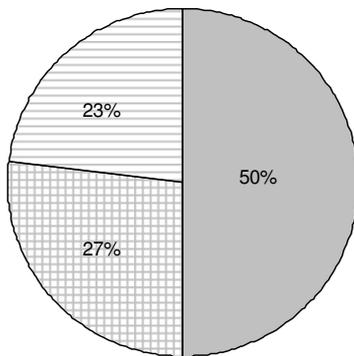


บทที่ 1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้ในวงการงานสถาปัตยกรรมเป็นเวลานานแล้ว โดยเริ่มมีการใช้ครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1930 ในประเทศสหรัฐอเมริกา และจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาผนังอลูมิเนียมอย่างต่อเนื่องตลอดมาโดยแต่เดิมนั้นผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตเป็นเพียงแผ่นอลูมิเนียมอย่างเดียวที่เรียกว่าแผ่นผนังอลูมิเนียม (solid aluminum) ที่มีความหนาให้สามารถรับแรงกระทำในแนวระนาบได้หลังจากนั้นแผ่นอลูมิเนียมก็ได้ถูกพัฒนาเป็นวัสดุที่ใช้ประกอบกับวัสดุอื่นๆ คือ การใช้แผ่นอลูมิเนียมที่มีความบางกว่าแผ่นอลูมิเนียมแบบเดิมมาประกบอยู่ทางด้านนอกทั้งสองด้านโดยมีไส้ตรงกลางที่ทำมาจากแผ่นพลาสติกหรือพลาสติกผสมสารกันไฟที่เรียกว่า แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต (aluminum composite material หรือ ACM) ซึ่งทำให้แผ่นอลูมิเนียมชนิดนี้มีความแข็งแรงมากกว่าเดิม สามารถรับแรงได้ดีกว่าและมีน้ำหนักเบาด้วย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาในเรื่องของสี, ลักษณะผิวและลักษณะอื่นๆ ด้วย เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการอันหลากหลายและซับซ้อนในงานสถาปัตยกรรม

สำหรับในประเทศไทยแผ่นผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตได้ถูกนำมาใช้ในงานอาคารสูงเมื่อประมาณ 10 กว่าปีที่ผ่านมาและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและมีแนวโน้มที่จะขยายตัวมากขึ้นเรื่อยๆ โดยจะพบว่าเมื่อปีที่แล้วปริมาณของผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตที่ใช้ในประเทศไทยมีจำนวนมากถึง 700,000 – 1,000,000 ตารางเมตร โดยในจำนวนนี้กว่าร้อยละ 80-90 ได้ถูกนำมาใช้ในส่วนของผนังอาคารเป็นส่วนใหญ่ และนอกนั้นจะถูกใช้เป็นส่วนตกแต่งอาคาร เช่น ส่วนของฝ้าเพดานหรือส่วนตกแต่งภายในอาคาร อาคารสำนักงานหรืออาคารสูงเป็นอาคารประเภทหนึ่งที่มีการใช้ผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตเป็นผนังอาคารค่อนข้างมากกว่าอาคารประเภทอื่นๆ เพราะว่าเป็นวัสดุที่ความคงทนต่อสภาพอากาศและสะท้อนรังสีความร้อนได้ดี และสามารถติดตั้งได้สะดวกและรวดเร็วด้วยนอกจากนี้ผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตถูกให้คุณค่าในเชิงอัตตลักษณ์ที่บ่งบอกถึงความทันสมัยของยุคปัจจุบัน อันเป็นสิ่งที่ช่วยส่งเสริมให้อาคารนั้นมีภาพลักษณ์ที่ดี



■ ระบบทำความเย็น □ ระบบแสงสว่าง □ อื่นๆ

หมายเหตุ : ก อื่นๆ หมายถึง ระบบการทำความร้อนและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆที่ใช้พลังงานไฟฟ้า

แผนภูมิที่ 1.1 แสดงอัตราการใช้พลังงานของแต่ละกิจกรรมภายในอาคารสำนักงาน

ที่มา : The use of computer softwares in the design of energy conscious building, 1998

ดังนั้นหากจะพิจารณาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารสำนักงานหรืออาคารสูงแล้วจะพบว่าพลังงานไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 50 ถูกใช้เพื่อกิจกรรมในการปรับอากาศภายในอาคารเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายให้กับอาคารซึ่งเป็นจำนวนพลังงานที่ค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานในส่วนอื่นๆ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงนั้นมาจากหลายๆสาเหตุ แต่ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบจะมาจากสาเหตุที่ปริมาณความร้อนภายนอกอาคารเข้าภายในอาคารมากเกินไป ซึ่งทำให้เครื่องปรับอากาศมีภาระการทำงานเพิ่มขึ้นตามปริมาณความร้อนที่เข้ามา ผนังอาคารเป็นบริเวณที่มีความร้อนจากภายนอกส่งผ่านเข้ามาภายในอาคารในสัดส่วนที่มากกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ดังนั้นในการทำวิจัยเรื่อง การออกแบบผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตของอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพครั้งนี้จึงเป็นการออกแบบระบบเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความร้อนที่จะส่งผ่านเข้ามาภายในอาคารซึ่งจะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารให้มากที่สุด ในสภาวะน่าสบายที่เหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละกิจกรรมและยังเป็นการช่วยอนุรักษ์พลังงานและทรัพยากรของโลกให้คงอยู่ยาวนานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ผนังอาคารอลูมิเนียมคอมโพสิต
2. ศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ผนังอาคารอลูมิเนียมคอมโพสิต

3. ออกแบบผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตของอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบอาคารตัวอย่าง จำนวน 3 หลัง ที่มีรูปแบบของผนังอาคารอลูมิเนียมคอมโพสิตแตกต่างกัน
2. สำรวจและประเมินอาคารสำนักงานด้านการอยู่อาศัยในด้านสภาวะความสบายภายในอาคารและการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง จะทำการจำลองทดลองเพื่อเก็บข้อมูล ในสภาวะของอาคารกรณีศึกษาในสภาพแวดล้อมจริง
3. แนวทางออกแบบและประเมินการออกแบบจะใช้การจำลองสภาพด้วยโปรแกรม Doe-2 โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง (Calibrated Building Energy Simulation) โดยไม่เข้าไปทำการปรับปรุงจริงเพื่อประเมินผล
4. แนวทางออกแบบจะพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมในเรื่อง ผนังอาคารเท่านั้น

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัย เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. สำรวจ เก็บข้อมูลอาคารทางด้านกายภาพของอาคารที่ใช้ผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตที่มีรูปแบบแตกต่างกัน จำนวน 3 หลัง เช่น สภาพแวดล้อมภายใน-ภายนอก, การจัดพื้นที่ใช้สอย และการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร
2. เก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังทั้งกลางวันและกลางคืน โดยทำการจำลองทดลองเพื่อเก็บข้อมูลทางด้านการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง ในสภาวะของอาคารกรณีศึกษาในสภาพแวดล้อมจริง
3. ประเมินและวิเคราะห์ข้อมูลและตัวแปรด้วยการใช้โปรแกรม SPSS เพื่อหาความสำคัญของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่าน ในด้าน การถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง
4. ประเมินและวิเคราะห์ข้อมูล และตัวแปรที่เกี่ยวข้องในด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศเพื่อสร้างสภาวะน่าสบาย
5. วิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรม Doe-2

6. เสนอแนวทางในการออกแบบผนังอคูมิเนี่ยมคอมโพสิตที่ช่วยประหยัดพลังงานภายในอาคารโดยทำการประเมินผลแนวทางต่างๆด้วยการจำลองอาคาร (Simulations) ด้วยโปรแกรม Doe-2

7. สรุปผลแนวทางที่เหมาะสมเพื่อการนำไปใช้ในการออกแบบผนังอคูมิเนี่ยมคอมโพสิตที่ช่วยประหยัดพลังงานภายในอาคาร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายภายในอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ผนังอาคารอคูมิเนี่ยมคอมโพสิต
2. ทราบถึงรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารกรณีศึกษาที่ใช้ผนังอาคารอคูมิเนี่ยมคอมโพสิต
3. ได้ผลงานออกแบบผนังอคูมิเนี่ยมคอมโพสิตของอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพภายในอาคาร

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการสำรวจแนวความคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องการออกแบบผนังอคูมิเนี่ยมคอมโพสิตของอาคารเพื่อการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพนี้จะศึกษาถึงแนวความคิดที่เกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่เปลือกอาคารได้แก่ หลักการถ่ายเทความร้อน อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร ลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร และแนวความคิดเกี่ยวกับการไหลเวียนอากาศโดยใช้วิธีธรรมชาติซึ่งเป็นกระบวนการลดความร้อนหรือทำความเย็นโดยวิธีธรรมชาติที่ถูกนำมาใช้

2.1 หลักการถ่ายเทความร้อน (Rohsenow, Warren M., et al, editors, 1985: (1-2)-(1-7))

ความร้อนเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธีด้วยกันคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้ จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น แต่กลไกในการที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนในแต่ละวิธีนั้นจะแตกต่างกันโดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ (heat transfer by conduction)

การนำความร้อนคือ กลไกของการแลกเปลี่ยนพลังงานภายในของวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง หรือจากส่วนหนึ่งของวัตถุไปยังส่วนอื่น ๆ ของวัตถุ โดยการแลกเปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุลที่อยู่ติดกัน หรือเกิดจากการเคลื่อนที่อิเล็กตรอนอิสระจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการนำนั้นความร้อนจะถ่ายเทจากโมเลกุลของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่วัตถุนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในวัตถุที่เป็นของแข็ง ของเหลวและก๊าซจะมีการนำความร้อนเกิดขึ้นเช่นกันแต่มักจะไม่ใช่แยกออกจากการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพา

กฎเบื้องต้นของการนำความร้อน

กฎเบื้องต้นที่ใช้ในการอธิบายถึงวิธีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำก็คือ กฎของ Fourier กฎนี้ได้มาจากการสังเกตจากการทดลอง โดยกฎของ Fourier กล่าวว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำในทิศทางที่กำหนด จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับระยะทาง และพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน

$$Q'' = -k \cdot dt/dx$$

เมื่อ

Q'' คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านพื้นที่ที่กำหนด

k คือ การนำความร้อนของวัตถุ โดยเครื่องหมายลบ แสดงถึงทิศทางการเคลื่อนที่ของความร้อนไปสู่ทิศทางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

dt/dx คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในทิศทางการถ่ายเทความร้อน

หากพิจารณาการถ่ายเทความร้อนใน 1 มิติผ่านทิศทาง x ในระนาบของผนังที่มีพื้นที่ A และอินทิเกรตสมการข้างต้นก็จะได้สมการดังนี้

$$Q = kA \cdot (T_2 - T_1) / \Delta x$$

โดยที่ Δx คือความหนาของผนัง T_1 และ T_2 อุณหภูมิแต่ละด้านของผนัง หรืออาจจะพิจารณาในรูปของ

$$Q = (T_2 - T_1) / (\Delta x / kA)$$

$$Q = \text{ความต่างของอุณหภูมิ} / \text{ค่า thermal resistance}$$

2.1.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา (heat transfer by convection)

การพาความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของไหล การพายังแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ การพาโดยการบังคับ (convection) และการพาตามธรรมชาติ (natural และ free convection)

การพาโดยการบังคับ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่นการใช้เครื่องกล

การพาตามธรรมชาติ คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างของของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใดๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

กฎเบื้องต้นของการพาความร้อน

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเมื่อพิจารณาแล้วมีปัจจัยหลายตัวที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้ เป็นต้นว่า คุณสมบัติต่างๆของของไหล เช่น ความหนาแน่น ความร้อนจำเพาะ ความหนืด ความเร็วของของไหล ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของของแข็ง และของไหล เป็นต้น นิวตัน ได้เสนอสมการคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาดังนี้ คือ

$$Q'' = h(T_h - T_c)$$

โดยที่

Q'' คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็งที่สัมผัสกับการไหล

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน มีหน่วยเป็น $\text{Btu/h ft}^{20}\text{F}$

T_h คือ อุณหภูมิของการไหลหรือพื้นผิวของของแข็งที่สูงกว่า

T_c คือ อุณหภูมิของของไหลหรือพื้นผิวของของแข็งที่ต่ำกว่า

2.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี (heat transfer by radiation)

การแผ่รังสีความร้อนคือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่โดยมิต้องอาศัยตัวกลาง ดังเช่นในการนำพาและการพาความร้อน ในการแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีที่สุดในสุญญากาศ ซึ่งความร้อนจะเคลื่อนที่โดยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เราอาจใช้ทฤษฎีของคลื่น (wave theory) ในการวิเคราะห์เรื่องการแผ่รังสีได้ วัตถุใดๆที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์สัมบูรณ์จะแผ่รังสีความร้อน รังสีความร้อนนี้จะเคลื่อนที่ไปได้ด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วแสง กลไกในการเคลื่อนที่ของความร้อน

โดยการแผ่รังสี อธิบายได้โดยอาศัยทฤษฎีของคลื่นได้ดังนี้ คือ ในการแผ่รังสี วัตถุจะเปลี่ยนพลังงานส่วนหนึ่งของตัวเอง (internal energy) ไปเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เมื่อคลื่นเหล่านี้เคลื่อนที่ไปกระทบวัตถุอื่น พลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นเหล่านี้จะถูกดูดไว้แล้ว เปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน วัตถุที่แผ่รังสีจะสูญเสียพลังงานของตัวเองถ้าวัตถุดังกล่าวไม่ได้รับพลังงานจากแหล่งอื่นอุณหภูมิของมันจะลดลง อุณหภูมิของมันจะคงที่ก็ต่อเมื่ออัตราการสูญเสียความร้อนและการรับความร้อนมีค่าเท่ากัน

โดยทั่วไปแล้ว วัตถุจะแผ่รังสีความร้อนออกมาที่ความยาวคลื่นต่างๆกัน ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่วัตถุแผ่รังสีออกมาจะหาได้โดยการรวมความร้อนที่วัตถุนั้นแผ่ออกมาที่ความยาวคลื่นต่างตั้งแต่ความยาวคลื่นที่ศูนย์จนถึงอนันต์ อัตราการแผ่รังสีความร้อนทั้งหมดต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งเรียกว่าการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและลักษณะพื้นผิวของวัตถุ

กฎเบื้องต้นของการแผ่รังสี

ความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากวัตถุ กลไกของการแผ่รังสีจึงแตกต่างจากกลไกของการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและการนำดังนี้คือ ความร้อนจะเคลื่อนที่จากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่งโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางระหว่างระหว่างวัตถุทั้งสองเลย

รังสีความร้อนเคลื่อนที่โดยอาศัยกลไกของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุหนึ่งสู่อีกวัตถุหนึ่ง รังสีความร้อนสูงสุดที่เปล่งออกมาจากวัตถุหนึ่งที่มีอุณหภูมิ T ถูกกำหนดโดยกฎของสเตฟาน โบลซ์มานน์ (Stefan Boltzmann) ดังนี้

$$Q_b = \sigma AT^4$$

เมื่อ

Q_b คือ รังสีความร้อนที่แผ่จากวัตถุดำ (black body)

σ คือ ค่าคงที่ของ สเตฟาน โบลซ์มานน์ซึ่งมีค่าเป็น $0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h ft}^2 \text{ R}^4$

A คือ พื้นที่ของวัตถุ

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ $^{\circ}\text{R} (^{\circ}\text{F} + 459.69)$

วัตถุดำหรือตัวแผ่รังสีในอุทกาศิ เท่านั้นที่จะสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมาได้สูงสุดตามสมการข้างต้น รังสีความร้อน (Q) ที่แผ่ออกมาจากวัตถุเท่าใดจะมีค่าน้อยกว่ารังสีที่เปล่งออกมาจากวัตถุดำ

$$Q = \epsilon Q_b = \epsilon \sigma AT^4$$

เมื่อ ϵ คือ ค่าการแผ่รังสีความร้อน(emissivity) ของวัตถุซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า 1 สำหรับวัตถุทั่วไปและเท่ากับ 1 สำหรับวัตถุดำ

2.2 อิทธิพลจากดวงอาทิตย์ (ASHRAE, 1997:29.14)

การที่โลกโคจรรูปดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี จะทำให้ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศ(extraterrestrial radiation, I_0) มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี โดยจะมีค่าสูงที่สุดประมาณ 448 Btu/h ft² เมื่อโลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 3 มกราคม และมีค่าต่ำสุดประมาณ 419 Btu/h ft² เมื่อโลกอยู่ห่างดวงอาทิตย์มากที่สุดในวันที่ 4 กรกฎาคม ค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศของโลกตลอดทั้งปี (solar constant) จะมีค่าประมาณ 433 Btu/h ft²

การที่โลกหมุนรอบตัวเองโดยที่ระนาบของเส้นศูนย์สูตรของโลกนั้นจะทำมุม 23.45 องศา กับระนาบการหมุนของโลกรอบดวงอาทิตย์ตลอดเวลาทำให้มุมเอียงระหว่างระนาบของเส้นศูนย์สูตรกับเส้นระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่เรียกว่า declination หรือค่า solar declination (δ) มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี ซึ่งจะมีค่าอยู่ช่วง ± 23.45 องศา การเปลี่ยนแปลงของค่า solar declination เป็นสาเหตุทำให้เกิดฤดูกาลและช่วงกลางวันและกลางคืนที่ยาวไม่เท่ากัน

ขณะที่ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศเป็นรังสีตรงชนิดหนึ่งซึ่งเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลก สสารต่างๆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละออง โมเลกุลของก๊าซชนิดต่างๆ ไอโซน ไอน้ำ และก้อนเมฆ เป็นต้น จำทำหน้าที่ดูดซับ สะท้อน และทำให้เกิดการกระเจิงของรังสีซึ่งส่งผลให้ปริมาณพลังงานของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศมีค่าลดลงซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ รังสีตรงจากดวงอาทิตย์ (direct normal radiation, E_{DN}) และรังสีที่เกิดจากการกระเจิงที่ถูกเรียกว่า รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์ (diffuse radiation, E_D) เป็นต้น ส่วนสัดส่วนของการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบชั้นบรรยากาศที่ความยาวคลื่นต่างๆแปรผันตามชนิดของสสารในชั้นบรรยากาศและระยะทางที่รังสีเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ

2.2.1 การคำนวณพิกัดของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าสามารถกำหนดได้ด้วยมุม 2 มุม คือ มุม solar altitude (β) และ solar azimuth (ϕ) ซึ่งเป็นตัวแทนของมุมในแนวตั้งฉากและมุมในแนวระดับระหว่างพื้นผิวในแนวระดับบนผิวโลกกับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ตามลำดับ โดยที่มุม solar azimuth เป็นมุมระหว่างเส้นฉายของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนแนวระดับทิศใต้ ค่ามุมทั้งสองนี้จะขึ้นกับค่าเวลาดวงอาทิตย์ (apparent solar time ,AST) ค่า declination (δ) ค่าละติจูด (local latitude, L) และค่า hour angle (H) ที่เป็นเวลาที่นับจากเวลา solar noon โดยตัวแปรต่างๆ มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$H = 0.25 * (720 - \text{AST})$$

$$\text{AST} = \text{LST} + \text{ET} + 4(\text{LSM} - \text{LON})$$

เมื่อ

$$H = \text{hour angle, degree}$$

$$\text{AST} = \text{apparent solar time, minute}$$

$$\text{LST} = \text{local standard time, minute}$$

$$\text{ET} = \text{equation, minute}$$

$$\text{LSM} = \text{local standard time meridian, degree (ประเทศไทย } 105^\circ\text{E)}$$

$$\text{LON} = \text{local longitude, degree}$$

$$4 = \text{เวลา (นาที) ที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเส้น Longitude ทุก 1 องศา}$$

$$\sin\beta = \cos L \cos\delta \cos H + \sin L \sin\delta$$

$$\cos\phi = \frac{\sin\beta \sin L - \sin\delta}{\cos\beta \cos L}$$

การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยมุม solar altitude และมุม solar azimuth อาจเพียงพอสำหรับการคำนวณค่ารังสีจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวที่วางตั้งฉากกับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เท่านั้น แต่สำหรับการคำนวณค่ารังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวที่วางทำมุมใดๆกับแนวระดับ จำเป็นต้องนำทิศทางการวางตัวของพื้นผิวเทียบกับ surface orientation ซึ่งได้แก่มุม surface azimuth (Ψ) ที่เป็นทิศทางการวางตัวของพื้นผิวเทียบกับทิศใต้ และมุมเอียงของพื้นผิวจากแนวระดับ (tilt angle, Σ) มาพิจารณาการประกอบเพื่อใช้ในการคำนวณค่ามุมตกกระทบ (incident angle, θ) โดยที่

$$\cos\theta = \cos\beta \cos\gamma \sin\Sigma + \sin\beta \cos\Sigma$$

$$\gamma = \phi + \psi$$

เมื่อ

γ คือ Surface Solar Azimuth

โดยที่ค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$E_t = E_{DN} \cos\theta + E_d + E_r$$

orientation	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
surface azimuth (ψ)	108°	-135°	-90°	-45°	0°	45°	90°	135°

ตารางที่ 2-1 แสดงทิศทางการวางผนังเทียบกับทิศใต้

ที่มา : American society of Heating, Refrigerating and air Conditioning Engineerings.1997 ASHRAE

Handbook Fundamentals. I-P Edition, (Atlanta Georgia, 1997),p.29.16.

ในกรณีที่มุม surface solar azimuth มีค่ามากกว่า 90° ถึงน้อยกว่า 270° พื้นผิวได้รับรังสีเพียง 2 ประเภทคือ รังสีกระจายจากดวงอาทิตย์(diffuse radiation, E_d) และรังสีที่กระจายสะท้อนจากสภาพแวดล้อม (diffuse ground reflected radiation, E_r) โดยที่พื้นที่ด้านนั้นจะไม่ได้รับรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่ในกรณีที่มุม surface solar azimuth มีค่าตั้งแต่ 0° ถึง 90° และ 270° ถึง 360° พบว่าพื้นผิวด้านนั้นจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ครบทั้ง 3 ประเภท

2.2.2 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์และสภาวะอากาศโดยรวม (The Sol – Air Temperature)

อุณหภูมิผิวของผนังหรือหลังคา ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ จะเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิอากาศภายใน ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆปัจจัย คือ รังสีที่ตกกระทบ ค่าการดูดซับของพื้นผิว และอุณหภูมิอากาศโดยรวม หรือกล่าวโดยสรุป คือ sol - Air Temperature เป็นผลของการรวมอุณหภูมิที่เกิดจาก 3 ส่วนคือ

1. อุณหภูมิอากาศภายนอก
2. อุณหภูมิที่เกิดจากส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดซับโดยพื้นผิวซึ่งถูกรังสีตกกระทบ
3. อุณหภูมิที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสภาพแวดล้อมโดยการแผ่รังสีคลื่นยาว

ASHRAE (1997) ได้ความหมายของ sol - Air temperature ไว้ว่า

“sol - Air temperature is temperature of the outdoor air that, in absence of all radiation changes, gives the same rate of heat entry into the surfaces as would the combination of incident solar radiation, radiant energy with the sky and other outdoor surroundings, and convective heat exchange with the outdoor air. ”

จากข้อความข้างต้นสามารถให้คำจำกัดความของ sol – air temperature ได้คือ อุณหภูมิประมาณของอากาศที่ติดอยู่กับผิวของวัสดุตอนที่ไม่มีอิทธิพลจากแสงแดดและการแลกเปลี่ยนรังสีที่จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารในอัตราที่เทียบเท่ากับสภาวะที่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์จริง จากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้า สภาพแวดล้อมรอบข้างและจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก

โดยสร้างเป็นสมการขึ้นดังนี้ (ASHRAE,1997:28.5)

$$\text{sol - air temperature } (t_e) = t_o + \alpha I / h_o - \epsilon \Delta R / h_o$$

โดยที่

t_e = sol – air temperature (°F)

t_o = อุณหภูมิอากาศภายนอก (°F)

α = สัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของผิววัตถุ (ไม่มีหน่วยย่อย)

I = รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบทั้งหมด (Btu/ h. ft²)

h_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวทั้งการแผ่รังสีคลื่นยาว และการพาความร้อนที่ผิวด้านนอกวัตถุ (Btu/ h. ft². °F)

ϵ = ค่าการกระจายความร้อนออกจากผิววัตถุ

ΔR = อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัตถุกับสภาพแวดล้อมกับท้องฟ้า (Btu/ h. ft²)

สำหรับพื้นผิวในแนวราบที่ได้รับการแผ่รังสีคลื่นยาว (long wave radiation) จากท้องฟ้าเพียงอย่างเดียว ค่า ΔR จะประมาณ 20 Btu/ h. ft² ถ้าค่า ϵ เท่ากับ 1 และ h_o เท่ากับ 3.0 แล้วอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปเนื่องจากรังสีคลื่นยาวหรือค่า $(- \epsilon \Delta R / h_o)$ จากสมการ จะเท่ากับ -7° F (Bliss,1961 อ้างถึงใน ASHRAE,1997:28.5)\

สำหรับพื้นผิวในแนวตั้งจะได้รับรังสีคลื่นยาวจากพื้นดิน และจากท้องฟ้าทำให้ยากที่จะหาค่า ΔR เมื่อรังสีดวงอาทิตย์มีความเข้มสูง อุณหภูมิที่ผิวภายนอกของวัตถุก็จะสูงกว่าอุณหภูมิ

อากาศ ด้วยเหตุนี้รังสีคลื่นยาวบางส่วนจะแผ่กลับไปยังท้องฟ้าที่มีค่าการแผ่รังสีต่ำกว่า ซึ่งจะกำหนดให้ค่า ΔR เท่ากับ 0 สำหรับผิววัตถุในแนวตั้ง

สีของพื้นผิว ค่า sol-air temperature ได้ถูกกำหนดสำหรับตัวแปร α_i / h_o ไว้ 2 ค่าคือเมื่อ α_i / h_o มีค่า 0.15 สำหรับผิวของวัตถุสีอ่อน และค่า α_i / h_o มีค่า 0.30 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดเมื่อผิวของวัตถุมีสีเข้ม

2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

ในการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารนั้นจะหาได้จากสูตรดังนี้ คือ

$$Q = U * A * \Delta T$$

$$Q = U * A * TD_{eq}$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคาร (Btu/h)

U = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (Btu/h.ft²)

A = พื้นที่ที่ความร้อนถ่ายเทผ่านเปลือกอาคาร (ft²)

ΔT = ค่าความแตกต่างความร้อนระหว่างภายนอกกับภายใน (°F)

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่ง

รวมถึงผลการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของผนัง (equivalent temperature different (°F))

ความแตกต่างในการที่จะเลือกใช้สูตรนั้น ขึ้นอยู่กับ

ค่า ΔT จะใช้ในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งจะทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกคงที่ (steady state condition)

ค่า TD_{eq} จะใช้ในกรณีที่มีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้อง รังสีอาทิตย์เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนของผนังเข้าสู่อาคารมากที่สุด เมื่อผนังโดนแดดก็จะร้อนขึ้น เนื่องจากการดูดกลืนรังสีความร้อนทำให้การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเปลี่ยนไป การใช้ค่า TD_{eq} เป็นการปรับให้เข้ากับอิทธิพลของมวลสาร โดยพิจารณาความหนาแน่นเชิงมวลของผนัง เป็นการพิจารณาค่า TD_{eq} ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นกว่าการใช้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายใน (ΔT)

2.4 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร (Givoni B., 1969:96-112)

คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าและออกจากอาคารและ

มีผลต่อสภาวะภายในอาคารในเชิงความร้อน คือ

2.4.1 ค่าการนำความร้อน การต้านทานความร้อน และการส่งผ่านความร้อน

ค่าการนำความร้อน(thermal conductivity)เป็นคุณสมบัติของวัสดุซึ่งกำหนดการถ่ายเทความร้อนในหน่วยของเวลา โดยการนำผ่านหน่วยของความหนาของหน่วยพื้นที่ของวัสดุ โดยผ่านหน่วยของความต่างอุณหภูมิ โดยถูกกำหนดค่าเป็น k ซึ่งมีหน่วยเป็น Btu/h ft °F หรือ Btu in/h.ft² °F โดยจะถือว่าอุณหภูมิบนด้านทั้งสองของวัสดุและการกระจายของอุณหภูมิของทั้งวัสดุมีลักษณะที่สม่ำเสมอและคงที่กับเวลา

ส่วนกลับของค่าการนำความร้อน คือ ค่าการต้านทานความร้อน (thermal resistivity) ของวัสดุ ทั้งค่าการนำความร้อนและค่าการต้านทานความร้อนไม่ขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาของวัสดุ ที่เป็นองค์ประกอบของอาคาร

ความร้อนที่ถ่ายเทผ่านองค์ประกอบอาคารไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของวัสดุแต่ยังขึ้นอยู่กับความหนา (d) ขององค์ประกอบด้วย ถ้ามีความหนามากขึ้นอัตราการถ่ายเทของความร้อนจะน้อยลง ดังนั้นค่าความสามารถในการต้านทานความร้อน(thermal resistance, (r)) ขององค์ประกอบอาคารถูกนิยามได้ดังนี้

$$r = d / k$$

เช่นเดียวกันค่าความสามารถในการนำความร้อน (thermal conductance, (c)) ขององค์ประกอบอาคารคือ

$$c = k / d$$

การถ่ายเทความร้อนภายในลักษณะที่คงที่ ผ่านองค์ประกอบของผนังพื้นที่ผิว A และความหนา d โดยวัสดุมีค่าการนำความร้อน k และมีความแตกต่างของอุณหภูมิเป็น $t_2 - t_1$ ก็จะมีสูตรดังนี้

$$Q = A(k/d) (t_2 - t_1)$$

โดยที่ Q เป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าสู่พื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในหน่วยของ Btu/h

ในการพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างภายในและภายนอกค่าความสามารถในการนำความร้อนของชั้นอากาศที่ติดกับพื้นผิวจะต้องถูกนำไปคิดด้วย โดยที่ฟิล์มของอากาศนี้จะเกิดขึ้นกับทุกพื้นผิว การลดลงของความหนา(ของฟิล์มอากาศ)จะขึ้นอยู่กับความเร็วลมของอากาศบริเวณพื้นผิวที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุที่ค่าการนำความร้อนของอากาศนั้นต่ำมาก (ค่าการ

ต้านทานความร้อนสูง) พิล์มอากาศบริเวณพื้นผิวจึงเป็นส่วนช่วยในการต้านทานการถ่ายเทความร้อนผ่านผิวอาคารนั้น ส่วนกลับของค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศถูกเรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิว (surface coefficient) ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ h_i สำหรับพื้นผิวภายในและ h_o สำหรับพื้นผิวภายนอก ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิวนี้จำกำหนดการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวสู่อากาศที่อยู่โดยรอบโดยมีหน่วยเป็น $\text{Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$

ในการพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศภายในอาคารและอากาศภายนอกอาคาร ค่าความสามารถในการต้านทานความร้อนของทั้งสองพื้นผิว (ส่วนกลับค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิว) จะต้องถูกนำไปรวมกับค่าความสามารถในการต้านทานความร้อนของวัสดุผนังด้วย ดังนั้นค่าความสามารถในการต้านทานความร้อนรวมทั้งหมด(R) ของผนังชั้นเดียวต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศทั้งสองด้าน คือ

$$R = 1 / h_i + d / k + 1 / h_o$$

ส่วนกลับของความสามารถในการต้านทานความร้อนคือค่าความสามารถในการส่งผ่านความร้อน (thermal transmittance) ซึ่งกำหนดอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านองค์ประกอบอาคารและใช้สัญลักษณ์ U ดังนั้น $U = 1 / R$ อัตราการถ่ายเทความร้อน (Q) ต่อหน่วยของพื้นที่จากอากาศภายในสู่อากาศภายนอกในลักษณะที่คงที่ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = U (t_o - t_i) \text{ Btu} / \text{h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

(ในกรณีที่อุณหภูมิอากาศภายนอก (t_o) สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายใน (t_i))

เมื่อผนังประกอบด้วยวัสดุหลายชั้นที่มีความหนา และมีค่าการนำความร้อนต่างๆกัน ค่าความสามารถในการต้านทานความร้อนรวมของผนังดังกล่าวจะต้องเป็นผลรวมของค่าความสามารถในการต้านทานความร้อน ของแต่ละชั้นดังนั้นค่าความสามารถในการต้านทานความร้อนรวมของผนังที่มี n ชั้น คือ

$$R = 1 / h_i + d_1 / k_1 + d_2 / k_2 + d_3 / k_3 + \dots + d_n / k_n + 1 / h_o$$

และค่าความสามารถในการส่งผ่านความร้อนรวม คือ

$$U = 1 / (1 / h_i + d_1 / k_1 + d_2 / k_2 + d_3 / k_3 + \dots + d_n / k_n + 1 / h_o)$$

ดูคุณสมบัติมาตรฐานทางความร้อนของวัสดุอาคารทั่วไปได้ในภาคผนวก ก

2.4.2 ลักษณะของพื้นผิวที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี

พื้นผิวภายนอกของวัสดุที่บดใดๆ จะมีคุณสมบัติที่กำหนดพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี คือ ค่าการดูดซับรังสี (absorptivity) ค่าการสะท้อนรังสี (reflectivity) และค่าการคายรังสี (emissivity)

รังสีที่กระทบบนวัสดุที่บด จะมีถูกดูดซับหรือสะท้อน ซึ่งพื้นผิวของวัสดุจะมีการดูดซับรังสีทั้งหมด และวัตถุสะท้อนรังสี (reflector) ก็สะท้อนรังสีทั้งหมด พื้นผิวโดยมากจะดูดซับบางส่วนของรังสีที่มากกระทบ และจะสะท้อนส่วนที่เหลือ ถ้าค่าการดูดซับรังสี ใช้สัญลักษณ์ α และค่าการสะท้อนรังสีใช้สัญลักษณ์ ρ จะได้ว่า

$$\rho = 1 - \alpha$$

ค่าการคายรังสี (ϵ) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของวัสดุที่จะแผ่รังสีพลังงาน สำหรับการตอบสนองต่อคลื่นยาว ค่าการดูดซับรังสีจะเท่ากับค่าการคายรังสี คือ $\alpha = \epsilon$ แต่ค่าทั้งสองก็จะต่างกันมากสำหรับการตอบสนองต่อรังสีดวงอาทิตย์

แต่ละพื้นผิวจะแผ่รังสีด้วยการกระจายสเปกตรัมและความเข้มของรังสีซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของพื้นผิวนั้นๆ พื้นผิวต่างๆจะแผ่รังสีที่อุณหภูมิปกติจะอยู่ในช่วงของรังสีอินฟราเรด (infrared) ของสเปกตรัม ความเข้มของการแผ่รังสีของวัตถุคือ

$$Q'' = \epsilon \sigma T^4$$

โดยที่

Q'' คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ในหน่วย Btu / ft² h

ϵ คือ ค่าการแผ่รังสีของวัตถุ

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน โบลซ์มานน์ซึ่งมีค่า $0.1714 \cdot 10^{-8}$ Btu / h ft²⁰ R⁴

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุ °R (°F+459.69)

ค่าการคายรังสีของผิววัสดุคือ 1.0 สำหรับพื้นผิวอื่นจะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.05 สำหรับโลหะมันเงา และประมาณ 0.95 สำหรับวัสดุอาคารทั่วไป

รังสีจะถูกดูดซับโดยมีการคัดเลือก ตามความยาวคลื่นของรังสีบนพื้นผิว ดังนั้นวัสดุที่ทาสีขาวจะมีค่าการดูดซับรังสีประมาณ 0.12 สำหรับคลื่นสั้นของรังสีดวงอาทิตย์ แต่มีการดูดซับรังสีคลื่นยาวจากพื้นผิวต่างๆที่อุณหภูมิปกติ ประมาณ 0.95 ดังนั้นพื้นผิวนี้อจะมีค่าการคายรังสี 0.95 สำหรับรังสีคลื่นยาวและเป็นตัวแผ่รังสีที่ดี โดยจะสูญเสียความร้อนสู่พื้นผิวที่เย็นกว่า ขณะเดียวกันจะเป็นตัวสะท้อนรังสีที่ดีสำหรับรังสีดวงอาทิตย์ ในทางตรงกันข้ามโลหะมันเงาจะมีค่าการดูดซับรังสีและค่าการคายรังสีต่ำสำหรับทั้งการแผ่รังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาว ดังนั้นในขณะที่เป็นตัวสะท้อนรังสีที่ดี ก็จะเป็นตัวคายรังสีที่ไม่ดีและสูญเสียความร้อนของตัวมันเองได้น้อย

สีของพื้นผิวจะเป็นสิ่งที่แสดงถึงค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ โดยที่ค่าการดูดซับจะลดลงและค่าการสะท้อนจะเพิ่มขึ้นกับความอ่อนของสี แต่สีไม่ได้แสดงถึงพฤติกรรมของพื้นผิวที่เกี่ยวกับการแผ่รังสีคลื่นยาว ดังนั้นสีขาวและสีดำจะมีความแตกต่างกันอย่างมากในค่าการดูดซับรังสีของรังสีดวงอาทิตย์ โดยพื้นผิวสีดำจะร้อนมากกว่าหากได้รับรังสีดวงอาทิตย์ แต่การแผ่รังสีคลื่นยาวของสีทั้งสองจะเท่ากันและจะเย็นเท่ากันในตอนกลางคืนโดยการแผ่รังสีสู่ท้องฟ้า

พื้นผิวทุกพื้นผิวจะดูดซับและคายรังสีพร้อมๆกัน การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวที่ขนานกัน 2 พื้นผิวจะขึ้นอยู่กับค่าอิทธิพลการคายรังสี (effective emissivity, (E)) ของทั้งสอง โดยจะหาได้จากสมการ

$$E = 1 / (1 / \epsilon_1 + 1 / \epsilon_2 - 1)$$

การแลกเปลี่ยนความร้อนสุทธิโดยการแผ่รังสีต่อหน่วยพื้นที่ (Q") ระหว่าง 2 พื้นผิวหาได้จากสมการ

$$Q'' = E\sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

คูณผลของวัสดุที่ตอบสนองต่อรังสีดวงอาทิตย์และรังสีความร้อนได้ในภาคผนวก ข

2.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิว

ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิวหรือค่าความสามารถในการนำความร้อนของพื้นผิว (surface conductance) จะกำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างพื้นผิวและอากาศโดยรอบ และการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีกับพื้นผิวอื่นหรือท้องฟ้า ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิว

จะประกอบด้วย 2 ตัวประกอบที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อน โดยหลักแล้วจะขึ้นอยู่กับค่าการคายรังสีของพื้นผิวและบางส่วนจากอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี ค่าสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนจะขึ้นอยู่กับ ลักษณะความขรุขระของพื้นผิว ความเร็วของอากาศที่อยู่บริเวณพื้นผิว และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวและอุณหภูมิอากาศ

ดูความแตกต่างของค่าการถ่ายเทความร้อนของพื้นผิวในลักษณะของการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน รวมไปถึงค่าความสามารถในการนำความร้อน(ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นผิว)และต้านทานความร้อนสำหรับอากาศได้ในภาคผนวก ค

2.4.4 ค่าความจุความร้อน

ค่าความจุความร้อนของผนังหรือหลังคา คือ จำนวนปริมาณความต้องการความร้อนที่จะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา ของหน่วยปริมาตรของผนัง ของหน่วยพื้นที่ของพื้นผิวในกรณีแรก หมายถึงความจุความร้อนในเชิงปริมาตร(volumetric heat capacity,(c)) ของวัสดุ มีหน่วยเป็น $\text{Btu/ft}^3 \text{ } ^\circ\text{F}$ ซึ่งค่านี้จะใช้อธิบายถึงคุณสมบัติของวัสดุ และในกรณีที่สองหมายถึงค่าความจุความร้อนของผนัง (C) มีหน่วยเป็น $\text{Btu/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ ใช้อธิบายคุณสมบัติองค์ประกอบอาคาร

ความจุความร้อนของวัสดุจะสำคัญเมื่อสภาวะทางความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงคงที่เมื่อมีความแตกต่างมากระหว่างอุณหภูมิภายนอกและอุณหภูมิภายใน ค่าความจุความร้อนมีผลน้อยมากใ้สภาวะความร้อนภายในอาคาร การถ่ายเทความร้อนและการกระจายของอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับกรณีดังกล่าวโดยหลักๆจะเกี่ยวกับการส่งผ่านความร้อนของเปลือกอาคาร แต่ในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ เมื่อโครงสร้างถูกทำให้ร้อนและทำให้เย็นเป็นระยะๆและการได้รับรังสีดวงอาทิตย์ ความจุความร้อนจะมีผลที่แน่นอนในการกำหนดสภาวะความร้อนภายใน

องค์ประกอบหลักๆ ของ ค่าความจุความร้อน คือ ค่าความร้อนจำเพาะ และความหนาแน่น ช่วงของค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุน้อยมาก โดยที่วัสดุอาคารที่มีค่าความร้อนจำเพาะสูงสุด คือ ไม้และพลาสติก (0.4 ถึง 0.5 $\text{Btu/lb } ^\circ\text{F}$ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุ) และต่ำสุดคือเหล็ก (0.11 $\text{Btu/lb } ^\circ\text{F}$) ในทางตรงข้ามช่วงของความหนาแน่นจะกว้างมาก ความหนาแน่นของอากาศ (ซึ่งอาจจะพิจารณาเป็นวัสดุอาคารในรูปของช่องว่างอากาศ) จะประมาณ 0.071 ในขณะที่ความหนาแน่นของคอนกรีตเป็น 150 lb/ft^3 แต่ความหนาแน่นของโฟมโพลีสไตรีน

(1.8 – 3.5 lb/ft³) ถูกใช้เป็นตัวต่ำสุดในการนำมาใช้งาน ซึ่งความจุความร้อนของผนังหรือโครงสร้างจะสัมพันธ์กับน้ำหนัก

วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงจะกักเก็บความร้อนไว้ได้มากทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัตถุช้าลง ซึ่งลักษณะเช่นนี้เรียกว่าค่าเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag)

ดูค่าความสามารถในการส่งผ่านความร้อนและค่าเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนสำหรับผนังเนื้อเดียวได้ในภาคผนวก

2.4.5 ค่าการกระจายความร้อน

ค่าการกระจายความร้อน (thermal diffusivity, (α)) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าการนำความร้อน (k) และค่าความจุความร้อนในเชิงปริมาตร

$$\alpha = k / \rho c \text{ (ft}^2/\text{h)}$$

$$\alpha = k / C$$

โดยที่

k คือ การนำความร้อน (Btu/h ft² °F)

ρ คือ ค่าความหนาแน่น (lb/ft³)

c คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (Btu/lb °F)

C คือ ค่าความจุความร้อนในเชิงปริมาตร (Btu/ft³ °F)

ค่าการกระจายความร้อนที่สูงกว่าจะเป็นผลให้เกิดการกระจายความร้อนผ่านมวลสารของวัสดุที่เร็วกว่า สำหรับวัสดุอาคารโดยมากค่าความจุความร้อนจะเป็นสัดส่วนต่อความหนาแน่น ในขณะที่ค่าการนำความร้อนเพิ่มอย่างไม่เป็นสัดส่วนอย่างรวดเร็ว มากกว่าการเพิ่มของความหนาแน่น

ดูค่าความหนาแน่นมาตรฐาน ค่าการกระจายความร้อนและค่าความร้อนจำเพาะได้ในภาคผนวก

2.5 ผลทางความร้อนของวัสดุเปลือกอาคาร (Givoni B., 1969: 113 - 137)

เปลือกอาคารแบ่งสภาพภายในออกจากสภาพแวดล้อมภายนอก และเป็นตัวปรับเปลี่ยนหรือป้องกันผลกระทบโดยตรงจากตัวแปรต่างๆทางภูมิอากาศเช่น อุณหภูมิอากาศภายนอก ความชื้น ลม รังสีดวงอาทิตย์ ฝน เป็นต้น เปลือกอาคารโดยทั่วไปจะประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิด คือ วัสดุทึบและวัสดุที่ยอมให้แสงผ่านได้

ผลกระทบของเปลือกอาคารขึ้นอยู่กับความหนา และคุณสมบัติทางความร้อน วัสดุที่อยู่ในพื้นที่ใช้สอยภายในเช่น พื้น หรือผนังเบาต่างๆ และแม้แต่เฟอร์นิเจอร์ จะเป็นตัวทำให้อุณหภูมิอากาศภายในเปลี่ยนแปลง โดยเป็นผลจากความจุความร้อนของโครงสร้างและอัตราการดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้น หรือ ความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร

เมื่อเปิดหน้าต่าง จะมีการเคลื่อนที่ของอากาศภายนอกเข้าสู่ภายใน หรือแม้แต่ปิดหน้าต่างความร้อนและอากาศก็สามารถรั่วซึมผ่านรอยแยกรอบๆหน้าต่าง หรือช่องเปิดต่างๆ รังสีของดวงอาทิตย์สามารถที่จะทะลุผ่านวัสดุโปร่งใส โปร่งแสงและผ่านหน้าต่างที่เปิดเข้าสู่พื้นที่ภายในและทำให้อากาศร้อนขึ้นจากภายใน อุณหภูมิอากาศภายนอกและความชื้นสามารถมีผลต่อภายในโดยตรงแม้ว่าผลของการเคลื่อนที่ของอากาศจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุด้วย

เมื่อสภาวะความร้อนของภายในไม่มีการควบคุมโดยระบบเครื่องกล วัสดุจะได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิผิวภายใน ซึ่งจะมีผลต่อความรู้สึกของผู้ใช้อาคาร หรือแม้ว่ามีการควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโดยการทำความร้อนหรือทำความเย็น คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุสามารถกำหนดปริมาณภาระการทำความร้อนหรือทำความเย็นโดยระบบเครื่องกลและอุณหภูมิของผิวภายใน

รูปแบบของอุณหภูมิอากาศภายนอกและรังสีดวงอาทิตย์ในรายวันหรือรายปี และช่วงของความแปรปรวนจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้ง สภาวะทางความร้อนภายในอาคารที่ไม่มีการควบคุมด้วยเครื่องกลจะเป็นไปตามรูปแบบนี้แต่ก็สามารถที่จะปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับรายละเอียดในการออกแบบและก่อสร้าง

ก่อนที่ดวงอาทิตย์จะขึ้น ทั้งอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายนอกจำกัดที่สุด ภายหลังจากดวงอาทิตย์ขึ้น อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายนอกจะสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะขึ้นสูงสุดในช่วง

บ่าย (14.00 – 16.00) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศภายนอก จะทำให้ความร้อนถ่ายเทสู่พื้นผิวภายนอกของเปลือกอาคารและจะทำให้อุณหภูมิที่ผิวสูงขึ้น ผลดังกล่าวโดยมากจะเป็นลักษณะของทุกพื้นผิว โดยไม่เกี่ยวกับตำแหน่งที่ตั้ง ในขณะที่เดียวกัน รังสีดวงอาทิตย์ที่เป็นรังสีโดยตรง ที่กระจายจากท้องฟ้า หรือที่สะท้อนจากพื้นผิวโดยรอบกระทบที่ผิวอาคาร รังสีบางส่วนจะถูกสะท้อนออกไป แต่ส่วนที่เหลือจะถูกดูดซับโดยพื้นผิว ซึ่งจะมีผลให้อุณหภูมิพื้นผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ ตำแหน่งของพื้นผิวจะกำหนดความเข้มของรังสีที่มาตกกระทบ เป็นผลให้เกิดรูปแบบของอุณหภูมิที่ต่างๆกัน สำหรับหลังคาและผนังในแต่ละด้าน ลักษณะการสูงขึ้นของอุณหภูมิจะเป็นสัดส่วนต่อสัมประสิทธิ์การดูดซับของพื้นผิว

กระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังจากพื้นผิวภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น อาจจะทำให้มองเห็นภาพโดยการพิจารณาเปลือกอาคารซึ่งแบ่งออกเป็นหลายๆชั้น การถ่ายเทความร้อนผ่านแต่ละชั้นจะส่งผลให้อุณหภูมิสะสมในแต่ละชั้นขององค์ประกอบ ดังนั้นแต่ละชั้นจะได้รับความร้อนน้อยลงและมีอุณหภูมิสูงขึ้นน้อยกว่าชั้นที่อยู่นอกๆ หลังจากที่อยู่อุณหภูมิภายนอกชั้นสูงสุด จะเริ่มมีอุณหภูมิต่ำลง ความร้อนที่สะสมในผนังก็จะเคลื่อนที่ใน 2 ทิศทางคือเข้าออก อัตราส่วนของช่วงอุณหภูมิภายนอกสู่ภายในขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ และความหนาของโครงสร้าง ขณะที่ความหนาและความจุความร้อนของผนังเพิ่มขึ้น และค่าการนำความร้อนลดลง จะทำให้เกิดการหน่วงเวลามากขึ้น

การรวมผลของค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนของผนังที่เป็นวัสดุชนิดเดียว จะถูกแสดงโดยค่าการกระจายความร้อนของวัสดุ กระบวนการดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวภายในโดยปราศจากการดัดแปลงของผนัง ปัจจัยที่มีอยู่และรวมไปถึงการไหลเวียนอากาศของอาคาร รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่างและทำความร้อนภายในอาคาร การไหลเวียนอากาศได้นำอากาศภายนอกเข้ามาโดยตรงและปะทะกับอากาศพื้นผิวภายในอุณหภูมิที่ต่างกัน รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านหน้าต่าง และที่สะท้อนจากพื้นสู่พื้นผิวภายในหรือที่ถูกดูดซับไว้ในพื้นที่จะทำให้อุณหภูมิอากาศและพื้นผิวภายในสูงขึ้น

ปัจจัยทั้งหลายดังที่กล่าวมามีผลต่ออุณหภูมิอากาศภายในโดยตรง ซึ่งผลของปัจจัยดังกล่าวจะมีมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ แต่มีความแตกต่างไปตามปัจจัยทางภูมิอากาศที่มีผลต่อพื้นผิวภายนอกด้วย คุณสมบัติหลักที่มีผลในการตอบสนองต่อความร้อน คือ ผลคูณของค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนในเชิงปริมาตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของชั้นของผนังด้านใน ถ้าหากค่านี้สูงผนังจะสามารถดูดซับความร้อนจากแหล่ง

ความร้อนภายในได้เร็วกว่า และทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นน้อยกว่า ในทางตรงกันข้ามเมื่อค่านี้ต่ำ พื้นผิวภายในก็จะร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว

ค่าของผลคูณของค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนในเชิงปริมาตร ยังกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิผิวภายใน โดยเฉพาะเมื่ออาคารมีการไหลเวียนของอากาศ หากค่านี้สูงจะทำให้เกิดความแตกต่างที่เหมาะสมของอุณหภูมิอากาศภายในและอุณหภูมิผิวภายใน เพราะอุณหภูมิในอากาศในอาคารที่มีการไหลเวียนอากาศจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอก ในขณะที่อุณหภูมิผิวจะยังรักษาระดับที่สูงอยู่อันเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนจากภายในผนัง หากค่านี้ต่ำอัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายในจะลดลงและคุณภาพในการกักเก็บความร้อนก็จะน้อย และอุณหภูมิผิวก็จะคล้อยตามไปกับอุณหภูมิอากาศภายใน

2.6 แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต (Aluminium Composite Panel)

อลูมิเนียมคอมโพสิต เป็นวัสดุที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้เป็นวัสดุที่มีคุณภาพสูง โดยการนำเอาคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิดมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้วัสดุชนิดใหม่ขึ้นมา ที่มีน้ำหนักเบา แต่มีผิวที่แข็งแรงมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ภายนอกอาคาร โดยสามารถทนต่อสภาวะอากาศทุกประเภท ทั้งอากาศหนาว , ร้อน หรือ น้ำฝน ซึ่งจะมีสภาพความเป็นกรดต่างหรือ ความชื้น ที่แตกต่างกันไป

โครงสร้างของ แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต ประกอบด้วย แผ่นแกนโพลีเอทิลีน (Polyethylene Core) Fire Resistance (FR) ซึ่งสามารถกันความร้อน และ เสียงได้เป็นอย่างดี ประกบหน้า-หลังด้วยแผ่นอลูมิเนียม (Aluminium Sheet) โดยยึดให้ติดกันด้วย ฟิล์มเหนียว (Adhesive Film) เคลือบผิว แล้วปิดทับด้วย ฟิล์มป้องกันการขูดขีด

2.6.1 ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต

1.) การเคลือบผิวดีเยี่ยม

เนื่องจากใช้สารเคลือบผิวคุณภาพดี เคลือบผิวด้วยกระบวนการเคลือบผิวอัตโนมัติ ทำให้ผิวเรียบและยึดเกาะกับอลูมิเนียมได้ดี สามารถทนบรรยากาศที่เป็นกรดและด่าง สีติดแน่น ไม่หลุดล่อน แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต ที่เคลือบผิวด้วยสาร PVDF ตามมาตรฐาน KYNAR 500 สามารถใช้งานติดตั้งภายนอกได้นานกว่า 20 ปี และบำรุงรักษาได้ง่าย

2.) กำลังยึดเกาะสูง

เนื่องจากใช้ ฟิล์มเหนียว คุณภาพดี อลูมิเนียม ยึดเกาะ กับ แผ่นแกนโพลีเอทิลีน ได้แน่น ไม่หลุดล่อน

3.) การทนต่ออุณหภูมิสูง

อุณหภูมิที่จะทำให้ แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิตเกิดการเสียรูปได้ ต้องมีค่ามากกว่า 105°C จึงสามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงกว้างๆ ได้ดี

4.) น้ำหนักเบา

แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต ที่เคลือบผิวด้วย PVDF จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 5.25 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆที่มีความแข็งแรงเท่ากัน แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต จะมีน้ำหนักที่เบากว่ามาก

5.) คุณสมบัติเรื่อง เก็บเสียง,ฉนวนความร้อนและทนแรงกระแทก

แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต มีคุณสมบัติในเรื่องข้อของโลหะ และพลาสติก ทำให้สามารถทนแรงกระแทกมากกว่าแผ่นอลูมิเนียมธรรมดาถึง 6 เท่า และเป็นวัสดุที่ความเหมาะสมสำหรับการตกแต่งภายในห้องเก็บเสียง ช่วยกันความร้อน

6.) ความปลอดภัยจากสารพิษและไม่ติดไฟ

แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต เมื่อไหม้ไฟแล้วจะไม่มีสารพิษ ส่วนอลูมิเนียม จะไม่ติดไฟ จึงสามารถใช้งานได้ในพื้นที่ที่มีข้อกำหนดเรื่องการทนไฟ

7.) การทำงานที่สะดวก

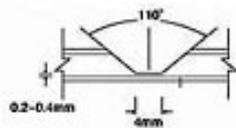
สามารถทำงานด้วยเครื่องมืองานไม้ และงานโลหะโดยทั่วไปได้อย่างเที่ยงตรง เช่น การตัด การเลื่อย การเซาะร่อง การป้อน การอัด และการตัดโค้ง

2.6.2 การประกอบและติดตั้งแผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต

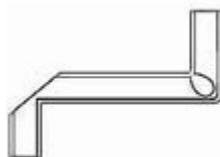
1.) การตัด สามารถตัดได้ด้วย เครื่องตัดโลหะ (Shearing Machine) เลื่อยตัดหินอ่อน และเลื่อยวงเดือน



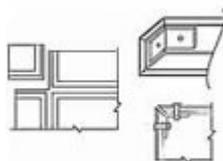
2.) การเซาะร่อง (Routing) สามารถเซาะร่องได้ด้วยเครื่องเซาะร่อง (Router) หรือเลื่อยตัดหินอ่อนโดยใส่ใบเลื่อยสำหรับงานตัดโลหะ



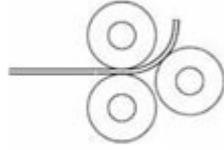
3.) การตัดมุม สามารถตัดมุมได้ด้วยเครื่องตัดโลหะ (Shearing Machine) หรือ เลื่อยตัดหินอ่อนโดยใส่ใบเลื่อยสำหรับงานตัดโลหะ หรือ เครื่องเจียรมือถือ โดยใส่ใบตัดโลหะ



4.) การต่อ สามารถต่อชิ้นงานได้ด้วยหมุดย้ำ สกรูน็อต หรือสกรูเกลียวปล้อย



5.) การตัดโค้ง สามารถตัดโค้งได้โดยใช้เครื่องตัดโค้งโลหะแผ่น แบบมีลูกกลิ้ง



6.) การพับ สามารถพับได้ หลังจากได้เซาะร่องแล้ว



บทที่ 3

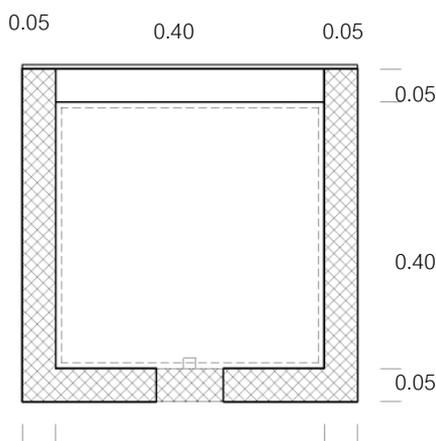
วิธีดำเนินการวิจัย

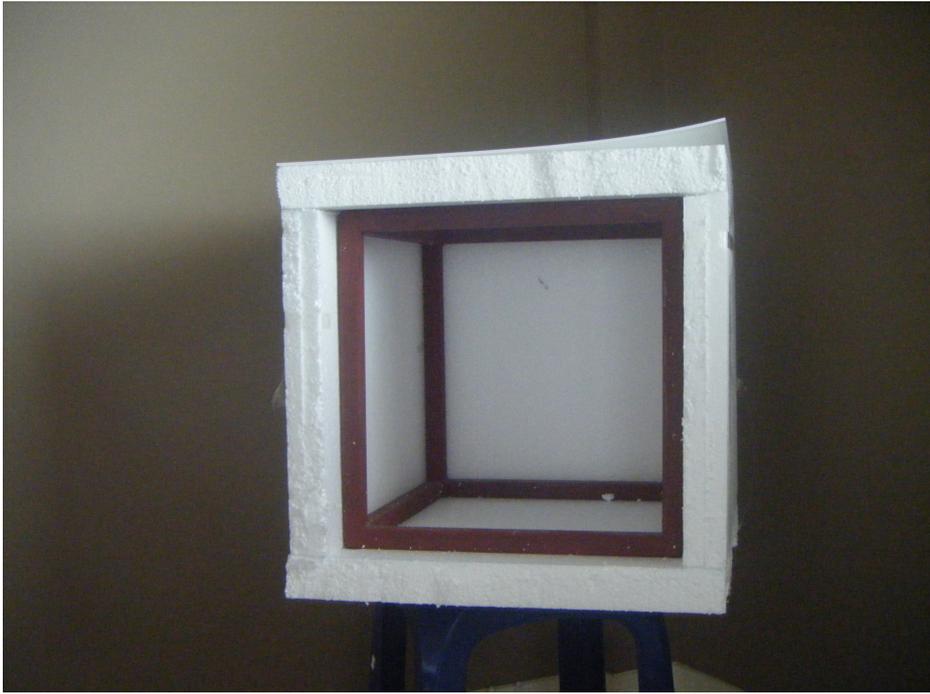
จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ รายละเอียดและรูปแบบของเปลือกอาคารส่วนต่างๆ (พื้น ผนัง หลังคา) ของเรือนไทย ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน ตลอดจนหาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารจากข้อมูลการวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วจึงทำการกำหนดแนวทางในการวิจัยโดยให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และสมมติฐานของการวิจัยได้ดังนี้

3.1 การกำหนดวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ สถานที่ทดลองและอาคารกรณีศึกษา

3.1.1 การกำหนดกล่องทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้จำลองสภาพอาคารโดยใช้กล่องทดลองที่เป็นโฟมชนิด EPS (EXPANDED POLYSTYRENE FOAM) ที่มีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ซึ่งมีค่าความต้านทานสูงเพื่อป้องกันผลกระทบภายนอกโดยมีตาข่ายไฟเบอร์กลาสหุ้มเพื่อป้องกันการแตกร้าวและเสริมความแข็งแรงให้กับกล่อง ผิวภายนอกของกล่องทดลองเคลือบด้วยวัสดุเคลือบภายนอก (ADHENSIVE BASE COAT) ผลิตภัณฑ์ของบริษัท TG ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนแดด ลม ความชื้น เมื่อเคลือบกล่องด้วยวัสดุฉนวนชนิดนี้ จะทำให้กล่องมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ช่วยป้องกันการรั่วซึมของอากาศ ระหว่างภายในและภายนอกกล่องเป็นอย่างดี จากคุณสมบัติ ดังกล่าว ทำให้สามารถที่จะควบคุมให้ผลการทดลองได้รับผลกระทบจากสิ่งที่ทำการศึกษาเท่านั้น โดยกล่องทดลองมีขนาดภายนอก 0.50x0.50x0.50 ม.ขนาดภายใน 0.40x0.40x0.40 ม.ประกอบด้วยผนัง 5 ด้าน ส่วนอีกด้านหนึ่งเจาะช่องเปิด ขนาด 0.40x0.40ม.สำหรับติดตั้ง วัสดุที่จะนำมาทดสอบ ด้านตรงข้ามช่องเปิดเจาะช่องสี่เหลี่ยมขนาด 0.10x0.10 ม. เพื่อเป็นฝาเปิดในการติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดอุณหภูมิ





- 3.1.2 การกำหนดวัสดุเปลือกอาคารที่จะนำมาใช้ในการทดลอง สำหรับเกณฑ์ที่นำมาใช้พิจารณาเพื่อกำหนดชนิดวัสดุของกล่องทดลอง ได้พิจารณาจาก
1. รูปแบบของวัสดุต่างๆที่มีความเหมาะสมกับวิธีการก่อสร้างในท้องถิ่นนั้นๆ
 2. วัสดุที่นำมาใช้สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่นนั้นๆและมีราคาที่เหมาะสมในงานก่อสร้างโดยทั่วไป
 3. คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารที่มีความสัมพันธ์กับการวิจัยครั้งนี้

3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิ อ่านค่าอุณหภูมิ และบันทึกข้อมูลของการทดสอบ



3.1.3 สถานที่ทดลอง

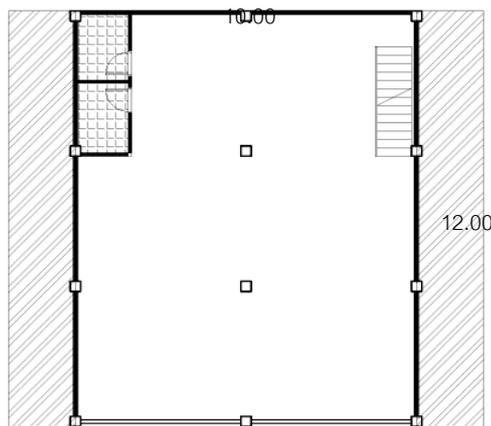
สถานที่ทดลองตั้งอยู่ที่ อ.ศาลายา จ.นครปฐม มีลักษณะเป็นที่โล่งโดยรอบ ซึ่งสามารถตั้งกล่องทดลองได้ทั้งหมดในเวลาเดียวกัน โดยกล่องทดลองแต่ละกล่องจะไม่บังแดดและลมกันเอง



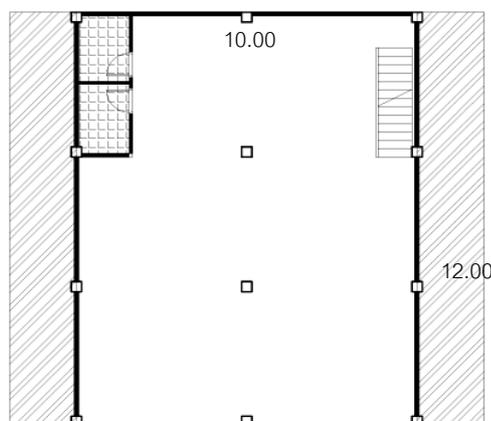
3.1.4 อาคารกรณีศึกษา

การเลือกอาคารเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการเลือกอาคารพาณิชย์-สำนักงานที่มีลักษณะภายนอกเป็นผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตเป็นส่วนใหญ่ เพื่อสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารบริเวณผนัง ภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง

อาคารกรณีศึกษาตั้งอยู่ที่ เขต วังทองหลาง กทม. โดยด้านอาคารหันไปทางทิศเหนือ ลักษณะทางสถาปัตยกรรม เป็นอาคารพาณิชย์-สำนักงาน มีความสูง 4 ชั้น โครงสร้างโดยส่วนใหญ่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีขนาด.....10.....x.....12..... เมตร มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด...480..... ตารางเมตร พื้นที่ใช้งานตั้งแต่ชั้นที่ 1- ชั้นที่ 3 เป็นส่วนของพื้นที่สำนักงาน ซึ่งมีการเปิดเครื่องปรับอากาศตั้งแต่ 8.00-18.00 น. ทุกวันจันทร์- วันศุกร์ ส่วนชั้นที่ 4 เป็นพื้นที่ส่วนเก็บของ ซึ่งไม่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศเลย



ผังอาคารชั้นที่ 1



ผังอาคารชั้นที่ 2-4



อาคารกรณีศึกษา

3.2 การเทียบมาตรฐาน (calibration) ของเครื่องมือที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิ

ก่อนที่จะทำการทดลองหรือทดสอบสมมติฐานนั้น ต้องทำการเทียบมาตรฐานของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือในข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

3.2.1 การเทียบมาตรฐานเครื่องมือที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิ

เนื่องจากแต่ละสายสัญญาณที่ใช้วัดอุณหภูมิอาจจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตและการประกอบจึงต้องทำการเทียบมาตรฐานเพื่อที่จะทำการปรับค่าตัวประกอบของแต่ละสายสัญญาณให้มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันที่สุด โดยในการเทียบมาตรฐานสายสัญญาณทั้งหมด จะทำการวัดค่าอุณหภูมิที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิของการทดลอง รวมทั้งอุณหภูมิอากาศ โดยกำหนดให้อ่านค่าทุกๆ 10 วินาทีและบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วย สมการถดถอย (regression) เพื่อหาค่าคงที่และค่าตัวประกอบของแต่ละสายสัญญาณ เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งค่าใหม่ที่เครื่องรับสัญญาณ จากนั้นจึงนำสายสัญญาณไปทดสอบวัดอุณหภูมิอีกครั้ง

3.2.2 การเทียบมาตรฐานกล่องทดลอง

หลังจากที่ทำการทดสอบเทียบมาตรฐานของเครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิ (เทอร์มิสเตอร์) จนอ่านค่าอุณหภูมิได้เท่าเทียมกันแล้ว จึงนำเทอร์มิสเตอร์ดังกล่าวมาทำการวัดอุณหภูมิของกล่องทดลองเพื่อเทียบคุณสมบัติของกล่องทดลองทุกกล่อง โดยในการทำการเทียบมาตรฐานของกล่องทดลองจะทำการปิดช่องเปิดของกล่องทุกกล่องด้วยโฟม EPS เพื่อให้ทุกกล่องมีคุณสมบัติที่เหมือนกันแล้วจึงทำการวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย เพื่อหาค่าคงที่และค่าตัวประกอบของแต่ละกล่องเพื่อปรับมาตรฐานให้ทุกกล่องมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน

3.3 หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

3.3.1 ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคาร

เนื่องจากกล่องทดลองที่ใช้ทดสอบประกอบด้วยผนัง 5 ด้าน เป็น โฟมชนิด EPS ที่มีความหนาแน่น 1.5 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ซึ่งมีค่าความต้านทานสูงเพื่อป้องกันผลกระทบจากภายนอกส่วนอีกด้านหนึ่งเจาะช่องเปิดขนาด 0.40 เมตร x 0.40 เมตร สำหรับติดตั้งวัสดุที่จะนำมาทดสอบ ดังนั้นอิทธิพลภายนอกจะมีผลต่อวัสดุที่จะนำมาทดสอบ ดังนั้นอิทธิพลภายนอกจะมีผลต่อวัสดุที่นำมาทดสอบเท่านั้น

จากสมการ

$$Q = M \cdot S \cdot T$$

โดยที่

Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคาร

M = ค่ามวลสารของกล่องและอากาศภายในกล่องทดลอง

S = ค่าความจุความร้อนของมวลสารในกล่อง

T = อุณหภูมิของอากาศภายในกล่องทดลอง

ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์ที่ว่า เมื่อมวลสารของกล่องและค่าความจุความร้อนของกล่องเท่ากันแล้ว หากมีปริมาณความร้อนที่เข้ามาในกล่องทดลอง ตัวแปรที่ส่งผลต่อปริมาณความร้อนที่เข้ามาภายในกล่องทดลองและใช้เปรียบเทียบคือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงภายในกล่องทดลองจากสมการ

$$Q = M \cdot S \cdot T$$

เมื่อมวลสารของกล่อง (M) และค่าความจุความร้อนของกล่อง (S) มีค่าคงที่จะสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ดังนี้คือ

$$Q \propto T$$

นั่นคือปริมาณความร้อนภายในกล่องทดลองจะแปรผันตามอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองจึงสามารถใช้อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเป็นตัวเปรียบเทียบปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารที่นำมาทดสอบ

3.3.2 ทิศทางการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคาร

ในการพิจารณาทิศทางการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารนั้นจะพิจารณาจากพฤติกรรมของอุณหภูมิอากาศภายนอก อุณหภูมิผิวภายนอกของเปลือกวัสดุอาคาร อุณหภูมิผิวภายในของวัสดุเปลือกอาคาร และอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองไปพร้อมๆกัน โดยพิจารณาทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน ซึ่งมีลักษณะของอิทธิพลภายนอกที่แตกต่างกัน กล่าวคือในช่วงกลางวันเปลือกอาคารจะได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอก (รังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศภายนอก) ในขณะที่ช่วงเวลากลางคืนเปลือกอาคารจะมีการสูญเสียความร้อนสู่สภาพแวดล้อมภายนอก

บทที่ 4

การทดสอบ และวิเคราะห์ คุณสมบัติ วัสดุที่เหมาะสมเพื่อการใช้งาน

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

ขั้นต้นในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้เพื่อนำมาปรับปรุงผนังอาคารได้จริง เพราะวัสดุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน รวมถึงในด้านราคา และวิธีการนำไปใช้กับอาคาร

ขั้นตอนการพิจารณาวัสดุที่เหมาะสมเพื่อการใช้งาน สำหรับปรับปรุงผนังอาคารเพื่อการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

1. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ

- 1) การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
- 2) การเปรียบเทียบทางด้านราคา
- 3) การเปรียบเทียบทางด้านการใช้งานจริง

คุณสมบัติ	ฉนวน PE FOAM	ฉนวน P.U. FOAM	ฉนวน P.S.Foam	ฉนวนใยแก้ว FIBRE CLASS
1 โครงสร้างเซลล์ (Cell Structure)	เซลล์ปิด (Closed Cell)	เซลล์กึ่งเปิด - ปิด (Semi-Closed Cell)	เซลล์เปิด (Open Cell)	เซลล์เปิด (Open Cell)
2. ความหนาแน่น (Density)	33 - 46 kg /m ³	32 - 35 kg /m ³	16 - 32 kg /m ³	19 - 32 kg /m ³
3. ค่าการนำความร้อน (Conduction)	0.030 W/mk. (Mean Temp = 25 °C)	0.028 W/mk. (not mention)	0.037 W/mk. (Mean Temp. = 20 °C)	0.042 W/mk.(16 kg /m ³) (Mean Temp = 20 °C)
4. อุณหภูมิใช้งาน (Temperature Service)	-80°C ถึง +85°C	-118°C ถึง +82°C	-180°C ถึง +85°C	200°C
5. ความทนทานต่อสารเคมี (Density)	ดีเยี่ยม (Excellent)	ไม่ดี (Poor)	ดี (Good)	ดี (Good)
6. ค่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption)	ต่ำมาก (Low)	สูง (High)	ต่ำ	สูงมาก (Very High)
7. การติดไฟ (Flammability)	ไม่ลามไฟ (Self-extinguishing)	ลามไฟ (High Flame Spread)	ติดไฟ (combustion)	ไม่ติดไฟ (Non-combustion)
8. การเกิดควันพิษเมื่อติดไฟ และปริมาณควัน (Toxicity in fire and smoke density)	ไม่มีพิษ ควันน้อย (Non toxic and low smoke density)	ปริมาณควันมาก และเป็นพิษ (Toxic and high smoke density)	มีพิษ กลิ่นเหม็น ควันน้อย (Toxic, bad smell and low smoke)	N.A. N.A.
9. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสภาพของวัสดุ	ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม คงสภาพการเซลล์ปิด และ มีความเป็นฉนวนตลอดอายุ การใช้งาน กรณีอยู่ในที่โล่ง แจ้ง ควรทาสีทับผิววัสดุ	เมื่อใช้งานไประยะหนึ่ง เนื้อโฟมจะแตกตัวเป็นรอย ทำให้น้ำซึมเข้าไปสะสม และเนื้อฉนวนจะเสื่อมสภาพ หลุดร่อน ทำให้คุณสมบัติ การเป็นฉนวนลดลงไปตาม ระยะเวลาการใช้งาน	ไม่เกิด Condensation และ Moisture ง่ายต่อการนำไปใช้	เมื่อใช้ระยะหนึ่งเส้นใยจะเริ่ม หลุดร่วงและเป็นฝุ่นละออง ฟุ้งกระจาย เมื่อสัมผัสผิวหนัง จะระคายเคือง เมื่อสูดดม จะเกิดอันตรายต่อระบบ ทางเดินหายใจ คุณสมบัติ การเป็นฉนวนจะลดลงด้วย
10. อายุการใช้งาน (Working - life)	ระยะเวลานาน 7- 10 ปี คุ้มค่ากับการพิจารณา ใช้สินค้าไม่สิ้นเปลือง ค่าใช้จ่าย ในระยะยาว	ภายในระยะเวลา 2 - 3 ปี ไม่คุ้มค่า และอาจต้องเพิ่ม ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ในระยะต่อไป	ระยะเวลานาน 7 ปีขึ้นไป	ภายในระยะเวลา 2- 3 ปี ไม่คุ้มค่า และอาจต้องเพิ่ม ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง ในระยะต่อไป

ตารางที่ เปรียบเทียบคุณสมบัติของฉนวนกันความร้อน

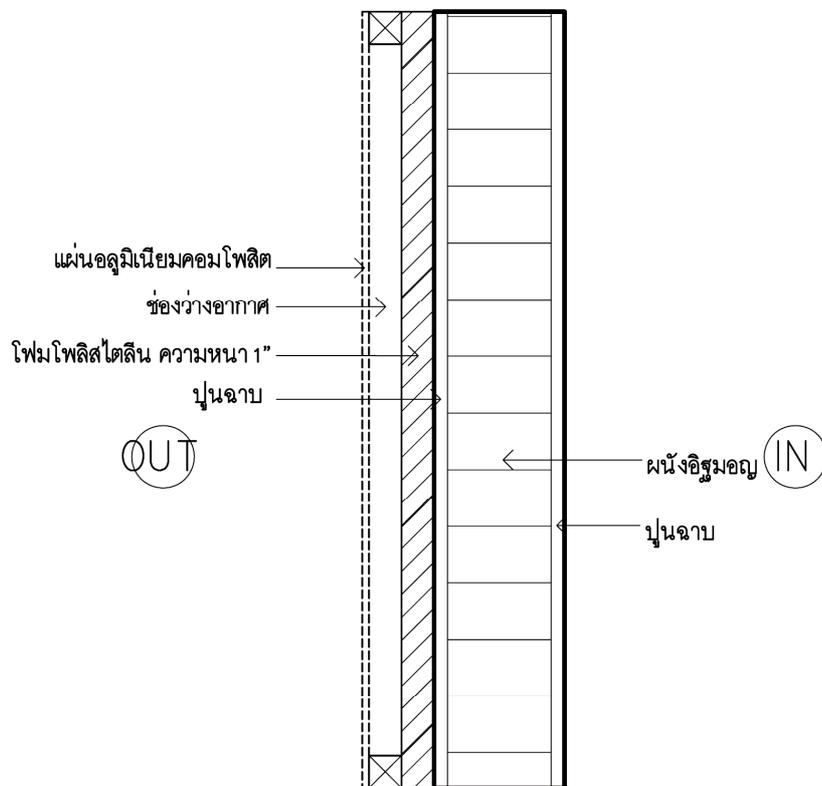
การหาคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุทางการถ่ายเทความร้อน และ ราคาของวัสดุ

1) การติดตั้งฉนวนภายนอกอาคาร

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

(exterior insulation and finish system : EIFS) : โฟมหนา 1 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	สีเคลือบสำเร็จภายนอก	0.07
(R ₃)	โฟมหนา 1 นิ้ว	4.00
(R ₄)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₅)	ปูนฉาบ	0.24
(R ₆)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ΣR)	6.04
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.165 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)



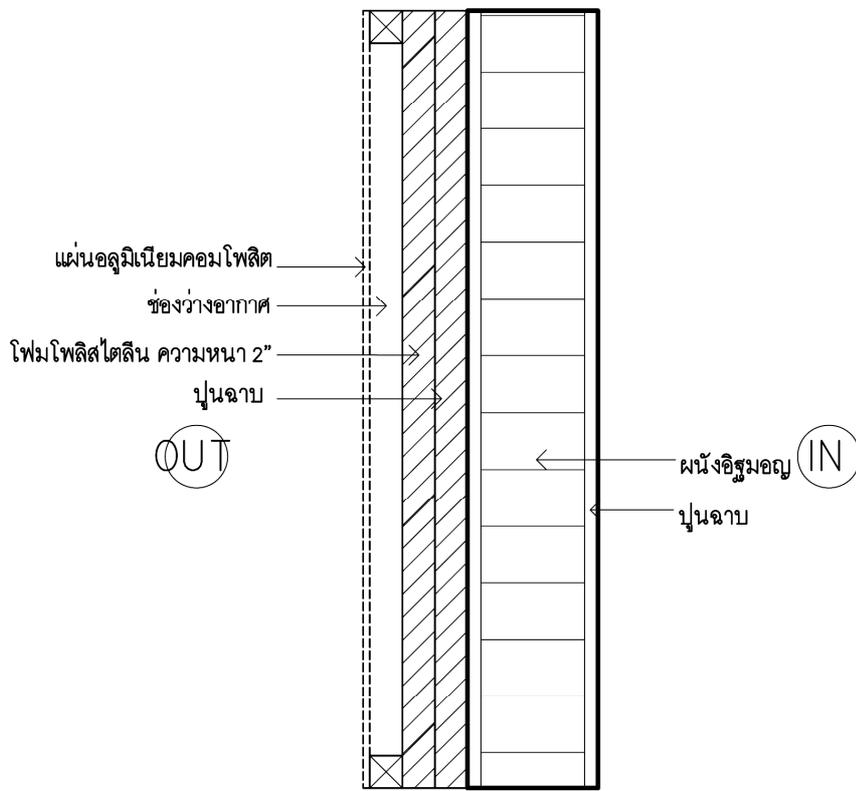
ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอิฐฉาบปูน	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
โฟมหนา 1 นิ้ว	40	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	640	

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนภายนอกสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

(exterior insulation and finish system : EIFS) : โฟมหนา 2 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	สื่เคลือบสำเร็จภายนอก	0.07
(R ₃)	โฟมหนา 2 นิ้ว	8.00
(R ₄)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₅)	ปูนฉาบ	0.24
(R ₆)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ΣR)	10.04
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.099 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)



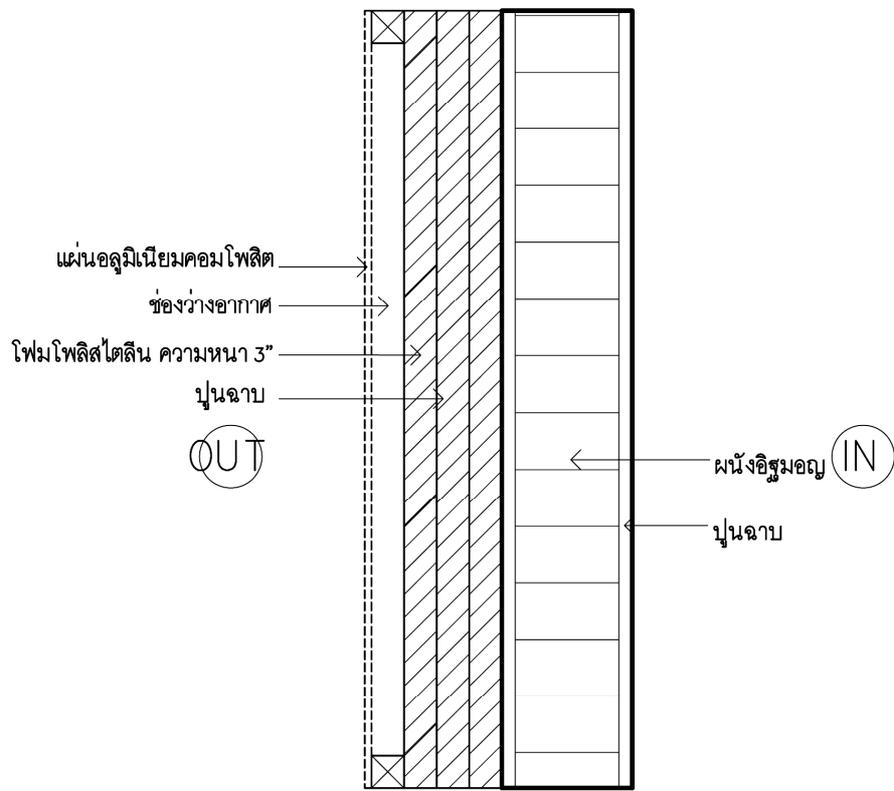
ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
โฟมหนา 2 นิ้ว	80	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	680	

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนภายนอกสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

(exterior insulation and finish system : EIFS) : โฟมหนา 3 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	สื่เคลือบสำเร็จภายนอก	0.07
(R ₃)	โฟมหนา 3 นิ้ว	12.00
(R ₄)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₅)	ปูนฉาบ	0.24
(R ₆)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ΣR)	14.04
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.071 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)



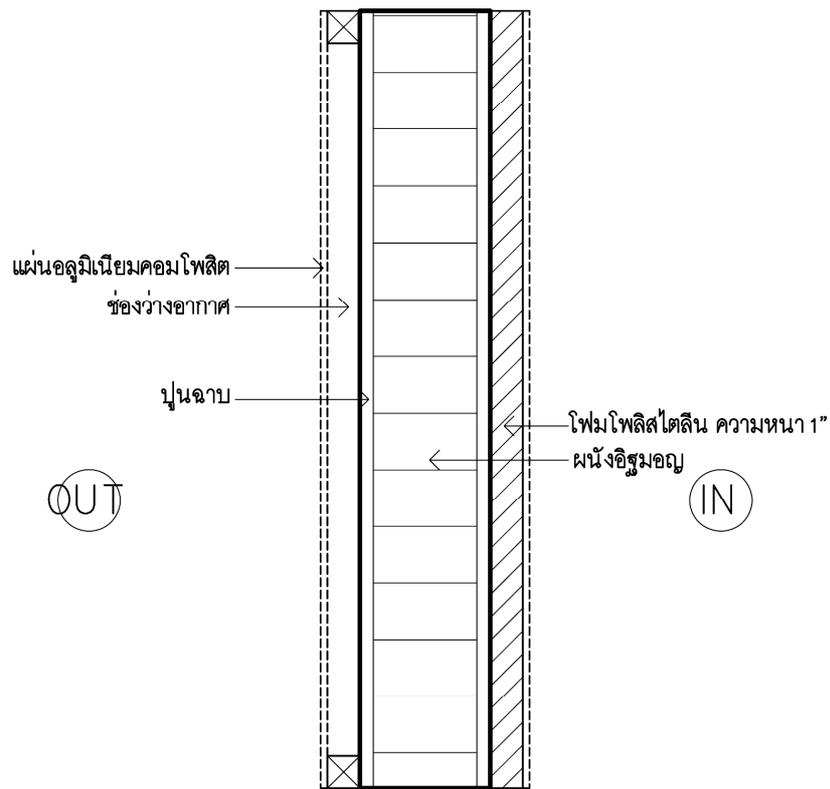
ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
โฟมหนา 2 นิ้ว	120	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	720	

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนภายในสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

(exterior insulation and finish system : EIFS) : โฟมหนา 1 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	โฟมหนา 1 นิ้ว	4.00
(R ₃)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₄)	แผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.	0.32
(R ₅)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$)	6.05
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.165 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)



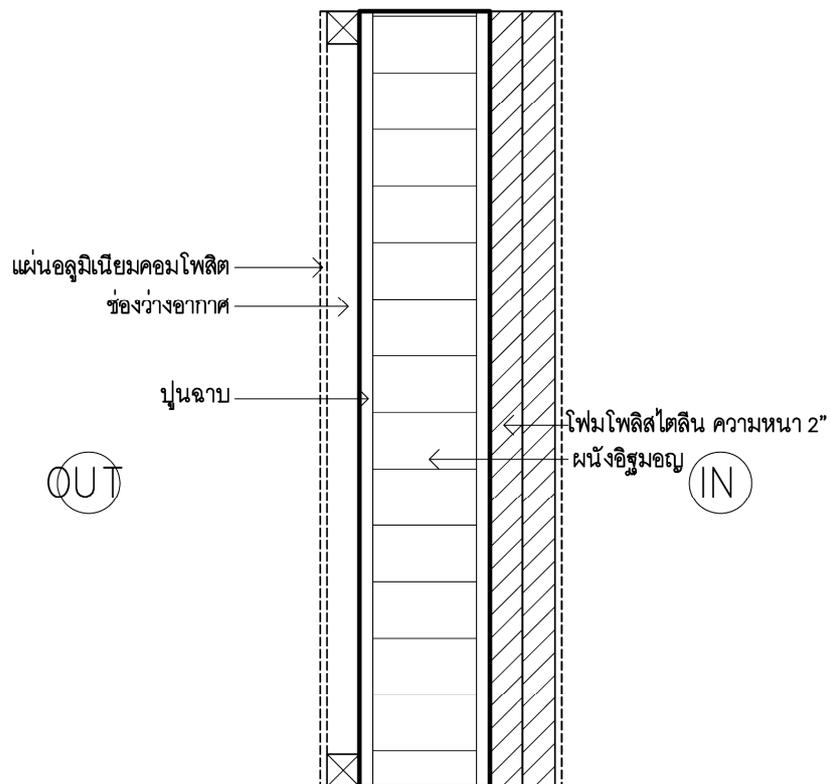
ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอนุมิเนียมคอมโพสิต	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
โฟมหนา 1 นิ้ว	40	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
ยิปซัมบอร์ด	250	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	890	

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนภายนอกสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

(exterior insulation and finish system : EIFS) : โฟมหนา 2 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	โฟมหนา 2 นิ้ว	8.00
(R ₃)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₄)	แผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.	0.32
(R ₅)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ΣR)	10.05
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.099 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)



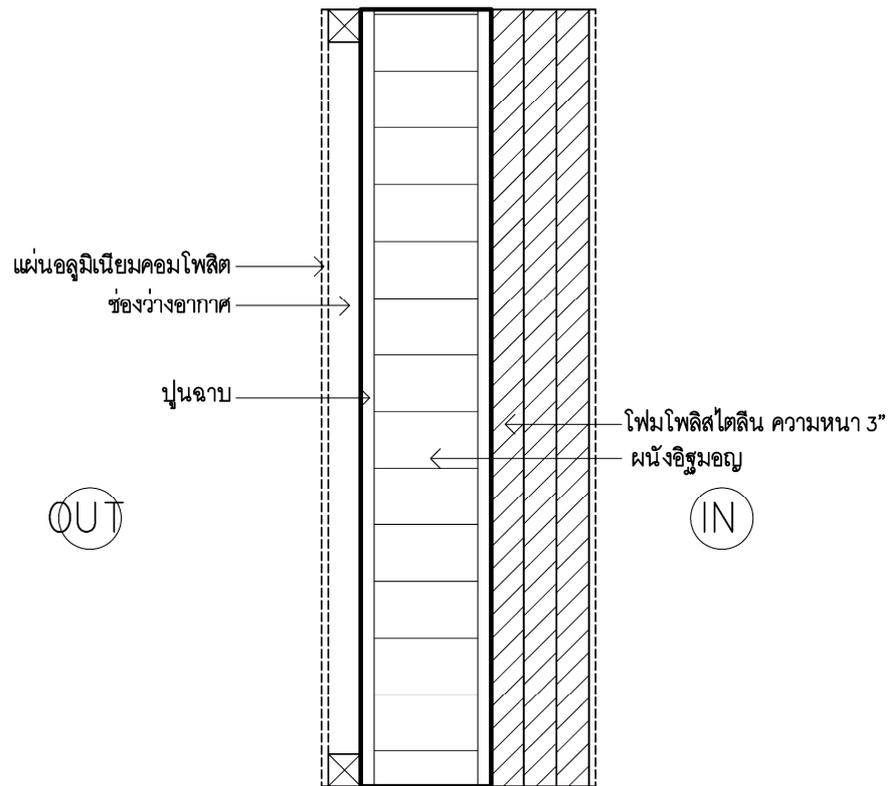
ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
โฟมหนา 2 นิ้ว	80	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
ยิปซัมบอร์ด	250	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	930	

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนภายในสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

(exterior insulation and finish system : EIFS) : โฟมหนา 3 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	โฟมหนา 3 นิ้ว	12.00
(R ₃)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₄)	แผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 มม.	0.32
(R ₅)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ΣR)	14.05
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.0711 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)



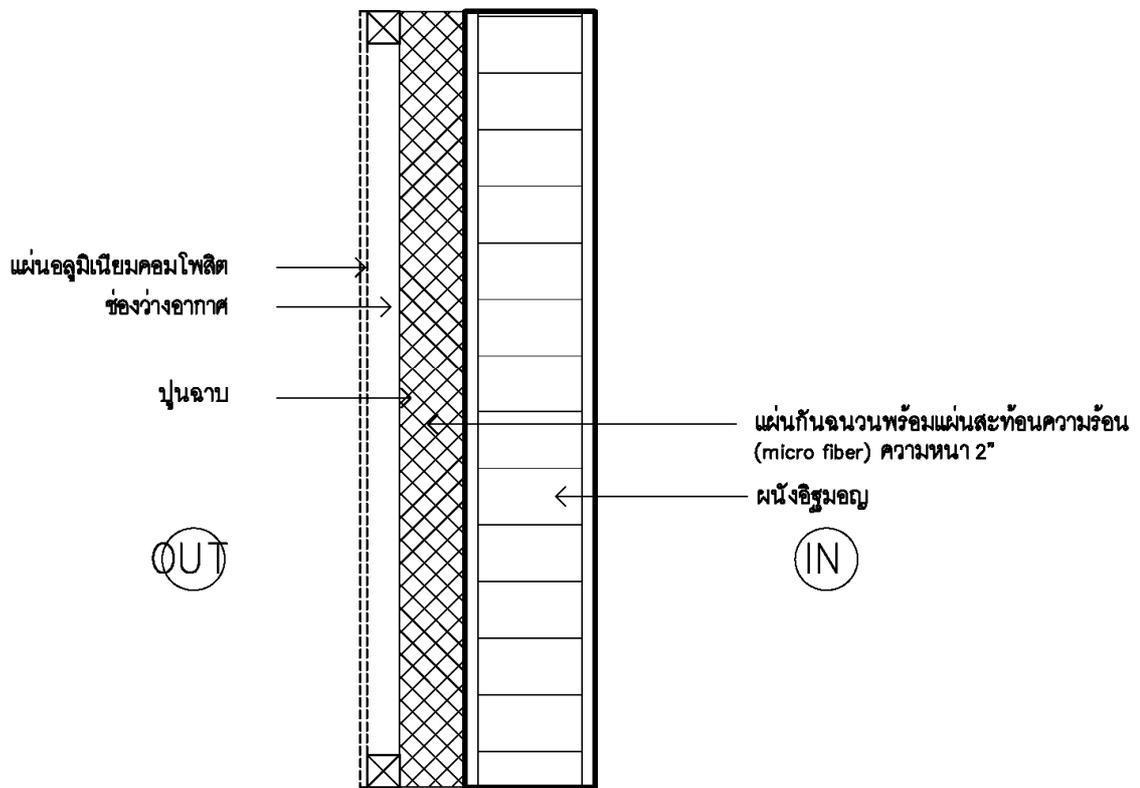
ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอนุมิเนียมคอมโพสิต	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
โฟมหนา 3 นิ้ว	120	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
ยิปซัมบอร์ด	250	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	970	

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนภายนอกสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

(exterior insulation and finish system : EIFS) : ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	สื่เคลือบสำเร็จภายนอก	0.07
(R ₃)	ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	7.8
(R ₄)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₅)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม ($\sum R$)	9.6
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.104 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)

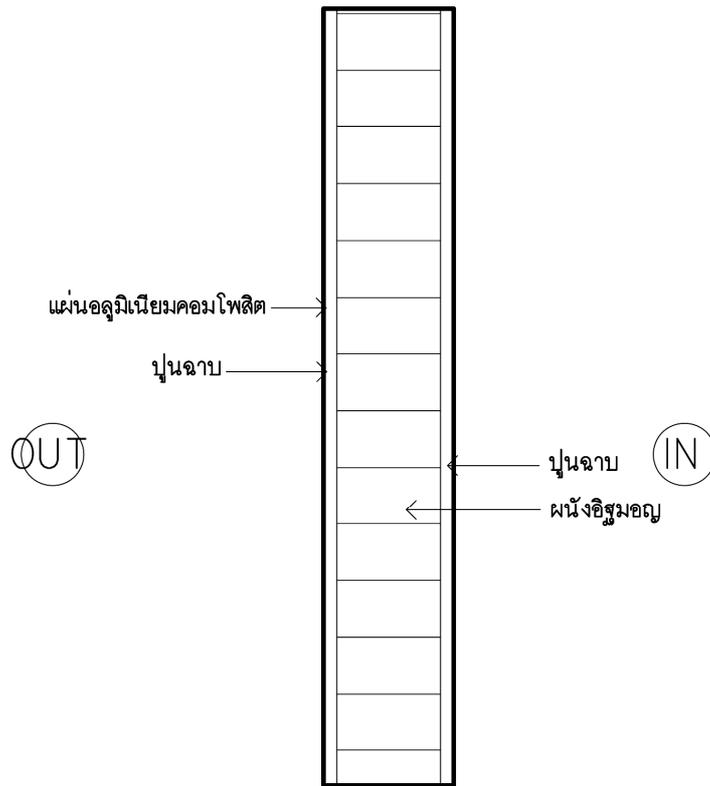


ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	80	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	680	

ระบบผนังภายนอกกับฉนวนภายนอกสำเร็จ กับ ผนังก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว

	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน (hr.sq.ft. ⁰ F/BTU)
(R ₀)	แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	0.35
(R ₁)	ฟิล์มอากาศภายนอก	0.25
(R ₂)	สื่เคลือบสำเร็จภายนอก	0.07
(R ₃)	ผนังก่ออิฐฉาบปูนหนา 4 นิ้ว	0.45
(R ₄)	ปูนฉาบ	0.32
(R ₅)	ฟิล์มอากาศภายใน	0.68
	ค่าความต้านทานความร้อนรวม (ΣR)	2.12
	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)	0.471 BTU/hr.sq.ft. ⁰ F(1.00W/m ² K)



ราคาของวัสดุ

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ (ต่อตารางเมตร)	หมายเหตุ
แผ่นอลูมิเนียมคอมโพสิต	600	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
ปูนฉาบภายใน	120	รวมค่าวัสดุและค่าติดตั้ง
รวม	720	

ตารางสรุปคุณสมบัติของวัสดุทางการทำความร้อน กับ ราคาวัสดุ

ลำดับ	ชนิดวัสดุ	ค่าความต้านทาน ความร้อนรวม (ΣR)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ถ่ายเทความร้อน (U)	ราคาวัสดุ
1	ติดตั้งโฝมหนา 1 นิ้วภายนอก	6.04	0.165	640
2	ติดตั้งโฝมหนา 2 นิ้วภายนอก	10.04	0.099	680
3	ติดตั้งโฝมหนา 3 นิ้วภายนอก	14.04	0.071	720
4	ติดตั้งโฝมหนา 1 นิ้วภายใน	6.05	0.165	890
5	ติดตั้งโฝมหนา 2 นิ้วภายใน	10.05	0.099	930
6	ติดตั้งโฝมหนา 3 นิ้วภายใน	14.05	0.0711	970
7	ติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว	9.6	0.104	680
8	ผนังอิฐมวลเบาปูน	2.12	0.471	720

จากตารางข้างต้น จะพบว่าผนังแต่ละชนิดจะคุณสมบัติค่าความต้านทานความร้อนรวมต่างกัน โดยเห็นว่าผนังที่ติดตั้งโฝมทั้งภายในและภายนอกจะมีค่ามากขึ้นตามขนาดความหนาของโฝมที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของขนาดโฝมจะพบว่าโฝมขนาด 2 นิ้วที่ติดตั้งภายนอกผนังจะมีความเหมาะสมกับวิธีการก่อสร้างเพราะจะมีขนาดที่ง่ายต่อการติดตั้งกับโครงเคร่าของผนังอิฐมวลเบาโพลิต ประกอบกับราคาวัสดุที่ราคาถูกลงกว่าผนังโฝมที่ติดตั้งภายใน

ส่วนผนังที่ติดตั้งฉนวนใยแก้วจะค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 9.6 (hr.sq.ft.⁰F/BTU) ซึ่งใกล้เคียงกับผนังที่ติดตั้งโฝมขนาด 2 นิ้ว ที่มีค่าความต้านทานความร้อนรวมเท่ากับ 10.05 (hr.sq.ft.⁰F/BTU) และเมื่อพิจารณาในเรื่องของราคาวัสดุจะพบว่าทั้งผนังที่ติดตั้งโฝมขนาด 2 นิ้ว และ ฉนวนใยแก้ว จะมีราคา

ใกล้เคียงกัน ส่วนผนังอิฐมวลเบาปูนจะมีค่าความต้านทานความร้อนรวมน้อยสุด แต่จะมีราคาวัสดุที่ต่ำกว่า วัสดุผนังชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปเป็นที่นิยมใช้ติดตั้งผนังอลูมิเนียมคอมโพสิตเพราะง่ายต่อการติดตั้ง

ดังนั้นชนิดวัสดุที่มีความเหมาะสมในการนำมาทดลองเมื่อทดสอบคุณสมบัติทางด้านการต้านทาน ความร้อน จึงเลือก ผนังที่ติดตั้งโฟมขนาด 2 นิ้วภายนอก , ผนังที่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วภายนอก และ ผนังก่อ อิฐมวล

IDPK

Material	Heat Capacity per Volume (btu / ft ³ · °F)
Water	62.4
Steel	59
Wood	26
Brick	25
Concrete (Stone)	22
Foam insulation	1
Air	0.02

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจ

ในการสำรวจเก็บข้อมูลในอาคารกรณีศึกษา เพื่อต้องการทราบค่าการต้านทานความร้อนของผนังอาคารกรณีศึกษาในสภาพแวดล้อมจริง รวมถึงปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารในแต่ละช่วงเวลา โดยอาศัยหลักการคำนวณ และวิเคราะห์สูตรตามหลักทฤษฎี ดังนี้

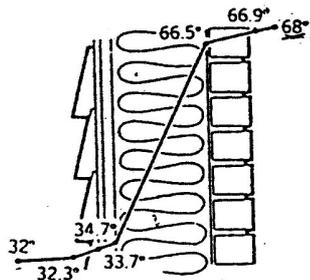
1. การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากสูตร โดยคำนวณค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ จากตาราง

$$U = 1/\sum R$$

2. หลักการ thermal gradient ที่ใช้หาค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างเชิงวัสดุที่ประกอบเป็นผนัง มาใช้หาค่าความต้านทานรวม ดังรูปภาพข้างล่าง ที่แสดงการหาค่าอุณหภูมิผิวภายในโครงสร้างจากการคิดคำนวณ เมื่อเราทราบค่าของอุณหภูมิอากาศภายในกับภายนอก และค่า $\sum R$ จากการเปิดตาราง

โดยสามารถแสดงในรูปสมการได้ดังนี้

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



R	Component	$\sum R$ from Interior	Temperature Drop from Interior (F°)	Temperature at Outer Edge of Component (F)
0.68	Inside air layer	0.68	$0.68/21.46 \times 36 = 1.1$	66.9
0.20	Common brick	0.88	$0.88/21.46 \times 36 = 1.5$	66.5
19.00	Nominal 6-in. insulation	19.88	$19.88/21.46 \times 36 = 33.3$	34.7
0.62	1/2-in. Plywood	20.5	$20.5/21.46 \times 36 = 34.3$	33.7
0.79	1-in. Wood siding	21.29	$21.29/21.46 \times 36 = 35.7$	32.3
0.17	Outside air	21.46		32

Procedure for calculating the thermal gradient through construction. Assume that outside and inside temperatures are 32 and 68 F (0 and 20°C): $\Delta t = 68 - 32 = 36F^\circ$.

จากสมการข้างต้น $= 0.68/21.46 \times 36 = 1.1$

จากหลักการ สามารถนำมาประยุกต์หาค่า $\sum R$ ได้ โดยการวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายใน ในสภาพแวดล้อมจริง และ อุณหภูมิผิวภายนอกและภายในสามารถคำนวณจาก U

การหาค่า U โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณความร้อนที่หาได้จาก 2 ค่า คือ

$$\text{สูตร } Q = U \cdot A \cdot CLTD$$

โดยค่า CLTD มาจากตารางค่า CLTD ตามกลุ่มของประเภทผนังและตำแหน่ง latitude month (จาก ตาราง)

$$\text{สูตร } Q = h_i \cdot A \cdot \Delta T$$

โดย $h_i =$ ฟิล์มอากาศที่ผิวภายใน

$\Delta T =$ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในกับอุณหภูมิห้อง

นำค่า Q จากข้อ 3.1 และ 3.2 มาเทียบเท่ากันเพื่อหาค่า U ดังนี้

$$U = (h_i \cdot \Delta T) / CLTD$$

การหาปริมาณความร้อน จากภายนอกถ่ายเทผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร

จากการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนจากข้อ 3.1 ข้างต้น

$$Q = U \cdot A \cdot CLTD$$

เป็นสูตรที่ใช้วัดค่าความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในช่วงเวลาต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลง (solar time) และผ่านการหน่วงเวลาของวัสดุ (time lag) ถ่ายเทผ่านอากาศเข้ามาภายในห้อง เป็นภาระทำความเย็น ซึ่งจะแตกต่างจากสูตร

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

ที่ในทางทฤษฎีเป็นการคำนวณจากวัสดุภายใต้สภาวะอุณหภูมิคงที่ (steady state) ไม่มีเงื่อนไขของความเปลี่ยนแปลงเวลา และการหน่วงเวลา

ดังนั้นในที่นี้จึงพยายามใช้ค่า $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ คำนวณจากวัสดุภายใต้สภาวะ
ใกล้เคียงอุณหภูมิคงที่ (steady state) มากที่สุด โดย $\Delta T =$ อุณหภูมิที่ผิววัสดุภายในลบ ด้วย อุณหภูมิภายใน
ห้อง และค่า $U =$ air film resistanc ซึ่งจะให้ค่า Q ใกล้เคียงกับ $Q = U \cdot A \cdot CLTD$ เป็น ค่าภาระการทำความเย็น
ของเครื่องปรับอากาศ

ความเป็นมาของระบบผนังภายนอกกันความร้อนสำเร็จ (EIFS)

ระบบผนังภายนอกกันความร้อนสำเร็จ (exterior insulation and finish system)

ซึ่งใช้ชื่อย่อว่า EIFS เป็นระบบผนังที่มีมานานแล้ว มีหลักฐานว่าเริ่มต้นในประเทศเยอรมันนี้ แล้วกระจายไปในแถบยุโรปเมื่อราว 30 ปี เศษมาแล้ว โดยที่มันระยะแรกใช้สำหรับห่อหุ้มผนังอิฐหรือผนังก่ออิฐฉาบปูนภายนอก เพื่อกันการแตกร้าวและใช้เป็นฉนวนกันความร้อน และความหนาวให้กับอาคาร ต่อมาได้แพร่เข้าไปในเกือบทุกมุมโลก และได้เข้าไปในสหรัฐอเมริการาวปลายปี 1969 จนได้รับความนิยมนิยมสูงมากในราวปี 1974 ซึ่งเป็นตอนที่โลกในแถบตะวันตก ให้ความสำคัญเกี่ยวกับ การประหยัดพลังงานอย่างมาก เนื่องจากพลังงานมีราคาแพง ดังนั้น ระบบผนัง EIFS จึงเป็นที่นิยมติดตตั้งกันอย่างแพร่หลายมาก เพราะนอกจากจะมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนและความชื้นแล้ว ยังมีคุณสมบัติด้านอื่นๆอีกหลายประการ

คุณสมบัติพิเศษของผนังระบบ EIFS

- ใช้เป็นผนังกันความร้อน ได้ดีเยี่ยม มีความเหมาะสมอย่างยิ่งกับประเทศในแถบร้อนชื้น คุณสมบัติในการกันความร้อน สามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มหรือลดขนาดความหนาของโฟม ซึ่งโดยทั่วไปสำหรับประเทศไทยนิยมใช้ขนาดความหนาดั้งแต่ 2 นิ้ว ขึ้นไป ซึ่งมีความเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน โดยมีความสามารถในการป้องกันความร้อน ได้ดีกว่าผนังอิฐฉาบปูนทั่วไปอย่างน้อย 40%
- ใช้เป็นผนังรับน้ำหนัก (load bearing wall) เนื่องจากโครงสร้างทั่วไป เป็นโครงเหล็กชุบสังกะสีภายใน จึงสามารถออกแบบเป็นผนังรับน้ำหนักได้ โดยที่สามารถประหยัดต้นทุนการก่อสร้างหากออกแบบอย่างถูกต้อง ผนังระบบนี้สามารถออกแบบให้รับน้ำหนักได้ถึง 4 ชั้น โดยปราศจากเสา และ คาน ทำให้มีพื้นที่ใช้สอยภายในกว้างขึ้น
- ใช้เป็นผนังสำเร็จรูป (prefabrication) มีความเหมาะสมกับอาคารสูง หรือ อาคารที่ต้องการให้พนักงานก่อสร้างแล้วเสร็จอย่างรวดเร็ว โดยสามารถควบคุมคุณภาพได้ เพราะเป็นระบบที่ผลิตมาจากโรงงาน ตัวผนังจะมีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ลดแทนทานต่อการสิ้นเปลืองได้ดี โดยไม่แตกร้าว

- ใช้กันความชื้น ระบบผนัง EIFS จะช่วยป้องกันความชื้นที่จะซึมผ่านผนังอาคาร จากภายนอกเข้าสู่ภายในลดปัญหาเรื่อง condensation ภายในผนัง ซึ่งจะก่อให้เกิดอาการของอาคารทั้งภายในและภายนอกยังคงสภาพเดิมได้มากที่สุด
- ในกรณีอาคารเก่า นั้นสามารถนำระบบผนัง EIFS มาห่อหุ้มผนังเดิมบริเวณภายนอกได้ เพื่อป้องกันความร้อน และ ความชื้นให้กับอาคาร ซึ่งประเทศไทยมักมีปัญหาเกี่ยวกับความชื้นภายนอกที่เข้าสู่ภายในมากกว่าประเทศในแถบเมืองหนาว
- ใช้ในการตกแต่งและเพิ่มลวดลายต่างๆ ให้กับอาคาร ส่วนประกอบสำคัญของผนัง EIFS นั้น คือ โฟมชนิดพิเศษที่มีส่วนผสมของสารกันไฟลาม อดจะสามารถเลือกความหนาต่างๆ เพื่อ การตกแต่งวัสดุปิดผิวภายนอกของผนังอาคารให้เป็นลวดลายต่างๆตามการออกแบบ
- น้ำหนักเบา ผนังระบบ EIFS จะมีน้ำหนักค่อนข้างเบา เพียงประมาณ 35-60 กก.ต่อ ตารางเมตร เท่านั้น ทำให้ช่วยประหยัดค่าโครงสร้างของเสาและคาน ตลอดจนระบบฐานรากอาคาร ซึ่งสามารถนำไปใช้กับงานต่อเติมอาคารในส่วนต่างๆ ได้ เช่นกัน อาทิ การตกแต่งแผงหน้าร้านร้านค้า เป็นต้น โดยจะไม่กระทบต่อระบบโครงสร้างเดิมของอาคาร
- ความทนทานและความแข็งแรง ส่วนประกอบของระบบผนัง EIFS จะมีตาข่าย ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นของ best coat และ finish coat จึงทำให้ไม่เกิดร้าว 100% นอกจากนี้ยังทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งได้ผ่านการทดสอบความสามารถในการทนทานต่อการขีดสี และกรป้องกันเชื้อรา จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ท้ามห้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาพื้นผิวของผนัง
- การป้องกันความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในผนังเย็นกว่าระบบผนังก่ออิฐฉาบปูน โดยทั่วไปมาก นอกจากจะช่วยให้เรื่องประหยัดพลังงานในการปรับอากาศภายในอาคารแล้ว ยังไม่มีการแผ่รังสีความร้อนสู่ภายนอก ทำให้เกิดสภาวะน่าสบายกับผู้อยู่อาศัยภายในอาคาร
- การติดตั้งรวดเร็ว ในขั้นตอนการติดตั้งจะใช้เวลาน้อยกว่าระบบผนัง โดยทั่วไปมาก ทำให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายต่างๆ สำหรับโครงการที่มีระยะเวลาก่อสร้างอันสั้น
- ติดตั้งโดยทีมงานมืออาชีพ เนื่องจากระบบผนัง EIFS

โครงเหล็กชุบสังกะสี

คุณสมบัติโดยทั่วไป

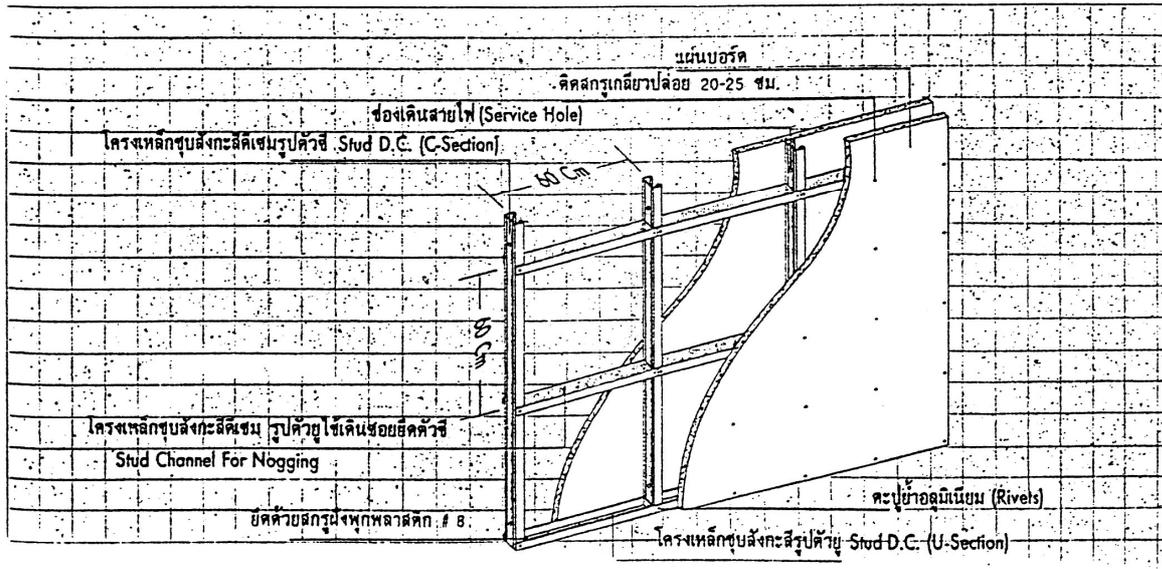
- มีความแข็งแรงทนทาน เป็นระบบโครงเคร่าที่ช่วยป้องกันผนังแตกร้าว หรือบิดงอ อันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนของ โครงสร้างอาคาร
- สามารถประกอบเข้ากับวงกบเหล็ก ไม้ หรือ อลูมิเนียมได้ รับน้ำหนักผู้ขึ้นลอยได้ดี
- มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย สะดวกรวดเร็ว
- ทนไฟ
- ปลอดภัย จาก ปลวก แมลง ต่างๆ
- ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าวัสดุ เนื่องจากสามารถทำงานได้ง่ายกว่าระบบอื่นๆ เช่น ไม้ หรือ อลูมิเนียม

คุณสมบัติทางวิศวกรรม

สามารถใช้ลักษณะของงานได้หลากหลายประเภทเช่น ผนังกันห้อง , ฝ้าเพดาน , แปะหลังคา และ โครงสร้างอื่นๆ ตามความเหมาะสม ฉะนั้นคุณสมบัติทางวิศวกรรมจึงขึ้นกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น แผ่นเรียบที่นำมาติดตั้งระยะห่างของจุดเดินแนว , ระยะห่างของจุด และความแข็งแรงของคอนกรีตที่ใช้ยึดเป็นต้น ได้มาทดสอบการรับน้ำหนักขนาดติดตั้ง 1.20 ม. x 0.60 ม. และมีระยะยึดฝ้าทุกๆ ระยะ 60 ซม. ด้วยพุกพลาสติกเบอร์ 7 (fixer no .7) สกรูเบอร์ 8 ยาว 1 1/4” สามารถรับน้ำหนักเฉลี่ยปูนซีเมนต์ได้อย่างน้อย 150 กิโลกรัม ในกรณีที่ต้องการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นให้เพื่อขนาดของพุกตามมาตรฐานสากล หรือ ที่ทดสอบ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ

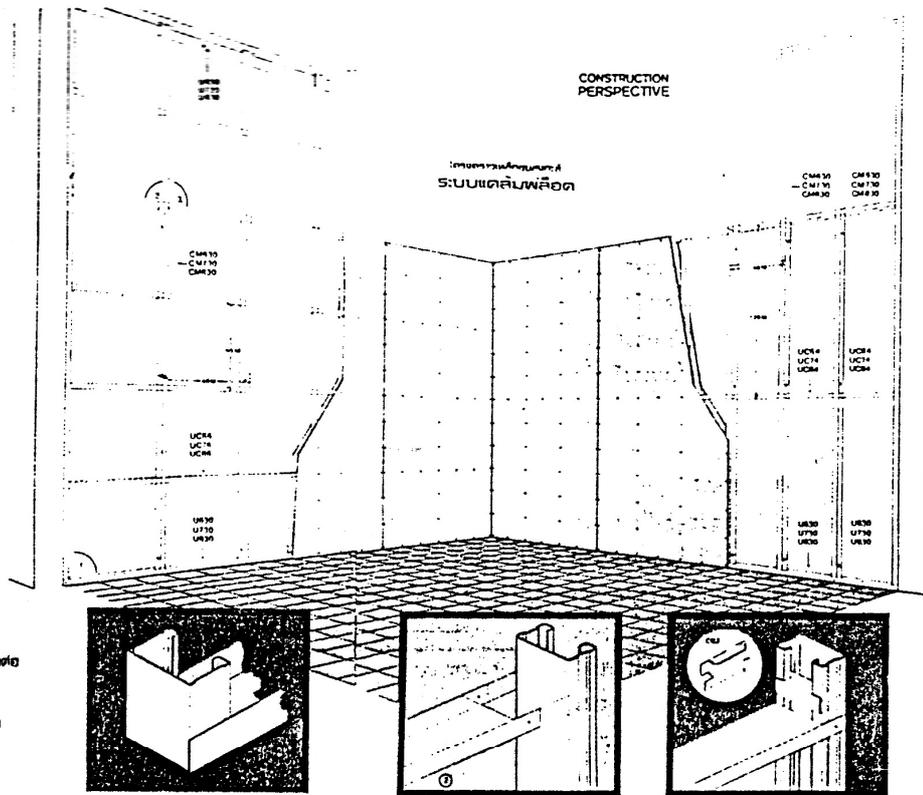
วิธีการติดตั้ง

ใช้โครงเคร่ารองวางตามแนวเส้นที่ต้องการทั้งแนวนอน ยึดด้วยพุกพลาสติก #8 และสกรูเกลียวปล่อย #10x1 1/2" พร้อมรองแหวนอลูมิเนียมทุกๆระยะ 80 ซม.





- โครงคานเหล็กของระบบ
ระบบเดคพื้นเหล็ก
1. โครงคานเหล็ก ยาวตลอดไม่มีรอยต่อ
เชิงระนาบหน้า บดรอย
 2. เหนือหน้าคานยาวไม่ถึง 2 ฟุต
 3. ระยะกวาง รวดเร็ว ง่ายต่อการติดตั้ง
 4. ราคาประหยัด คุณภาพการขนส่ง



ราคาโครงคานเหล็กสำหรับผนังห้อง (Metal Stud)

รายการ	รหัส	หน่วย	ความยาว/หน่วย	ราคา/หน่วย
ค้ำ C เส้นตรง (MAIN LINE)	C 630	เส้น	6 ซม. X 3 ม.	77.00
	C 730	เส้น	7 ซม. X 3 ม.	88.00
	C 830	เส้น	8 ซม. X 3 ม.	99.00
ค้ำ U วางระดับ (U LINE)	U 630	เส้น	6 ซม. X 3 ม.	59.00
	U 730	เส้น	7 ซม. X 3 ม.	66.00
	U 830	เส้น	8 ซม. X 3 ม.	72.75
ค้ำ C เส้นขวาง (CROSS LINE)	C 64	เส้น	6 X 40 ซม.	9.50
	C 74	เส้น	7 X 40 ซม.	10.50
	C 84	เส้น	8 X 40 ซม.	12.25
	C 68	เส้น	6 X 60 ซม.	13.25
	C 78	เส้น	7 X 60 ซม.	15.00
	C 88	เส้น	8 X 60 ซม.	16.50
ค้ำค้ำวางค้ำ C	C 878	กล่อง	50 ค้ำ/กล่อง	88.00

เดินโครงเคร่ารองขนาด 60 ซม. ติดตั้งให้ได้ฉากกับโครงเคร่าหลักทุกๆระยะ 60 ซม. ยึดติดกับโครงเคร่าหลักด้วยรีเวต #4-1 ทั้งสองข้าง ยึดแผ่นบอร์ดกับโครงเคร่าหลักและโครงเคร่ารองด้วยสกรูเกลียวปล่อย #6 x 1" DW ทุกๆระยะ 20 -25 ซม.

ฉนวนใยแก้ว (glass fiber)

ฉนวนใยแก้วผลิตขึ้นมาจากการปั่นก้อนแก้วแข็งด้วยกรรป็นจนเป็นเส้นเกลียวบาง ฉนวนชนิดนี้ผลิตออกมาในลักษณะหลายรูปแบบ เช่น แบบลูสฟิลล์ แบบแผ่นอัด และ แบบเส้นใยอัดเป็นแผ่นหรือแบบคลุมหรือห่ม

ฉนวนแบบเส้นใยอัดเป็นแผ่นหรือแบบคลุมหรือห่ม โดยทั่วไปจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 9.60 – 16.02 kg./ m³ และเนื่องจากความยาวของเส้นใยที่ยาว จึงทำให้มีค่าความต้านทานความร้อนอยู่ประมาณ 22.4 K/W

สำหรับเส้นใยแบบลูสฟิลล์ มีลักษณะการไม่เป็ฉนวนใยแก้วแล้วอัดเป็นแผ่น จึงทำให้ชนิดนี้มีค่าความต้านทานความร้อนอยู่ประมาณ 19.84 K/W ทั้งสองแบบนี้จะสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่า 180 perm-cm แต่การดูดซึมน้ำเก็บไว้มีค่าน้อยกว่า 1%

เนื่องจากใยแก้ว เป็นสารอนินทรีย์ จึงเป็นวัสดุที่ไม่ลุกไฟ อย่างไรก็ตามสารประสานอินทรีย์ภายในใยแก้วนั้นสามารถลุกไฟได้ ดังนั้นตัวประสาน ASTM E-84 จึงกำหนดให้มีคุณสมบัติดังนี้

- ระดับการกระจายของเปลวไฟ มีค่าประมาณ 15-20
- ระดับการมีส่วนเป็นเชื้อเพลิง มีค่าประมาณ 5-15
- ระดับการเกิดควัน มีค่าประมาณ 0-20

และเนื่องจากผิวหน้าเป็นบริเวณที่สามารถลุกไหม้ได้ การติดตั้งจึงไม่สามารถหันเข้าหาเปลวไฟหรืออุณหภูมิที่เกินกว่า 80 °C ซึ่งการลุกไหม้ของผิวหน้าใยแก้ว จะทำให้เกิดควันที่เป็นอันตรายได้

ฉนวนใยแก้วแบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น ไม่ปรากฏว่ามีการยุบตัวหรือหดตัวตามอายุการใช้งาน อย่างไรก็ตามแบบลูสฟิลล์อาจมีการยุบตัวได้ หากใช้ฉนวนที่ความหนาแน่นต่ำกว่าข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต ส่วนคุณสมบัติของวัสดุด้านอื่นๆ เช่น สมรรถนะทางความร้อน และสภาพต้านทานความไฟไหม้ ไม่มีผลกระทบต่ออัน

เนื่องจากอายุการใช้งานและอุณหภูมิอากาศ นอกจากนี้ฉนวนใยแก้วไม่ส่งเสริมให้แบคทีเรียหรือฟังไจเจริญเติบโต และไม่เป็นอาหารของสัตว์ใดๆ รวมทั้งไม่มีสภาวะกักคร่อนวัสดุที่ห่อหุ้ม และไม่ส่งกลิ่นที่รบกวนภายนอก

สำหรับฉนวนใยแก้วแบบแผ่นอัด ที่ผลิตขึ้นมา มีหลากหลายคุณสมบัติขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นรากฐาน และเปอร์เซ็นต์ของใยแก้วที่ผสมอยู่ สำหรับชนิดที่มีความหนาแน่นประมาณ 64.0 kg./m^3 จะมีค่าต้านทานความร้อนประมาณ 27.8 19.84 K/W

การประยุกต์การใช้งานของฉนวนใยแก้ว โดยทั่วไปจะใช้งานเป็นฉนวนหลังคาอาคาร ผนัง พื้น ห้องใต้ดิน ติก และ ระบบท่อ นอกจากนี้ยังใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรมด้วย เช่น เป็น ฉนวนหุ้มถังเก็บ ระบบเชิงกล และ ระบบท่อส่งลม เป็นต้น

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม (polystyrene foam)

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟม มี 2 รูปแบบ คือ แบบโฟมอัดรีด (extruded) และแบบโฟมหล่อ (molded) โฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการอัดรีด จะมีความหนาแน่นบรรจุมากกว่า และสามารถทนแรงกดและแรงดึงได้มากกว่าโฟมที่ผลิตด้วยกระบวนการแบบหล่อ ความหนาแน่นของโฟมแบบอัดรีด จะมีค่าประมาณ $28.84 - 41.65 \text{ kg./m}^3$ มีค่านำความร้อนประมาณ 0.017 w/m.k อย่างไรก็ตามถ้ามีอากาศซึมผ่านเข้าไปในโฟมจะทำให้ค่านำความร้อนเพิ่มอีก 0.029 w/m.k แต่โดยปกติจะเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ สำหรับสภาพการซึมเข้าไปได้ของไอน้ำของโฟมแบบนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง $1.08 - 1.62 \text{ perm-cm}$ ส่วนการดูดซึมน้ำจะอยู่ระหว่าง $0.5 - 0.7 \%$

สำหรับฉนวนโพลีสไตรีนโฟม แบบโฟมหล่อ จะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง $16.0 - 24 \text{ kg./m}^3$ แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตอาจทำให้มีค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 10% ซึ่งค่านำความร้อนของวัสดุชนิดนี้จะมีค่าเป็นสัดส่วนตรงกับความหนาแน่น ซึ่งจะมีค่าประมาณ $0.033 - 0.037 \text{ kg./m}^3$ โดยค่านี้จะไม่เปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งาน ซึ่งจะเห็นว่าค่านำความร้อนของโฟมหล่อจะมีค่ามากกว่าแบบอัดรีด ทั้งนี้เนื่องจาก โฟมหล่อจะมีอากาศภายในเซลล์ฉนวน แต่โฟมแบบอัดรีดจะมีส่วนผสมของอากาศและก๊าซฟลูโอโลคาร์บอน ส่วนค่าของไอน้ำที่ซึมผ่านเข้าไปภายในโฟมแบบหล่อ มีค่าประมาณ $2.16 - 5.4 \text{ perm-cm}$ และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าน้อยกว่า 4%

คุณสมบัติอื่นๆ ของฉนวนโพลีสไตรีนโฟม จะไม่ขึ้นกับกระบวนการผลิต แต่สามารถถูกไฟได้ ดังนั้นจึงต้องมีเปลือกห่อหุ้มเพื่อป้องกันไฟ เช่น ยิบซัมบอร์ด นอกจากนี้ ยังต้องป้องกันผลกระทบจากรังสีอุล

ตราไวโอเล็ต โดยตรงด้วย เพราะจะทำให้โฟมเป็นสีเหลืองและคุณสมบัติลดลง อุณหภูมิใช้งานสูงสุดของฉนวน โพลีสไตรีนโฟม มีค่าประมาณ 80 °C การใช้งานกับอุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะทำให้อ่อนตัวลง แต่ไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพลดลง นอกจาก ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมไม่ส่งเสริมให้แบคทีเรียหรือ ฟังไจเติบโต และไม่เป็นอาหารของสัตว์ใดๆ และส่งกลิ่นรบกวน รวมทั้งไม่เป็นสารก่อมะเร็ง

ฉนวนโพลีสไตรีนโฟมแบบแผ่นอัด และแบบหุ้ม สามารถใช้งานกับอาคารประเภทพักอาศัย อาคารพาณิชย์ และอาคารอุตสาหกรรม เมื่อใช้เป็นแผ่นหุ้มภายนอกอาคารทั้งหมดแล้วจะช่วยลดความร้อนที่ผ่านเข้ามาได้มาก นอกจากนี้ยังสามารถเป็นฉนวนฐานราก ฉนวนแผ่นฝ้าผนัง ฉนวนหลังคา และ ประยุกต์ใช้งานทางอุตสาหกรรมอื่นๆ

เปลือกหุ้มกันไอน้ำ หรือ แผ่นกันไอน้ำ หรือ ตัวกันไอน้ำ (vapor barriers)

ส่วนหนึ่งในการใช้คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ประสบผลสำเร็จจะขึ้นอยู่กับการทำให้อุณหภูมิของเนื้อฉนวนคงที่ กล่าวมาแล้วว่าสภาพการนำความร้อนของน้ำที่สูงกว่าของฉนวนโดยปกติ มากกว่า 10 เท่า จึงทำให้ฉนวนที่เปียกจะสูญเสียความสามารถในการลดทอนการถ่ายเทความร้อนลง และถ้าสภาพภายนอกทำให้ไอน้ำที่ควบแน่นสามารถแข็งตัวเป็นน้ำแข็งภายในตัวฉนวน ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้สัดส่วนการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ประมาณ 10 – 40 เท่า เท่านั้น ยังอาจทำให้ฉนวนแบบเซลล์แตกเสียหายจากหยาบคายตัวของน้ำที่กำลังแข็งตัว ทำให้เกิดความเสียหายต่อฉนวนเอง ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับฉนวนที่ใช้ห่อหุ้มท่อที่ต่ำกว่าจุดแข็งตัวของน้ำ ซึ่งสามารถสังเกตได้จาก ไอน้ำจะคงสภาพก๊าซภายในฉนวนปกติซึ่งไม่ก่อปัญหาใด แต่เมื่อใดเกิดการควบแน่นหรือแข็งตัว จะส่งผลกระทบต่อการใช้งานของฉนวน

การแทรกซึมของไอน้ำจะเข้าไปในฉนวนจะมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของความดันย่อยของไอน้ำในอากาศระหว่างพื้นผิวทั้งสองที่ฉนวนกั้นอยู่ โดยทั่วไป ในฤดูหนาวความดันไอน้ำในห้องจะสูงกว่าความดันไอน้ำภายนอก เนื่องจากอากาศเย็นไม่สามารถคงความชื้นในบรรยากาศได้มากกว่าเท่ากับอากาศที่สูงกว่า แม้แต่ขณะที่มีความชื้นในบรรยากาศเท่ากัน ดังนั้นไอน้ำภายในห้องจะพยายามแทรกซึมผ่านออกไปสู่ภายนอกโดยผ่านผนังและหลังคาที่หุ้มฉนวน

การควบแน่นจะเกิดขึ้นภายในผนังหรือเพดาน ถ้าอุณหภูมิ ณ จุดนั้นมีค่า เท่ากับ อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่สมนัยกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และความชื้นภายในห้อง ด้วยเหตุนี้เองจึงต้องติดตั้งเปลือกหุ้มกันไอน้ำ หรือ แผ่นกันไอน้ำ (ในที่นี้คำว่าเปลือกหุ้มกันไอน้ำ หมายถึง ตัวกันไอน้ำที่หุ้มอยู่ด้านนอกของฉนวน ส่วนคำว่า แผ่น

กันไอน้ำ หมายถึง ตัวกันไอน้ำที่อยู่ระหว่างหรือภายในฉนวน ณ จุดที่ออกแบบ) ชิดไปทางผิวด้านในของอาคารเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อหน่วงการซึมผ่านของไอน้ำที่ผ่านพื้นผิวของอาคาร

ปรากฏการณ์ดังกล่าว มีข้อยกเว้นสำหรับภูมิอากาศแบบชื้น เช่น บริเวณชายฝั่งทะเล หรือ แถบภาคใต้ของประเทศไทย โดยความดันไอน้ำภายในอาคารที่เย็นอาจต่ำกว่าความดันไอน้ำด้านนอก ฉะนั้นการติดตั้งแผ่นกันไอน้ำควรติดตั้งใกล้กับผิวด้านนอกของอาคาร อย่างไรก็ตาม ในอาคารทางภาคเหนือที่อาจมีการทำความเย็นในฤดูร้อน และ ทำความร้อนในฤดูหนาวอาจต้องทำการติดตั้งแผ่นกันไอน้ำไว้ใกล้ผนังทั้งด้านนอกและด้านใน ทางเลือกอีกทางหนึ่ง คือ อาจใช้ฉนวนที่มีความต้านทานไอน้ำสูงอย่างเช่น เซลลูโลสาร์กลาส หรือ ฉนวนผิวสะท้อนรังสี

บางครั้ง ไอน้ำอาจเข้าสู่ส่วนประกอบของอาคาร ณ บริเวณที่ปล่อยให้อากาศไหลผ่าน อากาศที่เคลื่อนที่ ซึ่งอาจมีไอน้ำอยู่ด้วย พบว่าเป็นกลไกที่ทำให้ไอน้ำถ่ายเทได้มากกว่าการแพร่กระจายกว่าอีก ดังนั้น หากมีการควบคุมการปล่อยให้อากาศผ่านได้จะช่วยควบคุมการแทรกซึมของไอน้ำได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการระบายอากาศออกจากห้องในอาคารที่มีความชื้นมีส่วนช่วย ในการกำจัดความชื้นที่มากเกินไปก่อนที่ไอน้ำจะแทรกซึมเข้าไปในส่วนประกอบที่ล้อมรอบอาคารที่หุ้มฉนวนอยู่ได้

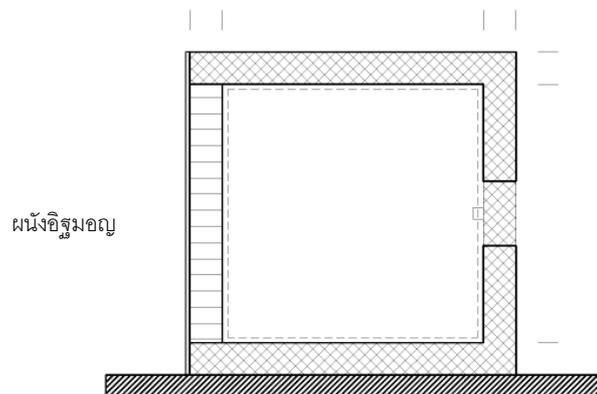
แผ่นกันไอน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้ อาจทำมาจากวัสดุหลายชนิด เช่น โลหะแผ่นบาง (metal foil) แผ่นบางเคลือบ (laminated foil) พลาสติกเชิงโลหะ แผ่นไวนิล หรือ โพลีเอทิลีน ฉนวนแบบอัดเป็นแผ่นเคลือบผิวและยางไม้ หรือ แม้แต่การใช้สีที่มีคุณสมบัติกันไอน้ำได้มาทาเคลือบผนัง

บทที่ 5

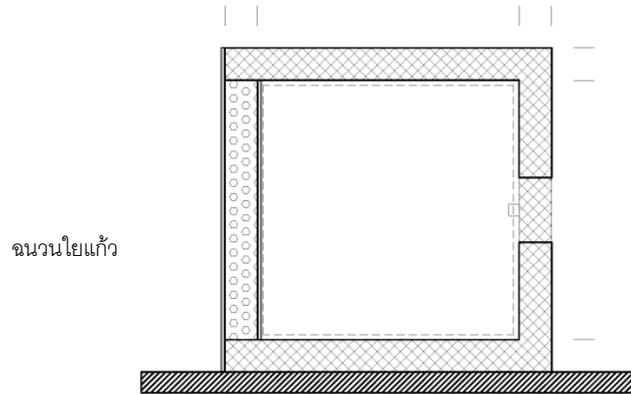
ผลการทดสอบและแนวทางการปรับปรุง

เมื่อทำการทดสอบ และวิเคราะห์ คุณสมบัติ วัสดุต่างๆ หลายๆ รูปแบบแล้วจึงทำให้สามารถเลือกนำวัสดุที่เหมาะสมจะนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านการต้านทานความร้อน ได้ดังนี้

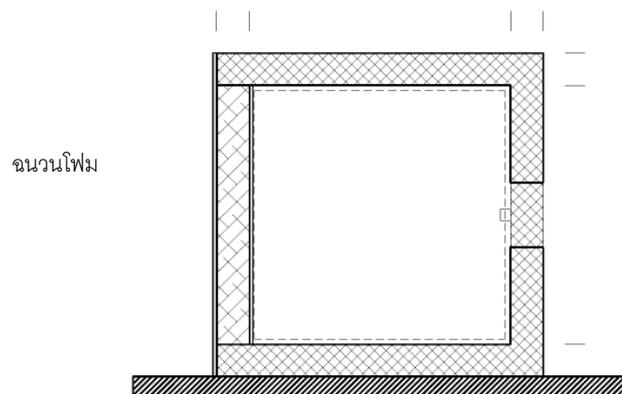
1. ผนังก่ออิฐมวล
 2. ผนังที่ติดตั้งฉนวนใยแก้ว 2 นิ้วภายนอก
 3. ผนังที่ติดตั้งโฟมขนาด 2 นิ้วภายนอก
- 1) ผนังอิฐมวลหรืออิฐบล็อก เนื่องจากการก่อสร้างส่วนใหญ่ยังคงเลือกใช้อิฐก่อในส่วน of ผนังอาคารกัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายโดยทั่วไปและมีวิธีการก่อสร้างที่ชำนาญ



- 2) ผนังฉนวนใยแก้ว เป็นวัสดุที่ส่วนใหญ่จะนำมาใช้บริเวณฝ้าเพดาน ซึ่งมีคุณสมบัติในเรื่องการหน่วงความร้อนที่ผ่านเข้ามาและประกอบผนังภายในด้วยแผ่นยิบซั่มที่มีคุณภาพและสะดวกในการติดตั้ง



- 3) ผนัง โฟมชนิด EPS (EXPANDED POLYSTYRENE FOAM) เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างยังค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะบริเวณผนังอาคาร เนื่องจากการขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องคุณสมบัติของวัสดุและวิธีการติดตั้งที่ให้ความเหมาะสมในเรื่องการใช้งานและงบประมาณการก่อสร้าง

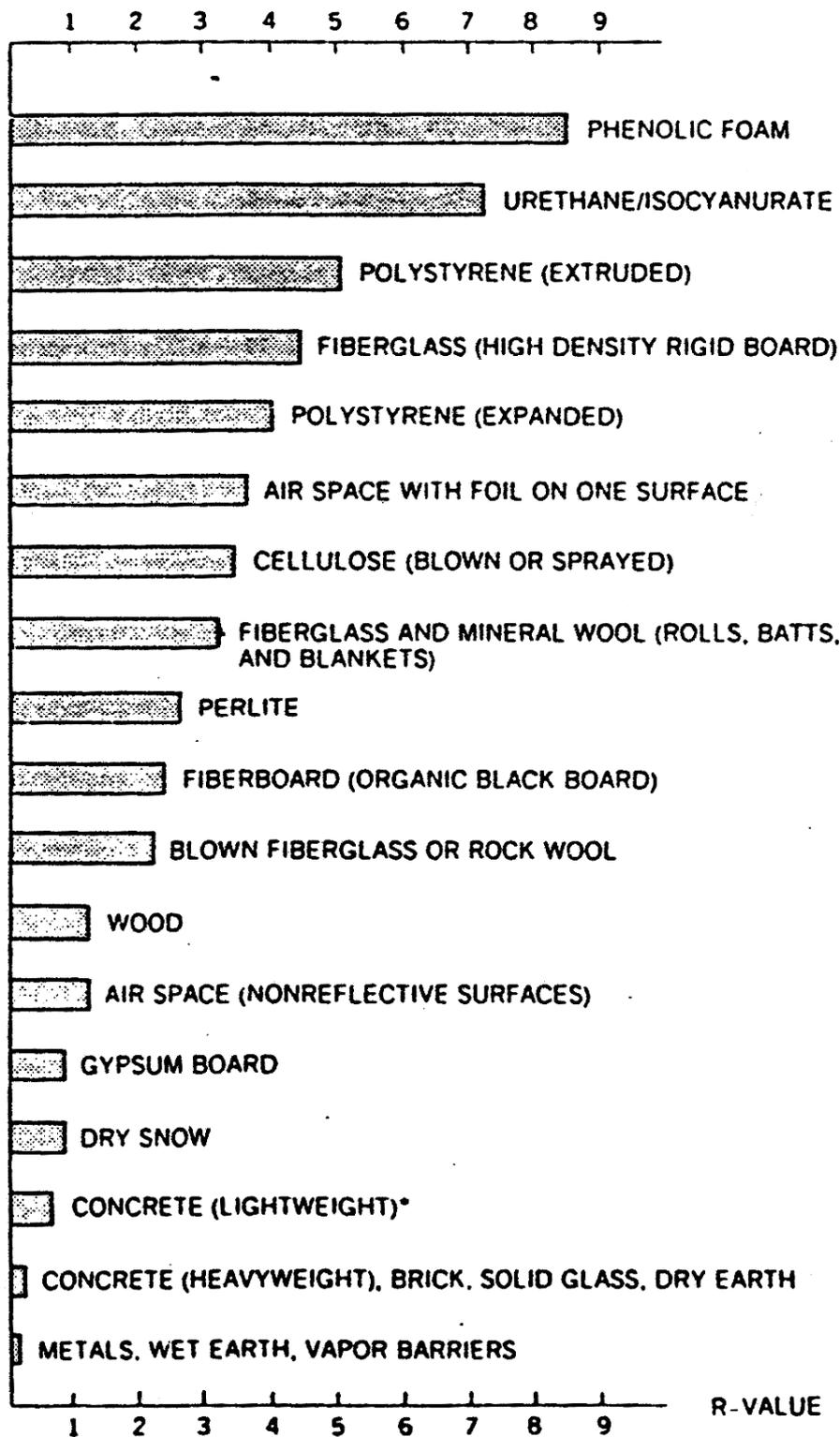


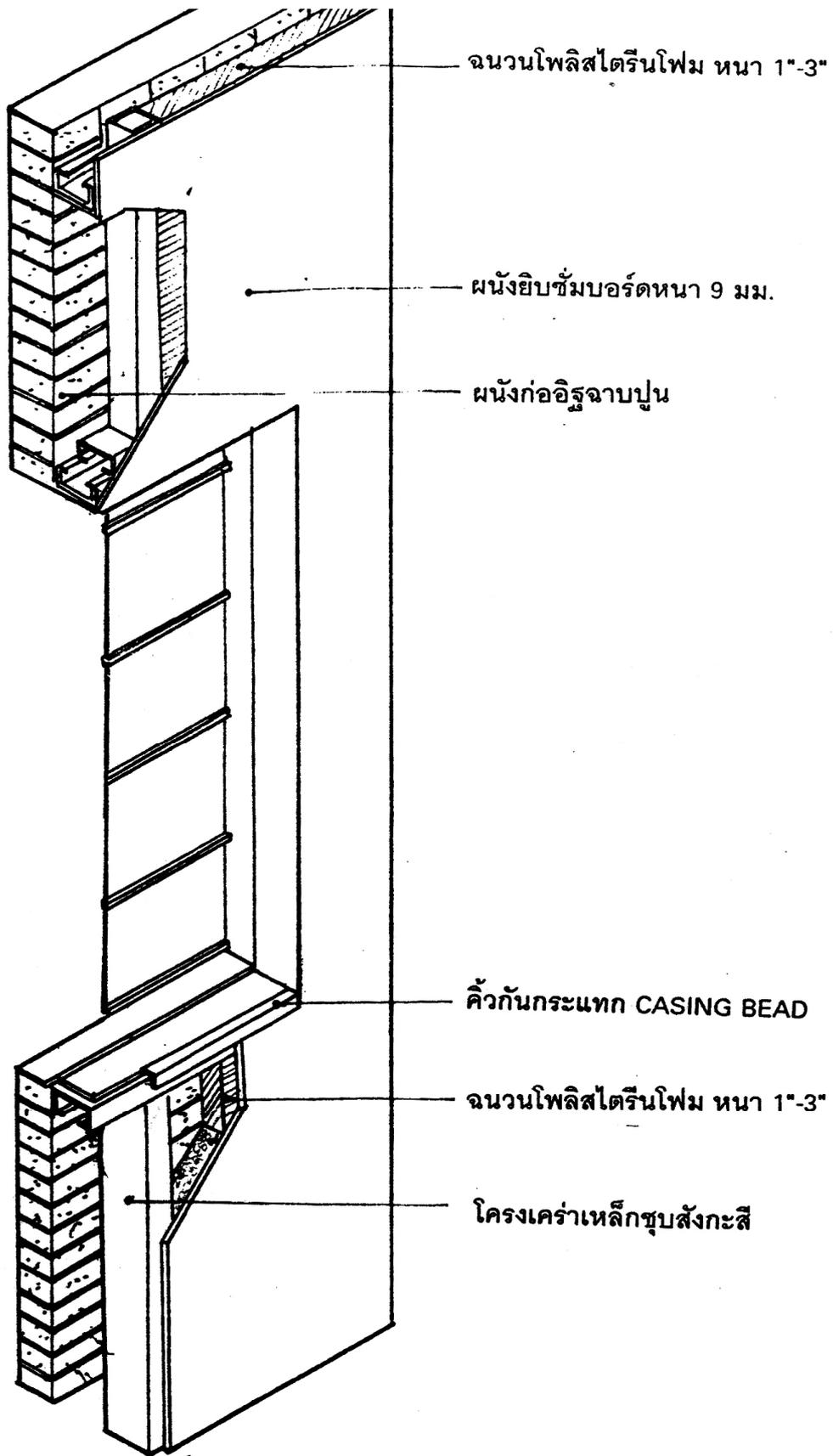


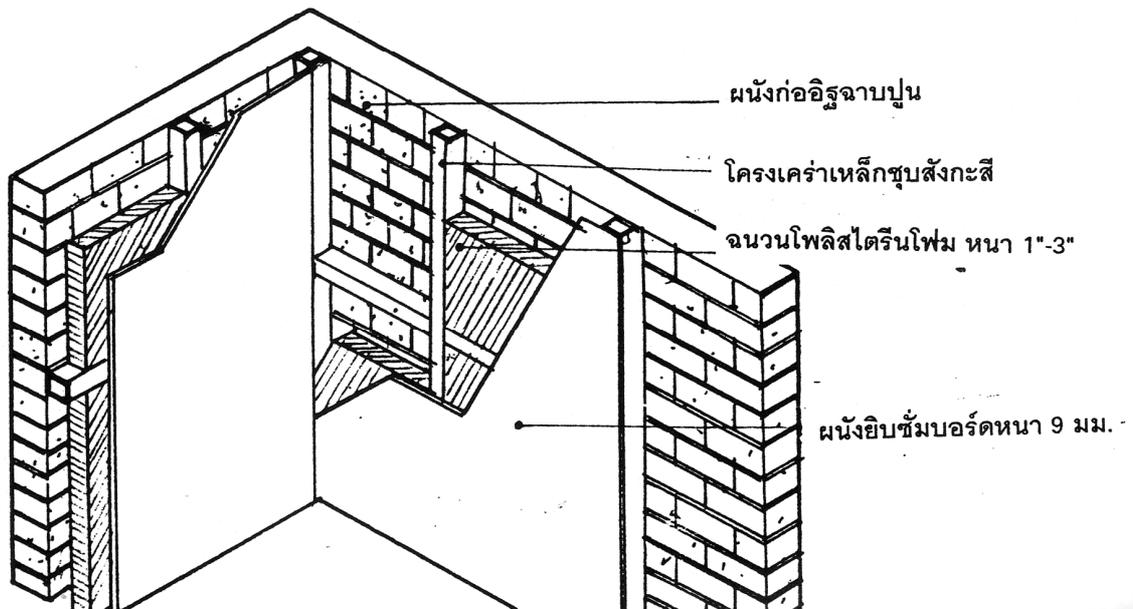
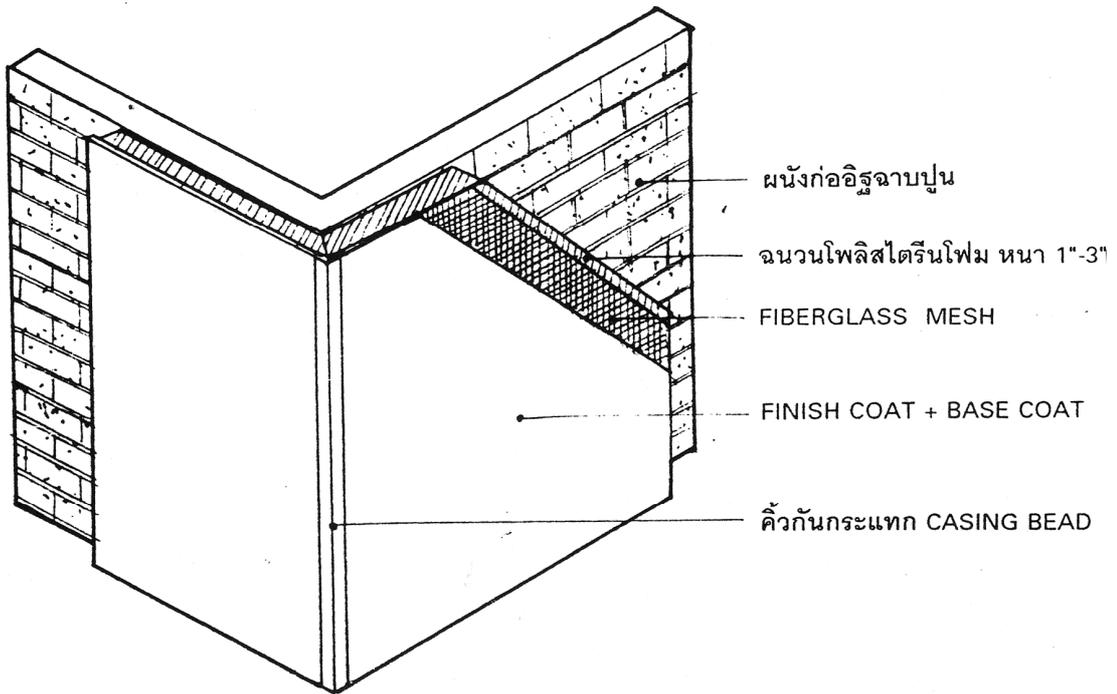




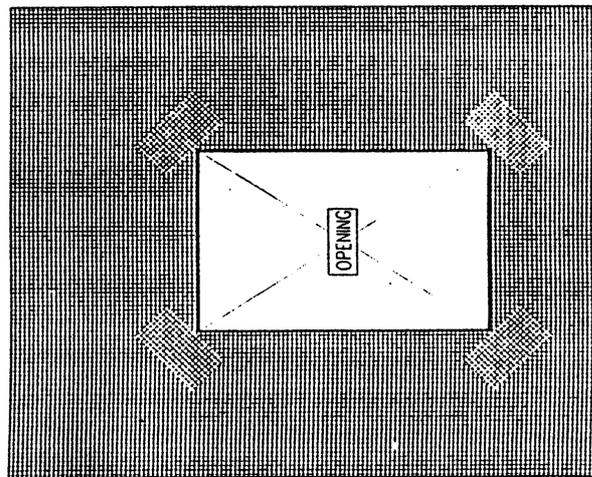




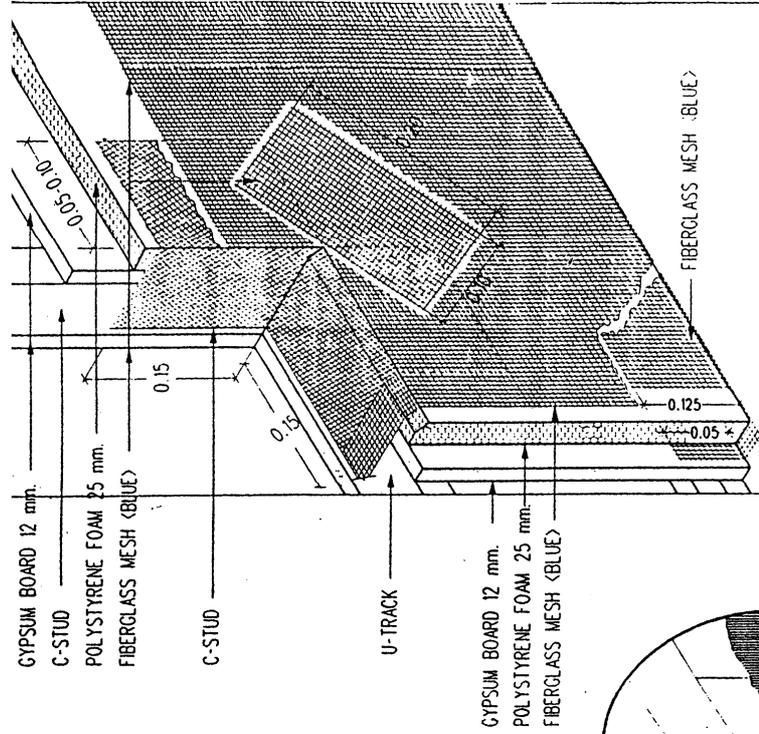




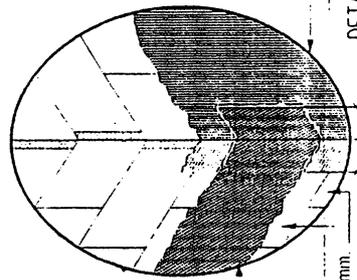
CORNER REINFORCEMENT



STRIPS OF MESH
USED TO REINFORCE THE
CORNERS OF OPENINGS



DETAIL



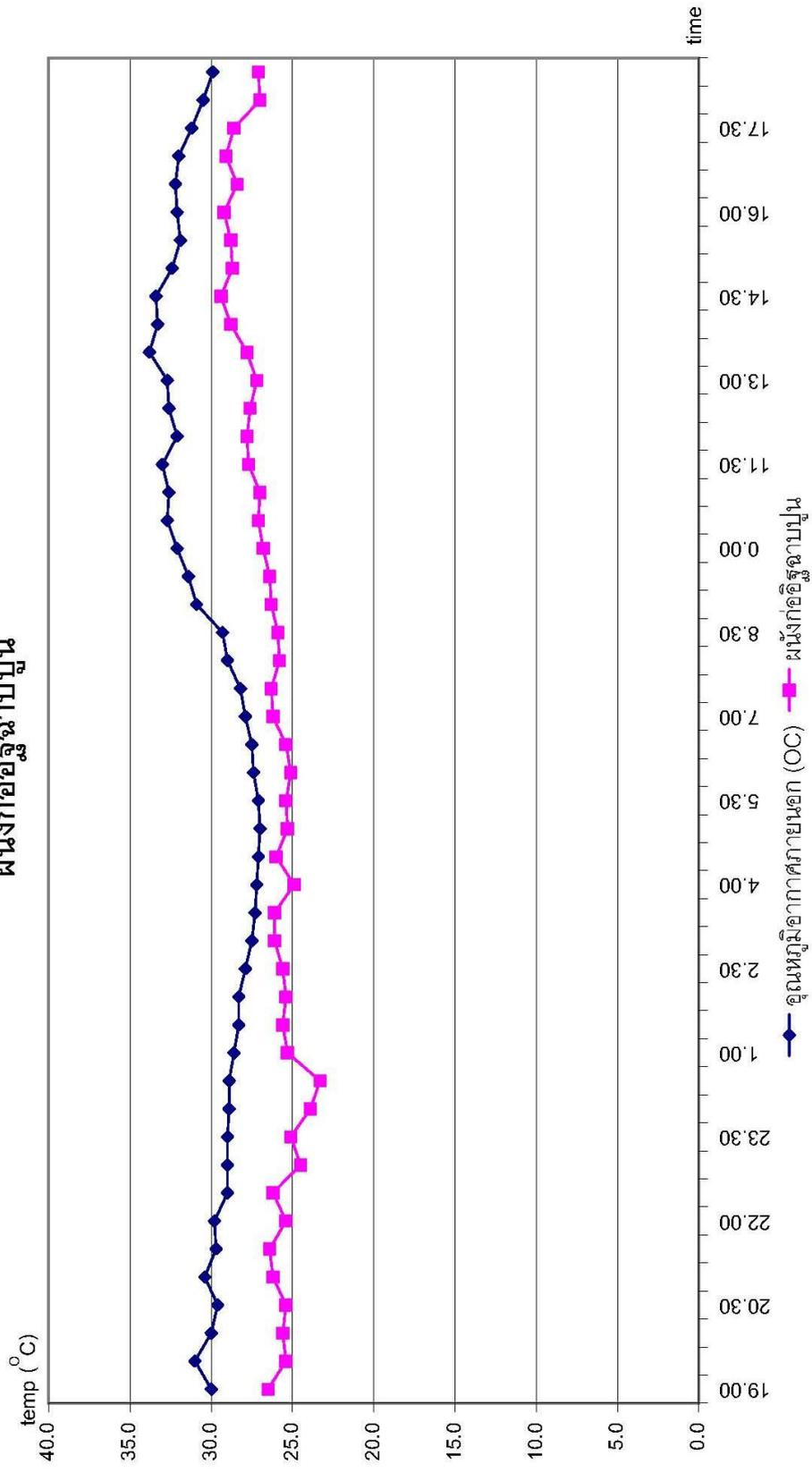
FIBERGLASS MESH (BLUE)

POLYSTYRENE FOAM 25 mm.

DETAIL

Material	Heat Capacity per Volume (btu / ft ³ · °F)
Water	62.4
Steel	59
Wood	26
Brick	25
Concrete (Stone)	22
Foam insulation	1
Air	0.02

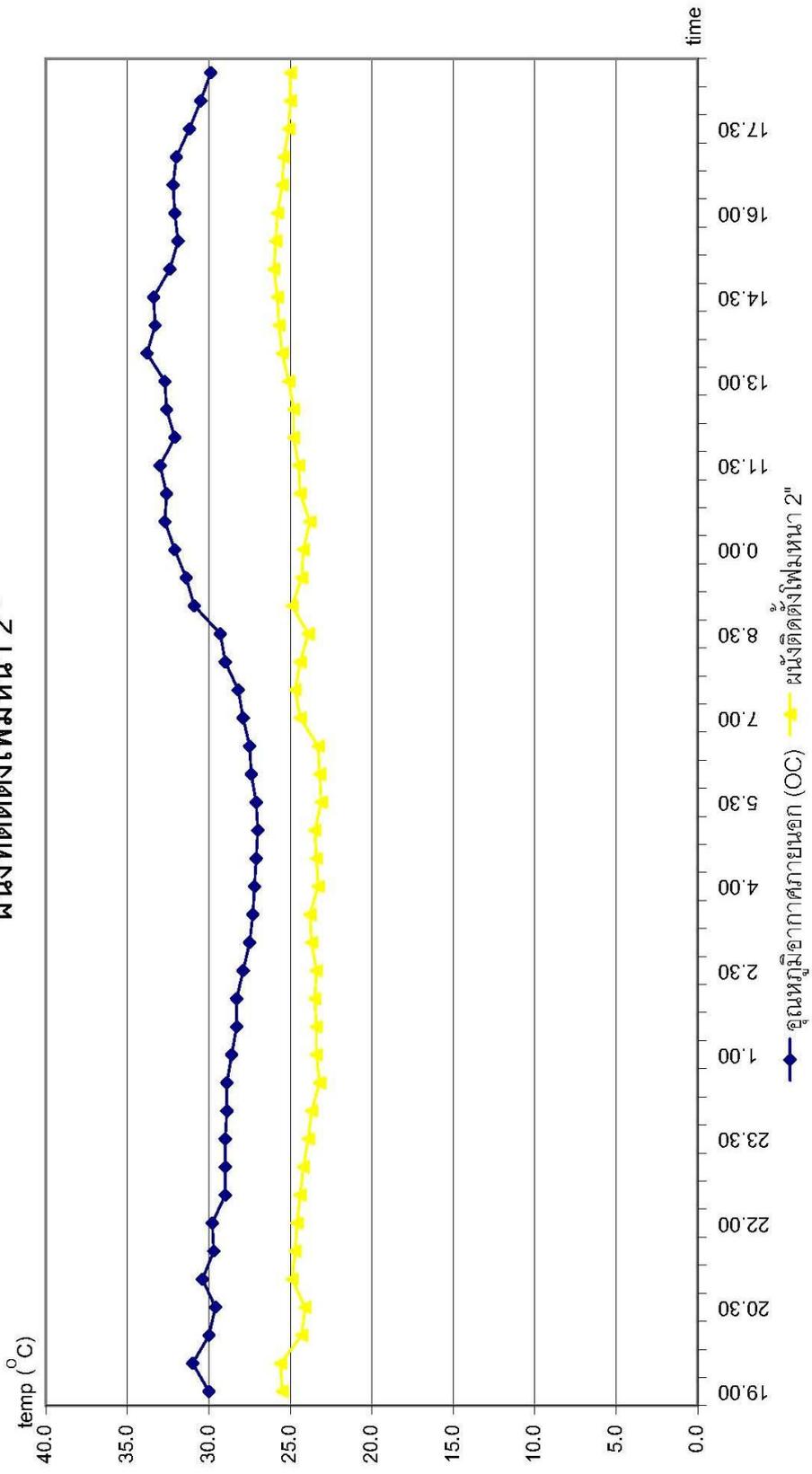
กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของ
ผนังก่ออิฐฉาบปูน



ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของกล่องทดลองของผนังอิฐฉาบปูน โดยจากกราฟจะพบว่า อุณหภูมิภายในจะมีค่าต่ำสุดประมาณ 23-24 °C ในช่วงเวลา 24.00-1.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาอุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลากลางคืนมีค่าลดลงทำให้ความร้อนภายในกล่องทดลองถ่ายผ่านสู่ภายนอกและช่วงที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 28-29 °C จะอยู่ในช่วงเวลา 14.00-15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาอุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลากลางวันมีค่าสูงขึ้นจึงทำให้ความร้อนจากภายนอกส่งผ่านสู่ภายในกล่องทดลอง โดยคุณสมบัติทางด้านการต้านทานความร้อนของผนังอิฐมีค่าต่ำทำให้อุณหภูมิภายในมีค่าสูงกว่าช่วงภาวะนำสบาย ซึ่งในช่วงที่มีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกมากที่สุด จะอยู่ในช่วงเวลา 11.00-13.00 น. มีค่าประมาณ 4 °C

และจะพบว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองในช่วงเวลา 8.30-16.00 น.จะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิภายนอก

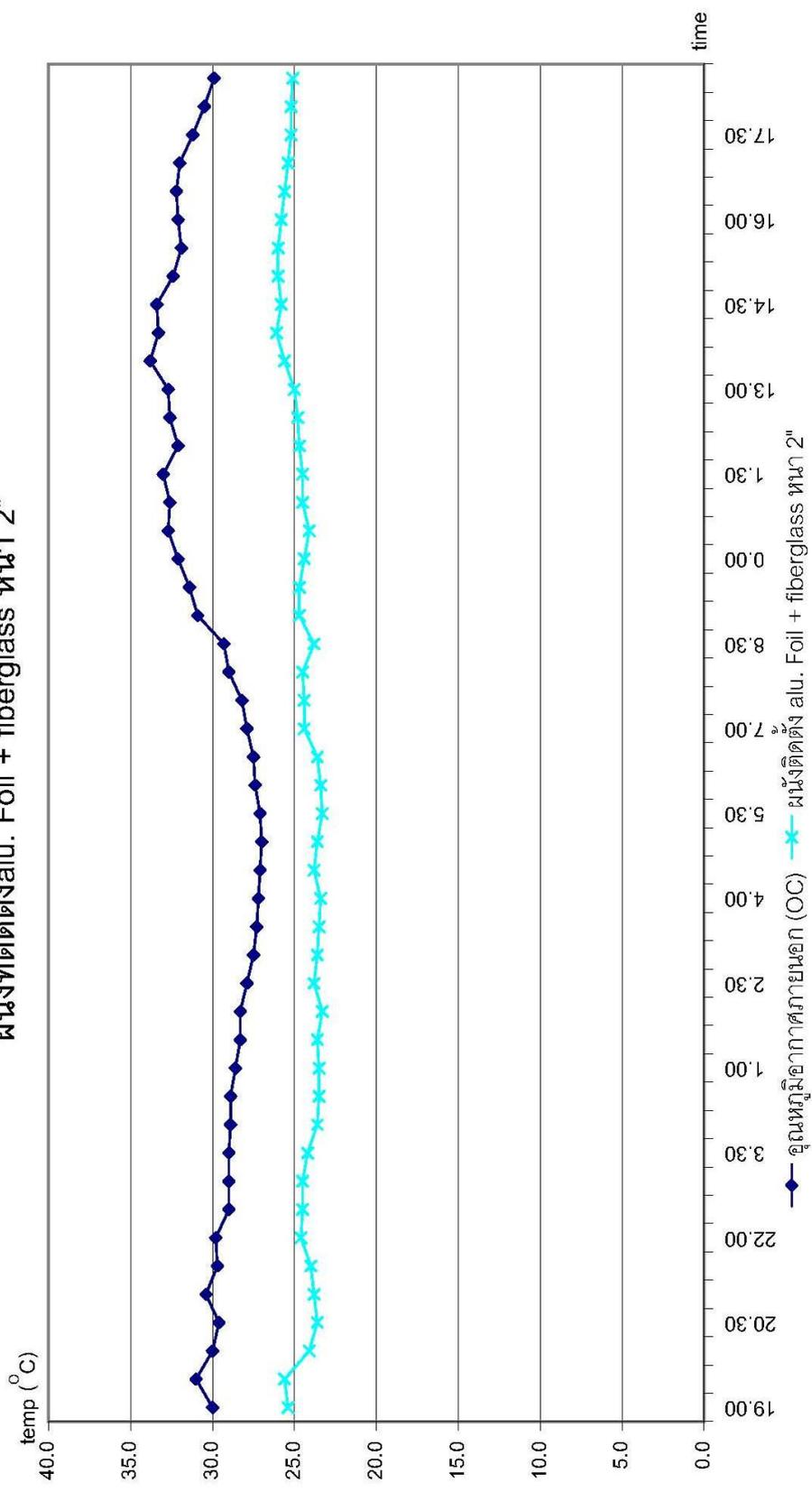
กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของ
ผนังที่ติดตั้งโพลีเมทา 2 "



ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของกล่องทดลองของผนังที่ติดตั้งโฟมหนา 2” โดยจากกราฟจะพบว่า อุณหภูมิภายในจะมีค่าต่ำสุดประมาณ 23-24 °C ในช่วงเวลา 24.00-5.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาอุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลากลางคืนมีค่าลดลง และความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิค่อนข้างน้อย และช่วงที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 25-26 °C จะอยู่ในช่วงเวลา 16.30-17.00 น. แต่อุณหภูมิภายนอกมีค่า 31-32 °C ซึ่งไม่ใช่ช่วงเวลาที่มียุณหภูมิมากที่สุด แสดงว่าคุณสมบัติทางด้านการต้านทานความร้อนของผนังที่ติดตั้งโฟมหนา 2” ที่ค่ามากกว่าผนังก่ออิฐ และโดยเฉลี่ยอุณหภูมิภายในขอผนังที่ติดตั้งโฟมหนา 2” จะอยู่ในช่วงภาวะน่าสบาย ซึ่งในช่วงที่มีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกมากที่สุด จะอยู่ในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. มีค่าประมาณ 6 °C

และจะพบว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองในช่วงเวลา 8.30-16.00 น.จะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 24.5-26 °C ซึ่งไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงมากแตกต่างกับอุณหภูมิภายนอกที่มีค่าความเปลี่ยนแปลงมากกว่า

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของ
ผนังที่ติดตั้ง alu. Foil + fiberglass หนา 2"

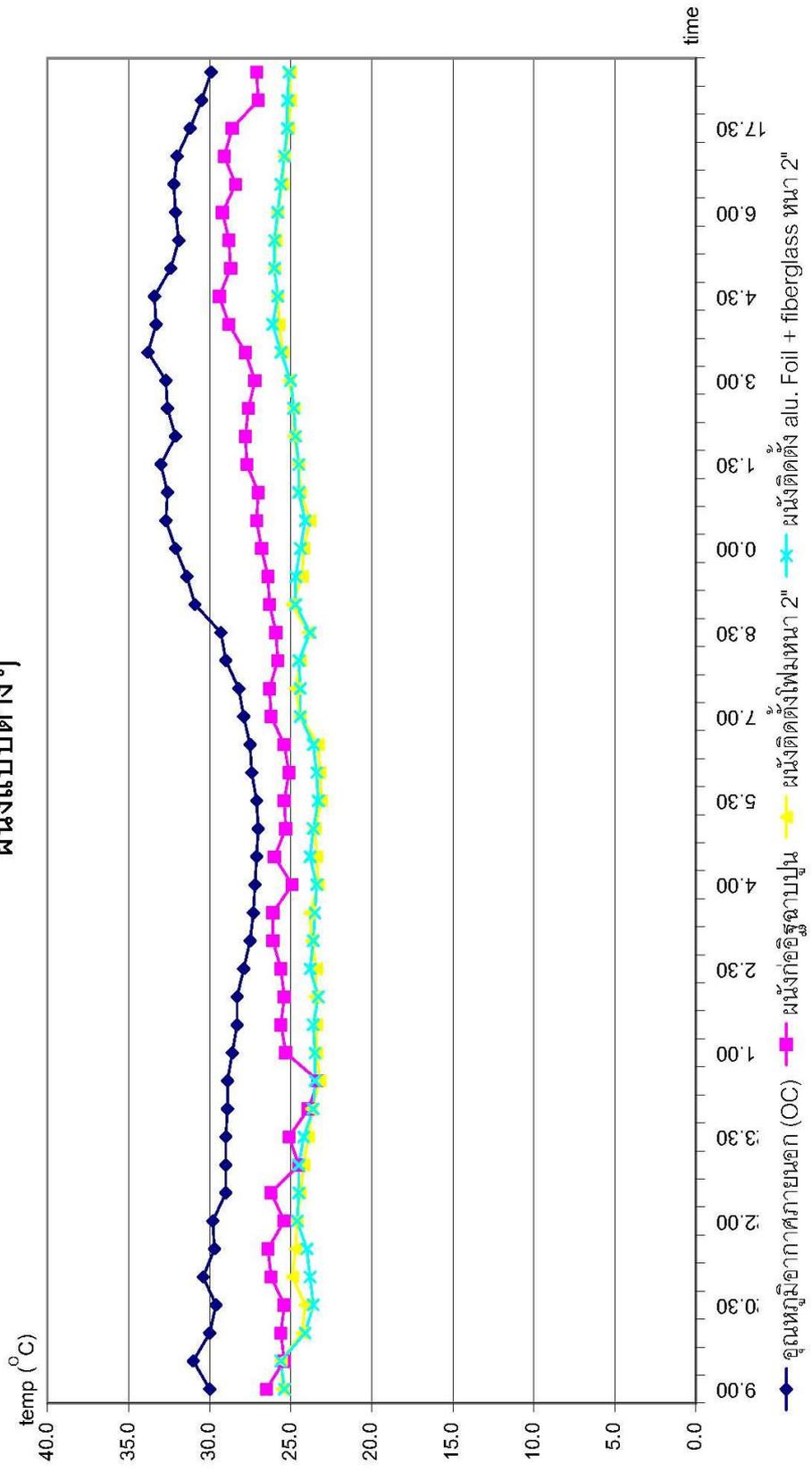


ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของกล่องทดลองของ
ผนังที่ติดตั้ง alu.foil+fiberglass หน้า 2” โดยจากกราฟจะพบว่า อุณหภูมิภายในจะมีค่าต่ำสุดประมาณ 23.5-
24.5 °C ในช่วงเวลา 24.00-4.30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาอุณหภูมิภายนอกในช่วงเวลากลางคืนมีค่าลดลง และความ
เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก่อนข้างน้อย และช่วงที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 26-27 °C จะอยู่ในช่วงเวลา
16.30-17.00 น. แต่อุณหภูมิภายนอกมีค่า 31-32 °C ซึ่งไม่ใช่ช่วงเวลาที่มียุณหภูมิค่ามากที่สุด แสดงว่าคุณสมบัติ
ทางด้านการต้านทานความร้อนของผนังที่ติดตั้ง alu.foil+fiberglass หน้า 2” ที่ค่ามากกว่าผนังก่ออิฐ แต่น้อยกว่า
ผนังที่ติดตั้งโฟมหน้า 2” และโดยเฉลี่ยอุณหภูมิภายในของผนังที่ติดตั้ง alu.foil+fiberglass หน้า 2” จะอยู่
ในช่วงภาวะน่าสบาย ซึ่งในช่วงที่มีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกมากที่สุด จะอยู่ใน
ช่วงเวลา 10.00-11.00 น. มีค่าประมาณ 7 °C

และจะพบว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดลองในช่วงเวลา 8.30-16.00 น.จะมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง
24-26 °C ซึ่งไม่มีค่าเปลี่ยนแปลงมากแตกต่างกับอุณหภูมิภายนอกที่มีค่าความเปลี่ยนแปลงมากกว่า

กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของ

ผนังแบบต่าง ๆ



ผลการทดสอบ การเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิภายนอกกับอุณหภูมิภายในของกล่องทดลองของผนังอิฐฉาบปูน , ผนังที่ติดตั้งโฟมหนา 2” และ ผนังที่ติดตั้ง alu.foil+fiberglass หนา 2” โดยจากกราฟจะพบว่า อุณหภูมิภายในของกล่องทดลองของผนังที่ติดตั้ง โฟมหนา 2” และ ผนังที่ติดตั้ง alu.foil+fiberglass หนา 2” จะต่ำกว่ากว่าผนังก่ออิฐฉาบปูน ประมาณ 3-4 °C ในช่วงเวลา 14.00-16.00 น. แต่อุณหภูมิภายในของกล่องทดลอง ผนังที่ติดตั้ง โฟมหนา 2” จะมีค่าต่ำผนังที่ติดตั้ง alu.foil+fiberglass หนา 2” เล็กน้อย

สรุปผลการทดลองผนังที่ติดตั้งผนังที่ติดตั้ง โฟมหนา 2” จะมีคุณสมบัติในเรื่องการต้านทานความร้อนที่สุด โดยมีค่าใกล้เคียงกับผนังที่ติดตั้ง alu.foil+fiberglass หนา 2” ส่วนผนังก่อผนังอิฐฉาบปูน มีคุณสมบัติในเรื่องการต้านทานความร้อนน้อยที่สุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกชา ชีระ โกเมน และ คณะ. ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ . กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด ,2539.

ตรีงใจ บุรณสมภพ. การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2521.

ชนิด จินดาวณิก. สถาปัตยกรรมและเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ชนิด จินดาวณิก. เอกสารประกอบการสอนวิชา ENERGY ARCH DESIGN . กรุงเทพมหานคร: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

สุนทร บุญญธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญธิการ และ ชนิด จินดาวณิก. รายงานวิจัยการวิเคราะห์สถานะนำสบายและสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องของสถาปัตยกรรมไทย, 2536.

สุรพล พลฤษพานิช. การปรับอากาศ : หลักการและระบบ. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์, 2529.

ภาษาอังกฤษ

American society of heating refrigeration and air-condition engineers. ASHRAE handbook of fundamentals 1989. Atlanta: American society of heating refrigeration and air-condition engineers, INC.,1989

Benjam in stein, john S. Reynolds. Mechanical and electrical equipment for building. New York: john willy & sons, INC., 1992.

Henry j. cowan. Handbook of architectural technology. New York: van nostrand reinhold, 1991.

Jacobsen, terte. Energy saving and thermal climate in passive solar heated building, NTH. Division of HVAC, Norway, 1989.

James A. powell, designing for building utilization. London : E.&FN. SPON,1984 meteorological department.

Climatological data for the year 1933. Bangkok: ministry of communications, 1993.

Norbert lechner. Heating, cooling, lighting. Design methods for architects. New York: john willy & sons,INC., 1991.