอาคาร
- การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคาร สามารถป้องกันความร้อนที่เกิดจากสะพานความร้อนได้ดีกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในอาคาร

ส่วนในเรื่องของระยะเวลาคืนทุน หากมีการเปรียบเทียบการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกที่ความหนาฉนวน 3 นิ้ว พบว่า การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกคืนทุนเร็วกว่า เนื่องจาก อัตราการเพิ่มของราคาติดตั้งฉนวนภายในและภายนอก เป็นสัดส่วนที่น้อยกว่า ค่าพลังงานที่สามารถลดลงได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเวลาและอุปกรณ์ในการวิจัยมีจำกัด จึงไม่สามารถทดสอบตัวแปรในด้านความชื้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลอีกตัวแปรหนึ่ง สำหรับภาระการทำความเย็น ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อภาระการทำความเย็นจากการปรับปรุงผนังอาคาร

2. ในการปรับปรุงผนังอาคารมีการศึกษาเฉพาะกรณีอาคารปรับอากาศ ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงผนังอาคารในกรณีไม่ปรับอากาศ

3. ในการทำการวิจัยควรกำหนดขอบเขตของงานวิจัยให้ชัดเจน พร้อมทั้งจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือให้พร้อมก่อนทำการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สาระนิเทศ, กอง ประชาสัมพันธ์, ฝ่าย. ข้อมูลสำคัญสำหรับผู้บริหาร: สถิติรายปี (ปีงบประมาณ 2512-2542). 2542. (ม.ป.ท.).

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย สาระนิเทศ, กอง ประชาสัมพันธ์, ฝ่าย. สถานภาพการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2542. (ม.ป.ท.).

ตระการ ก้าวกสิกรรม. คู่มือฉนวนความร้อน. กรุงเทพมหานคร: เอ็มแอนด์อี, 2537.

ประพันธ์ จงปติยัตต์. การลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยระบบผนังที่มีช่องอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน และวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.

ปุระชัย เปี่ยมสมบูรณ์, สุนทร บุญญาธิการ และแสงสันติ์ พานิช. มหาวิทยาลัยชินวัตร: ปรัชญา และแนวคิดสู่มิติใหม่ทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: รักษ์การพิมพ์, 2544.

รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ. อิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนา และส่งเสริมพลังงาน, กรม. การใช้ฉนวน. 2543. (ม.ป.ท.)

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนา และส่งเสริมพลังงาน, กรม. การใช้วัสดุและอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. 2543. (ม.ป.ท.)

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, กระทรวง พัฒนา และส่งเสริมพลังงาน, กรม. รายงานพลังงานของประเทศไทย 2542. 2542. (ม.ป.ท.)

สิทธชัย วุฒิวรวงศ์. การปรับปรุงผนังอาคารเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ และคณะ. พลังงานใกล้ตัว. กรุงเทพฯ: (ม.ป.ท.), 2544.

สุนทร บุญญาธิการ และธนิต จินดาวณิค. รายงานการวิจัยการวิเคราะห์สภาวะน่าสบาย และสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมไทย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

สุนทร บุญญาธิการ. การใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ. วารสารอาษา. กรกฎาคม 2539: หน้า 102-103.

สุนทร บุญญาธิการ. ผนังฉนวนกันความร้อน. วารสารอาษา. กรกฎาคม 2539: หน้า 70-71.

สุนทร บุญญาธิการ. อาคารอนุรักษ์พลังงานเฉลิมพระเกียรติ: อาคารอนุรักษ์พลังงานตัวอย่างของกรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน. วารสารอาษา. มิถุนายน 2539: หน้า 12-16.

Anderson, B. N. Solar Energy: Fundamental in Building Design. New York: McGraw-Hill, 1977.

America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 1995 HVAC Applications. I-P Edition. (n.p.), 1995.

America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 1996 HVAC Systems and Equipment. I-P Edition. (n.p.), 1996.

America society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. ASHRAE 2001 Handbook of Fundamental. I-P Edition. (n.p.), 2001.

Bansal, N.K., Hauser, G. and Minke G. Passive Building Design: A Handbook of Natural Climatic Control. Netherlands: Elsevier Science B. V, 1994

Beckman, A. William, and John, A. Duffie. Solar Engineering of Thermal Processes. 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, 1991.

Brown, G. Z. and DeKay, M. Sun, wind & light: architectural design strategies. 2nd Edition. U.S.A.: John Wiley & Sons, 2001

Cengel, Y. Thermodynamics and heat Transfer. New York: McGraw-Hill, 1997.

Fanger, P.O. Thermal Comfort: Analysis and Application in environmental Engineering. New York: McGraw-Hill, 1670.

Givoni, B. Man Climate and Architecture. Great Britain: Elsevier Publishing Co., Ltd., 1969.

Givoni, B. Passive and Low Energy Cooling of Buildings. U.S.A.: International Thomson Publishing, Inc, 1994.

Koenigsberger, O. and Lynn, R. Roofs in the Warm Humid Tropics. London: Lund Hamphiries Publisher, 1965.

Moore, F. Environmental Control Systems: Heating Cooling Lighting. New York: McGraw-Hill, 1993.

Olgyay, V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Fourth Printing. New Jersey: priton University Press, 1973.

Sparrow, E.M. and Cess, R.D. Thermal Radiation Heat Transfer. New York: McGraw-Hill, 1978.

Stein, B. and Reynolds, J. S. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings. 7th Edition. New York: John Wiley & Sons, 1992

Watson, D. and Labs, K. Climatic Design: Energy-Efficient Building Principles and Practices. U.S.A.: McGraw-Hill, 1983.

William, M. Landscape Planning Environmental Application. 3rdEdition. U.S.A.: John Wiley & Sons, 1998.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกัญจน์ พิเชษฐศิลป์ เกิดวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2520 สำเร็จการศึกษา สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม และสิ่งแวดล้อม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544 ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 1131/105 ถ.เทอดดำริ แขวงถนนนครไชยศรี เขตดุสิต กทม. 10300

โทรศัพท์ 02-2437636, 02-9282732, 01-5402006

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย