

อิทธิพลของการห่วงเหี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน



นายรุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

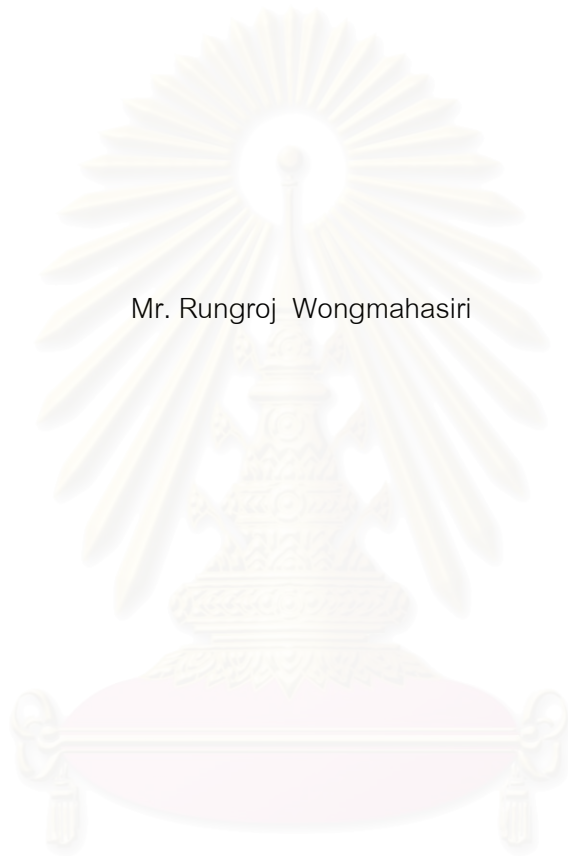
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-1260-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECTS OF HEAT TRANSFER DUE TO THE COMBINATION OF MASS AND INSULATION

Mr. Rungroj Wongmahasiri



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Master of Architecture in Building Technology

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-1260-1

นายรุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ : อิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน.
(THE EFFECTS OF HEAT TRANSFER DUE TO THE COMBINATION OF MASS AND INSULATION) อ.
ที่ปรึกษา:อาจารย์ ดร.วรสันต์ บุญนาคาญจน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม:ศาสตราจารย์ ดร.สุนทร บุญญาธิการ จำนวน
หน้า155 หน้า. ISBN 974-13-1260-1.

พฤติกรรมการณ์หน่วงเหนี่ยวความร้อนซึ่งเกิดจากค่าความจุความร้อนของมวลสารสามารถช่วยชลอปริมาณความร้อนจากภายนอกที่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร ปริมาณความร้อนที่ลดลงมีส่วนช่วยให้อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะน่าสบาย จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่า เมื่อนำวัสดุฉนวนประกอบกับการใช้มวลสารที่มีค่าความจุความร้อนสูงระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจะเพิ่มมากขึ้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการณ์หน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการเลือกตำแหน่งมวลสารและฉนวน ในการทดสอบจะมีทั้งในสภาพไม่ปรับอากาศและสภาพปรับอากาศ จากนั้นจึงนำผลที่ได้รับมาวิเคราะห์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารจริง

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางฉนวนและมวลสารที่เหมาะสม ในลำดับถัดมา คือ การทดสอบพฤติกรรมการณ์หน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการใช้งานในสภาวะไม่ปรับอากาศและปรับอากาศ ในขั้นตอนสุดท้าย คือ การทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อการณ์หน่วงเหนี่ยวความร้อน ในการศึกษาเพื่อหาตำแหน่งฉนวนและมวลสารที่เหมาะสมได้ใช้ฉนวนโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว ติดตั้งกับมวลสารคอนกรีตความหนา 4 นิ้ว 2 ชุด การติดตั้งฉนวนได้ทำการติดตั้งฉนวนด้านนอกแผ่นคอนกรีต กึ่งกลางแผ่นคอนกรีต และด้านในแผ่นคอนกรีต จากการทดสอบพบว่าตำแหน่งของฉนวนและมวลสารที่เหมาะสม คือ การใช้วัสดุฉนวนด้านนอกเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงจากสภาพภูมิอากาศภายนอก และใช้วัสดุมวลสารที่มีค่าความจุความร้อนสูงไว้ด้านในเพื่อหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ผ่านวัสดุฉนวนเข้ามา ผลของการวิจัยพบว่าวัสดุทดสอบชนิดนี้มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดภายในเขตทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดประมาณ 7 องศาเซลเซียส ส่วนวัสดุทดสอบอีก 2 รูปแบบคือ วัสดุทดสอบที่มีฉนวนอยู่กึ่งกลางมวลสารและวัสดุทดสอบที่มีฉนวนอยู่ด้านในมวลสาร มีอุณหภูมิอากาศสูงสุดภายในเขตทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ประมาณ 6 องศาเซลเซียสและ 5 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการทดสอบการใช้งานในสภาพไม่ปรับอากาศและปรับอากาศ พบว่าควรใช้การติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารด้านในทั้งสองกรณี อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังในการเลือกใช้ปริมาณมวลสารภายในสภาพปรับอากาศ เนื่องจากมวลสารปริมาณมากทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมภายในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ ผลการทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อการณ์หน่วงเหนี่ยวความร้อน พบว่าการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกันส่งผลให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในเขตทดสอบ วัสดุทดสอบที่เคลือบผิวด้วยสีดำส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันที่เคลือบผิวด้วยสีขาวประมาณ 1 องศาเซลเซียส ในทำนองเดียวกันกับการได้รับรังสีดวงอาทิตย์จะส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในเขตทดสอบสูงกว่าวัสดุที่มีการบังแดดให้กับผิวภายนอก ชุดวัสดุที่ไม่มีมีการบังแดดให้กับผิวภายนอกจะมีอุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันที่มีการบังแดด ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารภายในมีความเหมาะสมทั้งการใช้งานในสภาพไม่ปรับอากาศและปรับอากาศ อาคารที่ไม่ปรับอากาศควรใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารปริมาณมากภายในอาคาร เพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะน่าสบายในช่วงเวลากลางวัน อาคารที่มีการปรับอากาศควรใช้การติดตั้งฉนวนภายนอกอาคารและใช้มวลสารปริมาณน้อยภายในอาคาร เพื่อให้เครื่องปรับอากาศไม่สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์
สาขาวิชา เทคโนโลยีอาคาร
ปีการศึกษา 2543
ลายมือชื่อ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4274155125:MAJOR BUILDING TECHNOLOGY

KEY WORD: HEAT TRANSFER / MASS / INSULATION /

RUNGROJ WONGMAHASIRI:THE EFFECTS OF HEAT TRANSFER DUE TO THE COMBINATION OF MASS AND INSULATION. THESIS ADVISOR:VORASUN BURANAKARN, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: PROF. SOONTORN BOONYATIKARN, Ph.D., 155 pp. ISBN 974-13-1260-1.

The delay of heat transfer behavior due to its thermal mass can reduce the amount of heat flow, leading to thermal comfort in the building. Relevant theories revealed that this would be highly effective when materials made of insulation and mass that had high heat capacity were used. This research aimed at studying the position of mass and insulation combination that could add the efficiency of heat transfer to wall materials in both air-conditioned and non air-conditioned buildings.

The research consisted of three steps as follows: the test on the position of insulation and mass suitable for both air-conditioned and non air-conditioned buildings and an investigation on external variables affecting heat transfer. In the experiment, one inch polystyrene insulation board and two sets of 4-inch concrete wall were used. In three difference stages of experiment, the insulation was installed on the exterior, in the middle and on the interior of the concrete wall. The experiment showed that the appropriate position of the insulation and mass was to use the insulation on the outside wall in order to reduce the impact of weather condition, as well as to use mass with high heat capacity inside so that it could delay heat penetrating. When comparing the air temperature between inside and that outside. The difference in the peak temperature was approximately 7 degrees Celsius lower than the outside. On the other hand, regarding the other two materials, those insulation was installed in the middle and on inside, the temperature difference was around 6 degrees Celsius and 5 degrees Celsius respectively. The experiment showed that the appropriate position of insulation and mass in air-conditioned building and non air conditioned building was to use the insulation on the outside surface and keeping the mass inside. The study also cautioned the selection of the amount of mass as follows, in the building with air-conditioned system, the high thermal mass would required extra energy to remove the heat sink during the startup period. The different experiment was also performed to investigate the impact of wall coating and solar radiaton. The inside air temperature of the test cell with black coating exterior wall was approximately one degree Celsius higher than that of the test cell coating with white color. In the same way, the inside air temperature of the test cell exposed to the direct solar radiation was about 0.5 degrees Celsius higher than the one protected from the direct solar radiation.

In conclusion, the best position in combining mass and insulation for both air-conditioned building and non air – conditioned building was to use insulation outside and use of proper mass inside. Building with no air conditioning should consider the used of wall with exterior insulation and proper amount of internal masss, in order to have a better control on the inside air temperature. Regarding the air-conditioned building,the amount of thermal mass must be carefully considered to avoid energy waste from heat sink during the startup period.

Department Architecture

Field of study Building Technology

Academic year 2000

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จของการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้เป็นผลมาจากความกรุณาอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการจากผู้ที่เกี่ยวข้องมากมาย โดยเฉพาะศาสตราจารย์ ดร. สุนทร บุญญาธิการ และอาจารย์ดร. วรสิทธิ์ บูรณากาญจน์ ที่กรุณาถ่ายทอดองค์ความรู้ทางวิชาการ พร้อมทั้งให้คำปรึกษา แนะนำในฐานะที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมถึง ท่านรองฯ ปราโมทย์ เขี่ยมศิริ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของมหาวิทยาลัยชินวัตรที่ได้อนุญาตให้ใช้สถานที่ภายในมหาวิทยาลัยเพื่อดำเนินการทำวิจัยตลอดทุกขั้นตอน ขอขอบพระคุณบริษัท นันทวัน จำกัด บริษัท Thai Obayashi Corp.,Ltd. ที่กรุณาช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกทุกอย่างด้วยดี เสมอมา ขอขอบพระคุณ บริษัท สยาม EIFS จำกัด ที่ได้กรุณาสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ แรงงาน และงบประมาณในการจัดสร้างอาคารทดลองสำหรับนิสิตทุกคนที่ได้เข้ามาทำการทดลอง ณ มหาวิทยาลัยชินวัตรนี้ ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการ อาจารย์และนักเรียน ฝ่ายช่างก่อสร้าง สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน จังหวัดราชบุรี ที่สนับสนุนในการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด และที่จะลืมไม่ได้คือ ต้องขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ สาขาเทคโนโลยีอาคารทุกคนผู้ร่วมในชะตากรรมเดียวกัน ซึ่งให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
สารบัญแผนภูมิ	ท
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตในการศึกษา	5
1.4 สมมุติฐานในการวิจัย	7
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องในการห้วงเห้นยวการถ่ายเทความร้อน	8
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	29
3.1 การจัดการวัสดุเพื่อใช้ในการทดสอบ	29
3.2 การทดสอบตั้งมาตรฐานเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย	38
3.3 การทดสอบวัสดุ	48
3.4 การวิเคราะห์ผล	61
3.5 การสรุปผล	61
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบในการวิจัย	62
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 1	63
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 2	89
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 3	109
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 4	133

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	152
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	152
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	156
รายการอ้างอิง.....	157
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	158



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของผิววัสดุบางชนิด	13
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด	14
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด (ต่อ)	15
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการกระจายรังสีคลื่นยาวของวัสดุก่อสร้างบางชนิด	16
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางด้าน Thermal ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ	31
ตารางที่ 3.2 แสดงการวิเคราะห์ค่ามวลสารรวมของวัสดุผนังทั้ง 3 รูปแบบ	35
ตารางที่ 3.3 แสดงการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการผสมวัสดุในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน.....	36
ตารางที่ 3.4 แสดงการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการผสมวัสดุในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร.....	36
ตารางที่ 3.5 แสดงการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการผสมวัสดุในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร.....	37
ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลการปรับแก้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ของหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 หัว.....	41
ตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการ Calibrate เซลควบคุมสภาพแวดล้อมทุกๆ 15 นาที.....	44
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมกล่องด้านตั้ง 3 ด้าน.....	68
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมกล่องด้านบน.....	69
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมกล่องด้านล่าง.....	69

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1	แสดงการเกิดสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในมวลสารของวัสดุ(Santamouris and Asimakopoulos, 1996:187).....	2
ภาพที่ 1.2	แสดงรูปแบบการผสมผสานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้.....	5
ภาพที่ 2.1	แสดงช่วงคลื่นต่างๆใน Electromagnatic Spectrum	10
ภาพที่ 2.2	แสดงคุณสมบัติของผิววัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับโดยค่า α/ϵ วัสดุผิวที่เข้าใกล้ปลายของเส้นประที่มุมขวาบนของกราฟจะมีลักษณะใกล้เคียงวัตถุในอุดมคติที่มีการรับและการคายรังสีเท่ากัน ($\alpha/\epsilon = 1$) ส่วนวัตถุที่เข้าใกล้มุมซ้ายบนจะเป็นวัตถุที่มีการกระจายความร้อนสูงสุด (Perfect Dissipater) ส่วนวัตถุที่เข้าใกล้มุมขวาล่างจะมีลักษณะเป็นตัวดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ที่ตีเหมาะกับการใช้งานกักเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (Perfect Collector)	13
ภาพที่ 2.3	แสดงรูปแบบการผสมผสานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้.....	22
ภาพที่ 2.4	ภาพแสดงการเกิดสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ.....	23
ภาพที่ 2.5	แผนภูมิสำหรับคำนวณ Decrement factor ของวัสดุ.....	27
ภาพที่ 2.6	แผนภูมิสำหรับคำนวณ Time lag ของวัสดุ.....	27
ภาพที่ 3.1	แสดงการกระจายเมื่อระบุค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุความร้อนต่อหน่วยปริมาตร (Heat capacity) และค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ.....	32
ภาพที่ 3.2	แสดงตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการผสมผสานวัสดุทดสอบ.....	33
ภาพที่ 3.3	แสดงวัสดุทดสอบที่ได้จากการผสมผสานมวลสารและฉนวนทั้ง 3 ประเภท.....	34
ภาพที่ 3.4	แสดงวัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นผนังคอนกรีตความหนา 4 นิ้ว ซึ่งได้ควบคุมส่วนผสมและหล่อขึ้นภายในครั้งเดียวเพื่อให้วัสดุทดสอบมีมาตรฐานใกล้เคียงกันที่สุด.....	37
ภาพที่ 3.5	แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ System200 ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้.....	39
ภาพที่ 3.6	แสดงการต่อเครื่องคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล ร่วมกับเครื่องเก็บอุณหภูมิ System200	39
ภาพที่ 3.7	แสดงการต่อหัวเซนเซอร์เข้ากับสายโทรศัพท์ความยาว 25 เมตร เท่ากันทุกเส้นเพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลในครั้งนี้.....	39
ภาพที่ 3.8	แสดงข้อมูลจากการทดสอบตั้งมาตรฐานหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 หัว.....	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.9	เซลล์ควบคุมสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบวัสดุในการวิจัยครั้งนี้ 42
ภาพที่ 3.10	แสดงผลการ Calibrate เซลล์ควบคุมสภาพแวดล้อมทุกๆ 15 นาที..... 45
ภาพที่ 3.11	แสดงการติดตั้งโฟมในด้านที่ใช้ทดสอบวัสดุก่อนนำขึ้นไปทดสอบมาตรฐานของ เซลล์ทดสอบ..... 46
ภาพที่ 3.12	แสดงการตั้งเซลล์ทดสอบภายในสถานที่ทดลองซึ่งตั้งหันหน้าไปทิศทางเดียวกัน และอยู่ในระดับเดียวกันในสภาพแวดล้อมเดียวกันเพื่อสร้างสภาวะที่สามารถ ควบคุมตัวแปรควบคุมให้เหมือนกันได้ และทดลองตั้งมาตรฐานเซลล์ทดสอบเพื่อ ตรวจสอบว่าแต่ละเซลล์มีความสามารถในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเซลล์ เท่าเทียมกันหรือไม่..... 46
ภาพที่ 3.13	แสดงอาคารปรับอากาศที่กำลังอยู่ในระหว่างการก่อสร้าง ผนังทั้ง 4 ด้านของ อาคารถูกเว้นช่องว่างเพื่อการติดตั้งวัสดุ..... 47
ภาพที่ 3.14	แสดงการติดตั้งวัสดุในเซลล์ทดสอบแต่ละเซลล์ สำหรับการทดสอบที่ 1..... 49
ภาพที่ 3.15	แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการ ทดสอบที่ 1..... 50
ภาพที่ 3.16	แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการ ทดสอบที่ 1..... 50
ภาพที่ 3.17	แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการ ทดสอบที่ 1..... 50
ภาพที่ 3.18	แสดงการติดตั้งวัสดุในเซลล์ทดสอบแต่ละเซลล์ สำหรับการทดสอบที่ 2..... 52
ภาพที่ 3.19	แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการ ทดสอบที่ 2 (เซลล์ทดสอบที่ 1 และ 4)..... 52
ภาพที่ 3.20	แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการ ทดสอบที่ 2 (เซลล์ทดสอบที่ 2 และ 5)..... 52
ภาพที่ 3.21	แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการ ทดสอบที่ 2 (เซลล์ทดสอบที่ 3 และ 6)..... 53
ภาพที่ 3.22	แสดงการติดตั้งวัสดุในเซลล์ทดสอบแต่ละเซลล์ สำหรับการทดสอบที่ 2..... 55
ภาพที่ 3.23	แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการ ทดสอบที่ 3 (เซลล์ทดสอบที่ 1 และ 4)..... 55

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.24 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 3 (เซลล์ทดสอบที่ 2 และ 5).....	55
ภาพที่ 3.25 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 3 (เซลล์ทดสอบที่ 3 และ 6).....	56
ภาพที่ 3.26 แสดงการติดตั้งวัสดุผนังสำหรับห้องปรับอากาศ สำหรับการทดสอบที่ 4	58
ภาพที่ 3.27 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในผนังทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการทดสอบที่ 4	58
ภาพที่ 3.28 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในผนังทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 4	58
ภาพที่ 3.29 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในผนังทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 4	59
ภาพที่ 3.30 สรุปการติดตั้งวัสดุในการทดสอบทั้ง 4 การทดสอบ.....	60

สารบัญแผนภูมิ

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.1	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร 64
แผนภูมิที่ 4.3	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร- ฉนวน-มวลสาร 65
แผนภูมิที่ 4.4	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร- มวลสาร-ฉนวน 66
แผนภูมิที่ 4.5	แสดงค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูป แบบ 80
แผนภูมิที่ 4.6	แสดงค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศสูงสุดและอุณหภูมิในเนื้อวัสดุ ที่ทำการทดสอบในแต่ละชั้นทั้ง 3 รูปแบบ 81
แผนภูมิที่ 4.7	แสดงการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างตลอดวันระหว่างอุณหภูมิผิวภาย นอกของวัสดุและอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุ 82
แผนภูมิที่ 4.8	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย อุณหภูมิอากาศภายนอก 83
แผนภูมิที่ 4.9	ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายในเปรียบเทียบวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ .. 83
แผนภูมิที่ 4.10	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ 85
แผนภูมิที่ 4.11	แสดงจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 86
แผนภูมิที่ 4.12	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน- มวลสาร-มวลสาร ที่เคลือบผิวด้วยสีดำ 90
แผนภูมิที่ 4.13	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร- ฉนวน-มวลสาร ที่เคลือบผิวด้วยสีดำ 91
แผนภูมิที่ 4.14	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร- มวลสาร-ฉนวน ที่เคลือบผิวด้วยสีดำ 92
แผนภูมิที่ 4.15	แสดงค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูป แบบ 101

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

	หน้า
แผนภูมิที่ 4.16	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบระหว่างวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่เคลือบผิวด้วยสีขาวและสีดำ..... 102
แผนภูมิที่ 4.17	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบระหว่างชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีขาวและชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีดำ..... 103
แผนภูมิที่ 4.18	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่เคลือบสีดำและสีขา..... 104
แผนภูมิที่ 4.19	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่เคลือบสีดำและสีขา..... 104
แผนภูมิที่ 4.20	แสดงช่วงเวลา que อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำสุดอุณหภูมิอากาศภายนอก..... 106
แผนภูมิที่ 4.21	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่เพิ่มเติมแฉงกันแดดให้กับวัสดุ..... 110
แผนภูมิที่ 4.22	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่เพิ่มเติมแฉงกันแดดให้กับวัสดุ..... 111
แผนภูมิที่ 4.23	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ที่เพิ่มเติมแฉงกันแดดให้กับวัสดุ..... 112
แผนภูมิที่ 4.24	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่ไม่มีแฉงกันแดดให้กับวัสดุ..... 113
แผนภูมิที่ 4.25	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่ไม่มีแฉงกันแดดให้กับวัสดุ..... 114
แผนภูมิที่ 4.26	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ที่ไม่มีแฉงกันแดดให้กับวัสดุ..... 115
แผนภูมิที่ 4.27	แสดงค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 6 รูปแบบ..... 125
แผนภูมิที่ 4.28	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบระหว่างวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์..... 126

สารบัญแผนภูมิ (ต่อ)

		หน้า
แผนภูมิที่ 4.29	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบระหว่างชุดวัสดุที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์	127
แผนภูมิที่ 4.30	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์.....	128
แผนภูมิที่ 4.31	แสดงอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์.....	128
แผนภูมิที่ 4.32	แสดงช่วงเวลา que อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก.....	130
แผนภูมิที่ 4.33	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ในสภาพปรับอากาศ.....	134
แผนภูมิที่ 4.34	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ในสภาพปรับอากาศ	135
แผนภูมิที่ 4.35	แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ในสภาพปรับอากาศ	136
แผนภูมิที่ 4.36	แสดงระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบรูปแบบต่างๆที่อยู่ในสภาวะปรับอากาศ.....	146
แผนภูมิที่ 4.37	แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายใน.....	147
แผนภูมิที่ 4.38	แสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ประเภทในสภาวะปรับอากาศ.....	148
แผนภูมิที่ 4.39	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในตลอดวันของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดในสภาวะปรับอากาศ.....	149
แผนภูมิที่ 4.40	แสดงการเปรียบเทียบสภาวะการปรับอากาศตลอดวันของวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบเมื่ออยู่ในสภาวะปรับอากาศ	150

บทที่ 1

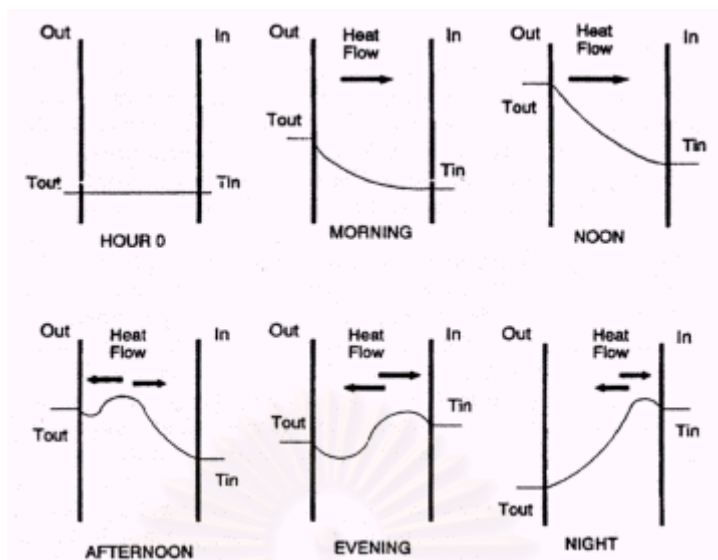
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในประเทศไทยซึ่งมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดภาวะนำสบายขึ้นในอาคาร ขึ้นอยู่กับการลดหรือชดเชยความร้อนที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารเข้ามาสู่ภายในอาคาร การลดการถ่ายเทความร้อนจะช่วยให้อุณหภูมิผิวผนังภายในมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเมื่อปิดอาคาร อุณหภูมิผิวที่ต่ำจะช่วยสร้างความรู้สึกเย็นเสมือนเนื่องจากค่าอุณหภูมิของพื้นผิวเฉลี่ยโดยรอบ (Mean Radiant Temperature:MRT) ถ้าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิรอบตัวเราเย็นลงกว่าอุณหภูมิอากาศ 1 องศาเซลเซียส เราจะรู้สึกเสมือนหนึ่งว่าอุณหภูมิอากาศขณะนั้นเย็นลงกว่าเดิม 1.4 องศาเซลเซียส (สุนทร บุญญาธิการ, 2542:40)

การชดเชยความร้อนที่เข้าสู่อาคารโดยใช้ประโยชน์จากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่จะช่วยลดเวลาที่เกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคารออกไปจากเวลาที่เกิดค่าอุณหภูมิสูงสุดภายนอก จึงช่วยให้ในช่วงที่มีรังสีดวงอาทิตย์อุณหภูมิผิวภายในอาคารสามารถต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกได้ ตัวอย่างงานสถาปัตยกรรมที่แสดงความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนอย่างชัดเจนในประเทศไทย คือรูปแบบในการสร้างโบสถ์ ในเวลากลางวันเมื่อเดินเข้าไปภายในโบสถ์จะสามารถรู้สึกได้ว่าเย็นกว่าอยู่ภายนอกโบสถ์ทั้งนี้เนื่องมาจากค่าอุณหภูมิผิวของผนังโบสถ์ที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศช่วยสร้างความรู้สึกเสมือนว่าเย็นลง

การที่อุณหภูมิผิวผนังภายในโบสถ์ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงกลางวัน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านผนังจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคารเกิดการหน่วงเหนี่ยวเนื่องจากมวลสารภายในวัสดุผนังทำให้การถ่ายเทความร้อนช้าลงเป็นผลให้เกิด **สภาวะการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อน** ขึ้นในตัววัสดุผนังของโบสถ์ การเกิดสภาวะดังกล่าว ทำให้ผิวผนังภายในมีอุณหภูมิสูงขึ้นช้ากว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอก ดังภาพ



ภาพที่ 1.1 แสดงการเกิดสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในมวลสารของวัสดุ (Santamouris and Asimakopoulos, 1996:187)

สภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ก่อให้เกิดผลต่อการถ่ายเทความร้อนในโครงสร้างของอาคาร 2 ประการด้วยกัน (Victor, 1992:115)

- การเลื่อนเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดในอาคาร จากเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดในภายนอก (Shift in Phase)
- ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดในและภายนอกอาคาร (Decrease in amplitude)

ผลทั้ง 2 ประการ จะช่วยลดความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศภายนอกอาคาร ตลอดวันทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารลดลงโดยจะมีอุณหภูมิเข้าใกล้ค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดวัน และจะยิ่งใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดวันมากขึ้นเมื่อวัสดุที่เป็นเปลือกอาคารมีมวลสารขึ้น ผลที่เกิดจากการที่อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศตลอดวัน จะทำให้เกิดผล 2 ประการ ในช่วงเวลาที่ต่างกัน

ในช่วงเวลากลางวัน ภายในอาคารจะมีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าภายนอก รวมถึงการที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโดยรอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทำให้ในช่วงเวลากลางวันเกิดความรู้สึกเย็นเมื่ออยู่ภายในอาคาร

ในช่วงเวลากลางคืน ภายในอาคารจะมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก เนื่องจากความร้อนที่ถูกลดลงในช่วงกลางวันจะถูกปล่อยออกมาในช่วงกลางคืน จะทำให้ผู้ที่อยู่ในอาคารรู้สึกร้อนกว่าอยู่ภายนอกอาคาร

จากประโยชน์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะการห่อหุ้มการถ่ายเทความร้อน ทำให้เราสามารถนำประโยชน์จากการห่อหุ้มการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากมวลสาร มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอาคารในปัจจุบัน เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่มีค่าอุณหภูมิของพื้นผิวเฉลี่ยโดยรอบ (Mean Radiant Temperature:MRT) ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงกลางวัน

ดังนั้นในการศึกษาการห่อหุ้มการถ่ายเทความร้อนจึงได้มีการริเริ่มนำเอาวัสดุฉนวนเข้ามาผสมกับวัสดุมวลสารในลักษณะของการประกอบ (composite) วัสดุเข้าด้วยกัน เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพในการห่อหุ้มความร้อนให้แก่วัสดุ จากการผสมวัสดุฉนวนจะช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนในปริมาณที่ต่ำ ในขณะที่เดียวกันวัสดุที่มีมวลสารจะดูดซับปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาน้อยลง ผลที่เกิดขึ้นคือวัสดุผนังจะมีการห่อหุ้มการถ่ายเทความร้อนที่ยาวนานขึ้น และมีน้ำหนักที่เบาลง เมื่อเทียบกับวัสดุที่มีมวลสารเพียงอย่างเดียว

การวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งนำการทดสอบตำแหน่งการผสมผสานระหว่างฉนวนและมวลสารเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะทราบว่า การจัดวางตำแหน่งของมวลสารและฉนวนจะมีพฤติกรรมการห่อหุ้มการถ่ายเทความร้อนที่สามารถนำไปดัดแปลงใช้ให้เกิดประโยชน์ได้หรือไม่สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้นของประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการห้วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนซึ่งมีการผสมผสานมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกันในลักษณะ Composite
2. ศึกษาผลกระทบและเปรียบเทียบพฤติกรรมการห้วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในรูปแบบที่แตกต่างกันโดยควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม และมวลสารรวม เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปแบบในการผสมผสานมวลสารและฉนวนต่อการห้วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของผนังในภาวะต่างๆ ดังนี้
 - ภาวะโดนรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ และไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์
 - ภาวะปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
 - ภาวะที่มีค่าการกระจายความร้อนและการดูดซับความร้อนที่พื้นผิวแตกต่างกัน
3. เสนอแนวทางการผสมผสานมวลสารและฉนวนที่เหมาะสม สำหรับการประยุกต์ใช้พฤติกรรมการห้วงเหนี่ยวความร้อน ในการออกแบบอาคารจริงในประเทศไทย

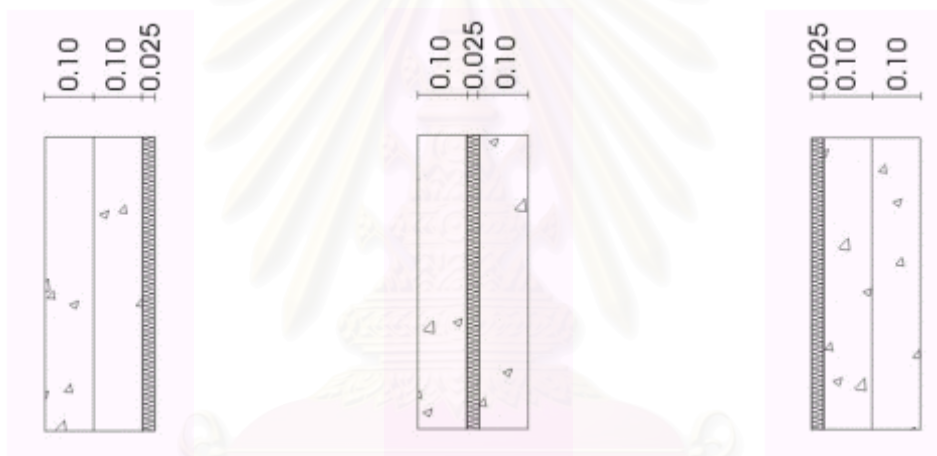
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้มีขอบเขต ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ผลในการทดสอบไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง
2. ศึกษาผลกระทบและเปรียบเทียบพฤติกรรมการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน โดยควบคุมมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากัน เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังที่มีการผสมมวลสารในรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

- การผสมในรูปแบบ มวลสาร – มวลสาร – ฉนวน
- การผสมในรูปแบบ มวลสาร – ฉนวน – มวลสาร
- การผสมในรูปแบบ ฉนวน – มวลสาร – มวลสาร



การผสมมวลสารในรูปแบบ
มวลสาร – มวลสาร – ฉนวน

การผสมมวลสารในรูปแบบ
มวลสาร – ฉนวน – มวลสาร

การผสมมวลสารในรูปแบบ
ฉนวน – มวลสาร – มวลสาร

ภาพที่ 1.2 แสดงรูปแบบการผสมผสานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรต้น ได้แก่ตำแหน่งในการผสมมวลสารต่ำเข้ากับมวลสารซึ่งมีอยู่ 3 ลักษณะ

- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสาร – มวลสาร – ฉนวน
- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสาร – ฉนวน – มวลสาร
- การผสมมวลสารในรูปแบบ ฉนวน – มวลสาร – มวลสาร

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดลองทั้ง 3 กล่อง ทุกชั่วโมง

ตัวแปรควบคุม ได้แก่

- วัสดุในการทดลอง (มวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม)
- กล่องทดสอบ
- อาคารปรับอากาศเพื่อการทดสอบวัสดุ
- ค่าการกระจายความร้อนและค่าการดูดซับความร้อนของพื้นผิว
- สภาพดินฟ้าอากาศขณะทดลอง

โดยการควบคุมการทดลองให้อยู่ในสถานที่เดียวกัน วันเวลาเดียวกัน และมีการติดตั้งที่เหมือนกัน และดำเนินการเก็บข้อมูลโดยวิธีเดียวกันในแต่ละสมมุติฐานของการวิจัย จึงถือว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการทดลองเท่าเทียมกัน

4. **ทำการทดลองในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อเก็บข้อมูลและประมาณค่าทางสถิติ** ส่วนการนำไปใช้งานจริงควรมีการเก็บข้อมูลที่ต่อเนื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 สมมุติฐานในการวิจัย

ตำแหน่งของมวลสารและฉนวนมีผลต่อพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุที่ได้จากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบรูปแบบการเกิดพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุผนังที่มีการผสมผสานมวลสารและฉนวนในรูปแบบที่แตกต่างกัน
2. ทราบข้อดีข้อเสียในการประยุกต์ใช้การหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนในการออกแบบอาคาร
3. ผลที่ได้จะช่วยให้สามารถเข้าใจแนวทางที่ถูกต้องในการออกแบบลักษณะเปลือกอาคารที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัย อธิธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมฉนวนและมวลสารเข้าด้วยกัน เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ในการศึกษาโครงการจำเป็นต้องเข้าใจถึงกระบวนการในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ และตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะสามารถดำเนินการสร้างระเบียบวิธีวิจัยที่ถูกต้องและครอบคลุมตัวแปรได้ครบถ้วนในขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษา ได้วางขั้นตอนในการศึกษาเป็นลำดับ ดังต่อไปนี้

- ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อน เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการเกิดการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนภายในมวลสารของวัสดุ
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษางานวิจัยที่ได้มีการวิจัยมาก่อนหน้าเพื่อเป็นแนวทางในการผสมผสานมวลสาร

2.1 คุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้องในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อน

การหน่วงเหนี่ยวถ่ายเทความร้อนของวัสดุเกิดจากตัวแปรประกอบหลายประการ สามารถแบ่งออกเป็นตัวแปรภายนอกและตัวแปรภายในเนื้อวัสดุ โดยศึกษาเฉพาะคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนและการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

- คุณสมบัติที่ผิวภายนอกวัสดุ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อถ่ายเทพลังงานนอกมวลสารของวัสดุ
- คุณสมบัติภายในเนื้อวัสดุ เพื่อศึกษากระบวนการถ่ายเทพลังงานที่เกิดขึ้นภายในเนื้อมวลสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1 คุณสมบัติที่ผิวภายนอกวัสดุ

คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสี (Radiation) คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการแผ่รังสีของวัสดุ ประกอบไปด้วยทฤษฎี ดังต่อไปนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Absorbitivity) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีความร้อน (Emissivity) และอัตราส่วน ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีความร้อน (α / ϵ)
- อุณหภูมิผิววัสดุเมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์ Sol-air Temperature

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Absorbitivity) ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีความร้อน (Emissivity) และอัตราส่วน ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีความร้อน (α / ϵ)

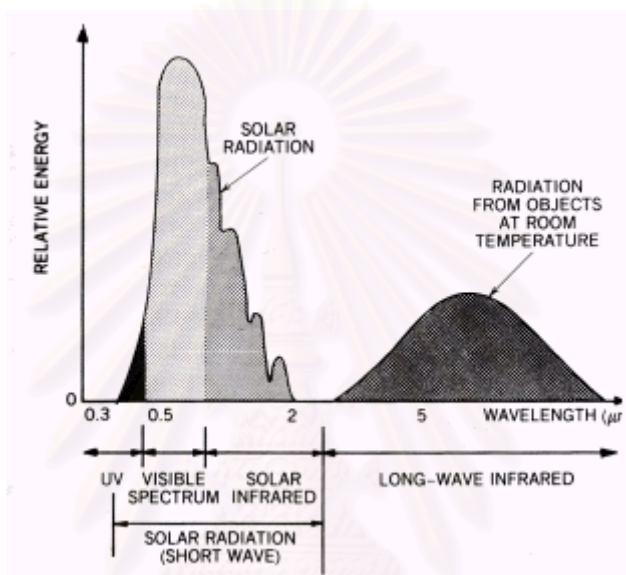
คุณสมบัติทั้งสามเป็นค่าที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบหนึ่ง คือ การแผ่รังสีความร้อน โดยทั่วไปคุณสมบัติในการแผ่รังสีความร้อนขึ้นอยู่กับรังสี 2 ประเภท ได้แก่รังสีคลื่นสั้นหรือรังสีดวงอาทิตย์ (Shortwave radiation or Solar radiation) และรังสีคลื่นยาว (Longwave radiation)

รังสีคลื่นสั้นหรือรังสีดวงอาทิตย์ (Shortwave radiation or Solar radiation)

ตามทฤษฎีการแผ่รังสีความร้อน เมื่อผิววัสดุใดมีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส จะมีการแผ่รังสีให้กับผิววัสดุที่เย็นกว่า แหล่งพลังงานขนาดใหญ่ที่มีการแผ่รังสีให้กับวัตถุต่างๆบนพื้นโลกได้แก่ดวงอาทิตย์ ผิวของดวงอาทิตย์มีความร้อนสูง ประมาณ 10000 องศาฟาเรนไฮต์ จึงกระจายรังสีออกมาในรูปของคลื่นสั้น (วัตถุบนโลกไม่สามารถกระจายรังสีในรูปคลื่นสั้นได้เนื่องจากมีพลังงานไม่เพียงพอ) เป็นรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation) วัตถุต่างๆบนผิวโลก รังสีดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วยช่วงคลื่นรังสีต่างๆ ได้แก่ อุลตราไวโอเล็ต (Ultra violet) แสงสว่าง (Visible light) อินฟราเรด (Shortwave infrared)

รังสีคลื่นยาว (Longwave radiation)

รังสีคลื่นยาวเป็นพลังงานที่เกิดการแลกเปลี่ยนกันของวัสดุบนพื้นโลก ความแตกต่างของรังสีคลื่นยาวอยู่ที่ผิววัสดุที่เกิดการแผ่รังสีคลื่นยาวบนพื้นโลกได้แก่ มนุษย์ อาคาร รถยนต์ ฯลฯ ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 0 – 150 องศาฟาเรนไฮต์ แหล่งกำเนิดพลังงานเหล่านี้เมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์แล้วคิดเป็นสัดส่วนเพียงแค่ 1/160000 เท่า ดังนั้นพลังงานที่น้อยกว่าจึงทำให้ช่วงคลื่นของรังสีคลื่นยาวมีความแตกต่างไปจากรังสีดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2.1 แสดงช่วงคลื่นต่างๆใน Electromagnetic Spectrum

ที่มา: Lechner and Norbert, 1991:16

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ (Absorbivity)

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ (Shortwave Radiation) ตกกระทบถูกผิววัสดุที่บดแสง จะเกิดการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Reflect) หรือ ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ในรูปของคลื่นสั้น (Longwave Radiation) ค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของผิววัสดุถูกจำกัดความว่าเป็นอัตราส่วนระหว่าง ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ในรูปของสมการ ดังต่อไปนี้

$$\alpha = \frac{\text{รังสีที่ถูกดูดกลืน (absorbed radiation)}}{\text{รังสีที่ตกกระทบ (incident radiation)}}$$

ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนนี้จะไม่เท่ากับค่าการดูดกลืนรังสีคลื่นยาวของผิววัสดุ ส่วนรังสีที่เหลือจากการดูดซับจะถูกสะท้อนออก (reflected) ความสามารถในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์นี้คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุ (Reflectance : ρ) ซึ่งเท่ากับ $1 - \alpha$ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ($1 - \alpha$)

การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์เป็นกระบวนการที่เกิดทางเดียว (One way process) เนื่องจากเราจะไม่พบผิววัสดุที่มีอุณหภูมิสูงเท่าผิวดวงอาทิตย์ ดังนั้นรังสีที่แผ่ออกมาจากผิววัสดุที่ร้อนบนพื้นโลกจะมีพลังงานไม่เพียงพอที่จะแผ่ออกมาในรูปคลื่นสั้น แต่จะอยู่ในรูปคลื่นยาว (Longwave radiation) แทน ซึ่งความสามารถในการแผ่รังสีคลื่นยาวจากผิววัสดุที่ร้อนไปยังผิววัสดุที่เย็นกว่าจะขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ในการกระจายรังสีความร้อนของวัสดุ (Emissivity)

ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีความร้อน (Emissivity)

เมื่อผิววัสดุดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในตัววัสดุแล้ว ผิววัสดุอาจจะเกิดการแผ่รังสีเองจากตัวผิววัสดุที่ร้อนไปยังที่ที่เย็นกว่า ความสามารถในการแผ่รังสีในรูปของคลื่นยาวจากผิววัสดุถูกจำกัดความว่าเป็นค่าการกระจายความร้อนของวัสดุ (Emissivity) โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณการแผ่รังสีจากผิววัสดุ กับปริมาณการแผ่รังสีจากวัตถุดำในอุดมคติ (Black body) ตามสมการ ดังต่อไปนี้

$$\varepsilon = \frac{\text{ปริมาณการแผ่รังสีจากผิววัสดุ radiation from material}}{\text{ปริมาณการแผ่รังสีจากวัตถุดำในอุดมคติ radiation from blackbody}}$$

วัตถุดำในอุดมคติเป็นวัตถุที่มีการรับและคายรังสีได้เท่ากัน (Absorbance = Emittance) ดังนั้น ค่า ε ของวัตถุดำจะมีค่าเป็น 1 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดสำหรับค่าการกระจายรังสีความร้อนออกจากวัสดุ โดยทั่วไปผิววัสดุในการก่อสร้างที่มีผิวหยาบมักจะมีค่า Emissivity อยู่ที่ประมาณ 0.9 เช่น อิฐ มอญ เป็นต้น

อัตราส่วน ระหว่าง ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจากดวงอาทิตย์ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายรังสีความร้อน (α / ε)

เมื่อนำ ค่าการดูดกลืนรังสีของผิววัสดุ และค่าการกระจายความร้อนของวัสดุ มาสร้างเป็นอัตราส่วน จะเป็นค่าที่สามารถบอกได้ว่าวัสดุชนิดนั้นๆมีพฤติกรรม ในเรื่องของการแผ่รังสี ค่านี้ถูกจำกัดให้อยู่ในรูปของสมการ ดังต่อไปนี้

$\alpha / \varepsilon =$	$\frac{\text{ค่าการดูดกลืนรังสีของวัสดุ } (\alpha)}{\text{ค่าการกระจายความร้อนของวัสดุ } (\varepsilon)}$
--------------------------	--

จากสมการ ค่าอัตราส่วนนี้จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าของวัตถุดำในอุดมคติที่มีค่าการดูดกลืนและการกระจายความร้อนที่เท่ากัน วัตถุดำในอุดมคตินี้ไม่มีในความเป็นจริงดังนั้นการศึกษา ค่าอัตราส่วนนี้จึงมีอยู่ 2 กรณีที่เกิดขึ้นจริง

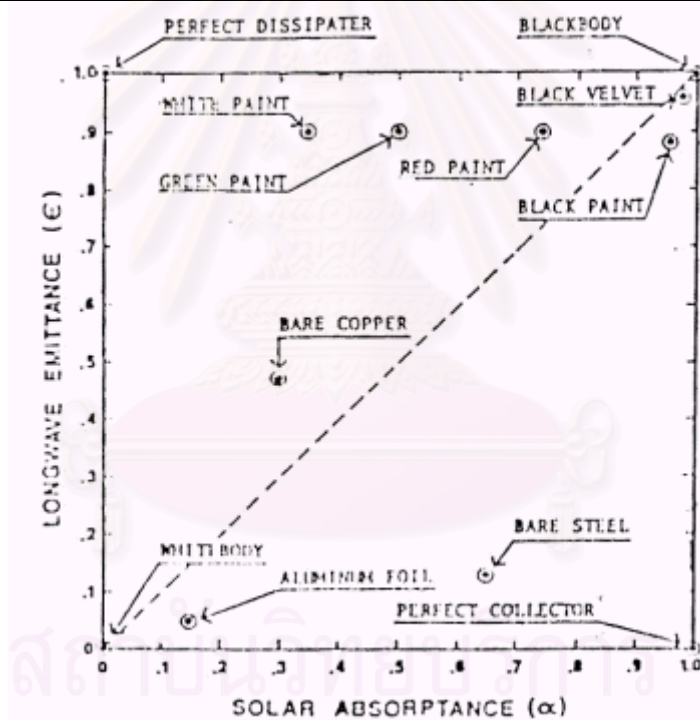
- ค่าอัตราส่วน α / ε ต่ำกว่า 1 หมายถึง ผิววัสดุมีการคายความร้อนที่ดีกว่าการดูดกลืนความร้อน
- ค่าอัตราส่วน α / ε สูงกว่า 1 หมายถึง ผิววัสดุมีการดูดกลืนความร้อนที่ดีกว่าการคายความร้อน

ทั้งสามค่าเป็นค่าที่ได้จากบริเวณผิววัสดุโดยไม่เกี่ยวข้องกับเนื้อวัสดุ ถ้าวัสดุถูกเคลือบ (coating) ค่าทั้งสามจะเป็นค่าของเคลือบผิวของวัสดุนั้นๆ และค่าอัตราส่วนในการดูดกลืนความร้อนและการกระจายความร้อนมีความสัมพันธ์กัน ดังต่อไปนี้

$\alpha + \varepsilon = 1$

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของผิววัสดุบางชนิด

Surface	Solar Absorbance (α)	Longwave Emittance (ε)	α/ε Ratio
White enamel on iron	0.15 – 0.45	0.90	0.28 – 0.50
Green paint	0.5	0.90	0.56
Red oil base paint	0.74	0.90	0.82
Black paint	0.94 – 0.98	0.88	1.07 – 1.11
Black velvet	0.98	0.96	1.02
Aluminum foil	0.15	0.05	3.00
Bare copper plate	0.20 – 0.40	0.40 – 0.65	0.50 – 0.62
Bare steel plate	0.65	0.13	5.00



ภาพที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของผิววัสดุเมื่อเปรียบเทียบโดยค่า α/ε วัสดุผิวที่เข้าใกล้ปลายของเส้นประที่มุมขวาบนของกราฟจะมีลักษณะใกล้เคียงวัตถุในอุดมคติที่มีการรับและการคายรังสีเท่ากัน ($\alpha/\varepsilon = 1$) ส่วนวัตถุที่เข้าใกล้มุมซ้ายบนจะเป็นวัตถุที่มีการกระจายความร้อนสูงสุด (Perfect Dissipater) ส่วนวัตถุที่เข้าใกล้มุมขวาล่างจะมีลักษณะเป็นตัวดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ที่ดีที่สุดเหมาะกับการใช้งานกักเก็บรังสีดวงอาทิตย์ (Perfect Collector)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด

Surface	Solar Absorbance	Surface	Solar Absorbance
Brick		Roofing Materials	
Glazed, white	0.26	Asbestos-cement, white	0.42
Glazed, ivory to cream	0.35	Asbestos-cement, 6 month exposed	0.61
Common, light red	0.55	Asbestos-cement, 12 month exposed	0.71
Common, red	0.68	Asbestos-cement, 6 years exposed, verydirty	0.83
Wire-cut, red	0.52		
Blue	0.89	Asbestos-cement, red	0.69
Limestone		Asphalt, new	0.91
Light	0.35	Asphalt, weathered	0.82
Dark	0.50	Bitumen-cover roofing sheet, brown	0.87
Sandstone		Bitumen-cover roofing sheet, green	0.86
Light fawn	0.54	Bituminous felt	0.88
Light grey	0.62	Bituminous felt with alluminized surface	0.40
Red	0.73	Slate, silver grey	0.79
Marble		Slate, blue grey	0.87
White	0.44	Slate, greenish grey, rough	0.88
Dark	0.66	Slate, dark grey, smooth	0.89
Granite		Slate, dark grey, rough	0.90
Reddish	0.55	Tar paper, black	0.93
Paints		Tile, clay, machine made, red	0.64
Aluminum	0.54	Tile, clay, machine made, dark purple	0.81
Cellulose, white	0.18	Tile, clay, hand made, red	0.60
Cellulose, yellow	0.33	Tile, clay, hand made, reddish brown	0.69
Cellulose, orange	0.41	Tile, concrete, uncolored	0.65
Cellulose, signal red	0.44	Tile, concrete, brown	0.85
Cellulose, dark red	0.57	Tile concrete, black	0.91
Cellulose, brown	0.79		
Cellulose, grey	0.75		
Cellulose, bright green	0.79		
Cellulose, light green	0.50		
Cellulose, dark green	0.88		
Cellulose, dark blue	0.91		
Cellulose, black	0.94		

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด (ต่อ)

Surface	Solar Absorbance	Surface	Solar Absorbance
Metal		Ground cover	
Steel, vitreous enameled, white	0.45	Asphalt, pavement	0.93
Steel, vitreous enameled, green	0.76	Desert ground surface	0.75
Steel, vitreous enameled, dark red	0.81	Grass, green, after rain	0.67
Steel, vitreous enameled, blue	0.80	Grass, high & dry	0.67 - 0.69
Galvanized iron, new	0.64	Ice with sparse snow cover	0.31
• Very dirty	0.92	Oak leaves	0.71 - 0.78
• White washed	0.22	Sand, dry	0.82
Copper polished	0.18	Sand, wet	0.91
• Tamished	0.64	Sand, white powdered	0.45
Lead sheeting, old	0.79	Snow, fine particles, fresh	0.13
		Snow, ice granules	0.33
Miscellaneous		Water	0.94
Aluminum, polished			
Concrete			
Copper, polished			
Plaster, white			
Silver, polished			
Wood, pine			

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าการกระจายรังสีคลื่นยาวของวัสดุก่อสร้างบางชนิด

Surface	Longwave Emittance	Surface	Longwave Emittance
Aluminum, polished	0.03	Lead, grey, oxidized	0.28
Aluminum (alloy 1100), commercial sheet, heavy oxidized	0.09	Limestone, at 145 °-380°F	0.36-0.90
Aluminum-coated pape, polished	0.20	Lime wash	0.91
Aluminum foil, bright	0.05	Magnesium, oxidized	0.55
Aluminum sheet	0.12	Marble, light grey, polished	0.931
Asbestos, board	0.96	Nickel, electro plated, polished	0.045
Asbestos, insulation (paper)	0.93	Paints:	
Black surface, absolved	1	Aluminum	0.50
Brass		Aluminum lacquer, on rough plate	0.39
Red (85%Cu, 15%Zn) high polished	0.030	Black lacquer	0.80
Yellow (65%Cu, 35%Zn) high polished	0.033	Black shellac, "matte" finish	0.91
Brick building	0.93	Flat black lacquer	0.96
Building materials: wood, paper, masonry, non-metalic-paints	0.90	Oils, all color	0.92-0.96
Cadmium	0.02	White enamel, on rough plate	0.91
Carbon (gas retrot)	0.81	White lacquer	0.80
Chalk	0.34	Paper, pasted on tinned plate	0.92
Concrete	0.88	Plaster, rough white	0.91
Concrete, rough	0.97	Platinum, polished	0.054
Copper (electrolitic), commercial shiny	0.072	Porcelain, glazed	0.92
Earth, dry packed	0.41	Rubber	
Fireclay brick, at 1.832 °F	0.75	Vulcanized soft, rough	0.86
German silver (nickel silver), polished	0.135	Vulcanized, hard, glossy	0.95
Glass		Silver, polished and at 440 °F	0.02
Crown (soda lime), smooth	0.94	Steel, galvanized, brigh	0.25
Regular, smooth	0.84	Steel, mild, cleaned	0.12
Gold, high polished	0.02	Tin, bright and st 122 °F	0.06
Graphite "karbase" (impervious)	0.75	Tungsten, filament at 80 °F	0.032
Gypsum, on a smooth plate	0.903	Wood, white Oak, planed	0.90
Ice, at 32 °F	0.95	Zinc:	
		Cast, polished	0.05
		Galvanizing, fairly bright	0.23
		Iron	
		Cast, freshy turned	0.435
		Wrought, duil, oxidized	0.94

อุณหภูมิผิววัสดุเมื่อได้รับรังสีดวงอาทิตย์ Sol-air Temperature

ปัจจัยทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารที่มีความรุนแรงและมีความแปรปรวนสูงปัจจัยหนึ่ง ได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องกระทบถูกผิววัสดุผนังภายนอกอาคารจะทำให้อุณหภูมิผิวผนังมีค่าสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิอากาศ เมื่ออุณหภูมิผิวผนังสูงขึ้นจะทำให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกอาคารมีค่าสูงขึ้น การถ่ายเทความร้อนจะมีปริมาณที่มากขึ้นตามสมการ $Q = UA \Delta T$ ดังนั้นเมื่อผิวผนังอาคารโดนรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งมีความแปรปรวนตามสภาพท้องฟ้าตลอดวันจะส่งผลต่อกระบวนการในการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารทำให้มีความแปรปรวนตามไปด้วย

อุณหภูมิผิวเนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ในขณะใดขณะหนึ่ง สามารถคำนวณได้จากสมการ

เมื่อ

t_e	=	Sol – air Temperature มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$
t_o	=	อุณหภูมิอากาศภายนอก มีหน่วยเป็น $^{\circ}\text{C}$
I_t	=	รังสีความร้อนที่ตกกระทบทั้งหมด มีหน่วยเป็น W/m^2
α	=	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ไม่มีหน่วย
h_o	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผิวภายนอกทั้งหมดรวมทั้ง Long wave Radiation และ Convection มีหน่วยเป็น $\text{W} / \text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$
δ_R	=	อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของผิววัสดุกับสภาพแวดล้อมและท้องฟ้า มีหน่วยเป็น W / m^2
ϵ	=	สัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนจากผิววัสดุ ไม่มีหน่วย

จากสมการจะพบว่าการใช้งานสมการนี้ตัวแปรสำคัญดังต่อไปนี้

- I_t ซึ่งเป็นค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวเป็นตัวแปรที่สำคัญ เนื่องจากค่านี้ในสมการจะเป็นค่าที่สูงมากเนื่องจากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าสูงและเป็นตัวแปรหลักในสมการหมายความว่าเมื่อสามารถสร้างการบังเงาให้แก่วัสดุผนังจะทำให้ค่าอุณหภูมิผิวมีค่าลดลง
- α และ ϵ ตัวแปรทั้ง 2 เป็นคุณสมบัติของผิววัสดุในการรับและกระจายความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ในการใช้วัสดุเคลือบผิวที่แตกต่างกันย่อมจะส่งผลต่ออุณหภูมิของวัสดุเนื่องจากแสงอาทิตย์ด้วย

2.1.2 คุณสมบัติภายในเนื้อวัสดุ

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)
- ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (Heat Capacity)
- สภาพการแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity)

ค่าการนำความร้อน(C) ค่าความต้านทานความร้อน(R) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U)

วัตถุทุกชนิดมีการนำความร้อนที่แตกต่างกันคุณสมบัตินี้ของวัสดุถูกจำกัดความว่าเป็น ค่าการนำความร้อน (Conductivity) ค่าการนำความร้อนนี้จะสามารถบอกถึงปริมาณความร้อนที่สามารถผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ 1 ตารางฟุต มีความหนา 1 นิ้ว เมื่อมีค่าอุณหภูมิแตกต่าง 1 องศาฟาเรนไฮต์

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) เป็นค่าที่บอกถึงอัตราในการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่มีพื้นที่ 1 ตารางฟุต เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 องศาฟาเรนไฮต์ สำหรับวัสดุที่มีการรวมกันหลายชั้นและรวมค่าการนำความร้อนจากฟิล์มอากาศบริเวณผิววัสดุภายในและภายนอกอาคารแล้ว

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนนี้สามารถคำนวณหาได้จากการคิดผลรวมส่วนกลับของค่าการนำความร้อน (C) ของวัสดุในแต่ละชั้น และฟิล์มอากาศ โดยคำนวณความหนาของวัสดุด้วย ซึ่งค่านี้จะเท่ากับค่าความต้านทานความร้อนรวม (R) ของวัสดุ ค่าการนำความร้อน(C) ค่าความต้านทานความร้อน(R) และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) มีความสัมพันธ์กัน ดังสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ	Q	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นใน 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็น WATT/M ² -HOUR
	U	=	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมซึ่งเป็นส่วนกลับจากสูตร $U = 1/\sum R$ เมื่อ R เป็นค่าความต้านทานของวัสดุในแต่ละชั้นรวมค่าความต้านทานของฟิล์มอากาศภายในและภายนอกด้วย
	ΔT	=	ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก

เมื่อวิเคราะห์สมการข้างต้นจะพบว่าตัวแปรที่มีความสำคัญในการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในจะเป็นค่า U เนื่องจากเมื่อค่านี้แปรผันตามวัสดุที่ใช้จะส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนในทันทีทำให้เกิดอัตราเร็วในการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อค่านี้ต่ำจนถึงระดับหนึ่งความร้อนภายนอกก็จะไม่สามารถถ่ายเทเข้ามาภายในจนทำให้อุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (Heat Capacity) และการคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิวัสดุ

ในการถ่ายเทความร้อนผ่านจากภายนอกอาคารเข้าสู่ภายในอาคาร พลังงานความร้อนที่ผิวผนังภายนอกได้รับไม่ได้ทำให้อุณหภูมิของผนังสูงขึ้นในทันที ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดต้องการปริมาณความร้อนเฉพาะที่แตกต่างกันจำนวนหนึ่งในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุขึ้นไปทุกๆ 1 องศา

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

ในการคำนวณค่าความจุความร้อน (Heat capacity) ของวัสดุต่างๆ เพื่อทราบค่าปริมาณความร้อนที่วัสดุชนิดหนึ่งต้องการในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุขึ้นไป 1 องศา ในทุกๆ 1 หน่วยปริมาตรสามารถคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ

C = ค่าความจุความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น $\text{Btu/ft}^3 \text{ } ^\circ\text{F}$

p = ความหนาแน่นของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb/ft^3

c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น $\text{Btu/lb } ^\circ\text{F}$

m = มวลของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb

v = ปริมาตรของวัสดุ มีหน่วยเป็น ft^3

ค่าความจุความร้อนจำเพาะยังสามารถใช้คำนวณหาปริมาณความร้อนที่วัสดุต้องการในการเปลี่ยนอุณหภูมิ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิวัสดุให้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการ

โดยมีสมการ ดังต่อไปนี้

$$Q = mc \Delta t$$

เมื่อ

- Q = ปริมาณความร้อน มีหน่วยเป็น Btu
 m = มวลสารของวัสดุ มีหน่วยเป็น lb
 c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu/lb °F
 Δt = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่ต้องการ มีหน่วยเป็น °F

สภาพการแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity)

สภาพการแพร่กระจายความร้อนเป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อบอกถึงคุณสมบัติในการแพร่กระจายความร้อนในเนื้อวัสดุ โดยถูกจำกัดให้อยู่ในรูปของสมการ ดังต่อไปนี้

$$D = k/pc$$

เมื่อ

- D = สภาพการแพร่กระจายความร้อน มีหน่วยเป็น ft² / hr
 k = ค่าการนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu / ft² hr °C
 p = ความหนาแน่น มีหน่วยเป็น lb / ft³
 c = ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น Btu / lb °F

จากสมการสามารถตีความถึงสภาพการแพร่กระจายความร้อนว่าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสองของความหนาของวัสดุ ต่อเวลาที่ใช้ในการให้หรือรับความร้อนของวัสดุ ค่านี้สามารถตีความหมายว่าเป็นเวลาที่ต้องการในการให้ความร้อนกับวัสดุจนมีอุณหภูมิที่ต้องการค่าหนึ่ง เวลานี้จะเป็นสัดส่วนตรงกับกำลังสองของความหนาวัสดุ ดังนั้นวัสดุที่มีค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อนสูงจะตอบสนองสภาวะการเปลี่ยนแปลงได้รวดเร็วมากกว่าวัสดุที่มีค่าสภาพการแพร่กระจายความร้อนต่ำ

2.1.3 สรุปผลการศึกษาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในบทนี้เพื่อที่จะหาแนวทางในการควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในวัสดุทดลอง เพื่อให้ผลการทดลองออกมาได้อย่างถูกต้อง โดยกำหนดให้รูปแบบการผสมผสานมวลสารเข้าด้วยกันเป็นตัวแปรอิสระเพื่อตรวจสอบตัวแปรตาม โดยที่ตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องในเชิงฟิสิกส์ของระบบการถ่ายเทความร้อนจำเป็นจะต้องอยู่ในลักษณะตัวแปรควบคุม จากการศึกษาทฤษฎีในระบบการถ่ายเทความร้อนพบว่าในเชิงฟิสิกส์จำเป็นจะต้องควบคุมตัวแปรภายนอกวัสดุและตัวแปรภายในวัสดุดังต่อไปนี้

ตัวแปรภายนอกวัสดุ

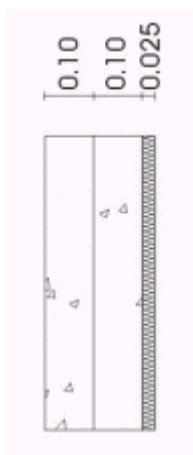
สมการ	ตัวแปรที่ต้องควบคุม	ลักษณะการควบคุม
α / ϵ	α และ ϵ	ควบคุมด้วยการเคลือบผิวชนิดเดียวกัน
$t_e = t_0 + \alpha l_i / h_0 - \epsilon \delta R / h_0$	l_i , α และ ϵ	ควบคุมด้วยการเคลือบผิวชนิดเดียวกัน และจัดวัสดุทดสอบในพื้นที่เดียวกัน เพื่อให้ได้รับรังสีเท่าเทียมกัน

ตัวแปรภายในเนื้อวัสดุ

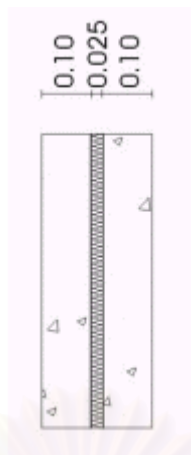
$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$	U และ A	ใช้วัสดุชนิดเดียวกันที่มีความหนาเท่ากัน และมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน
$Q = mc \Delta t$	C และ M	ใช้วัสดุชนิดเดียวกันที่มีปริมาตรเท่ากัน

จากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าในแต่ละขั้นตอนของการจัดวางวัสดุเพื่อผสมผสานรูปแบบมวลสารที่ใช้ในการทดลองทั้ง 3 ดังรูป

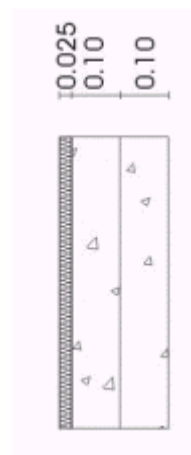
- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสารมาก – มวลสารมาก – มวลสารน้อย
- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสารมาก – มวลสารน้อย – มวลสารมาก
- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสารน้อย – มวลสารมาก – มวลสารมาก



การผสมมวลสารในรูปแบบ
มวลสาร – มวลสาร – ฉนวน



การผสมมวลสารในรูปแบบ
มวลสาร – ฉนวน – มวลสาร



การผสมมวลสารในรูปแบบ
ฉนวน – มวลสาร – มวลสาร

ภาพที่ 2.3 แสดงรูปแบบการผสมผสานที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

จำเป็นจะต้องใช้วัสดุที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกันที่มีปริมาตรความหนาเท่ากันเพื่อควบคุมตัวแปรที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและให้รูปแบบในการผสมผสานมวลสารเป็นตัวแปรอิสระอย่างแท้จริง จากนั้นจึงควบคุมสภาพแวดล้อมในการทดสอบให้เหมือนกันโดยจัดวางวัสดุทดสอบและควบคุมให้อยู่ภายในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกันในพื้นที่เดียวกันเพื่อควบคุมปริมาณพลังงานที่จะถ่ายเทเข้าสู่วัสดุทดสอบได้เท่าเทียมกัน ซึ่งการกระทำเช่นนี้จำเป็นจะต้องสร้างกล่องทดสอบวัสดุเพื่อควบคุมวัสดุให้อยู่ในสภาพเดียวกันโดยจะกล่าวถึงในขั้นตอนของระเบียบวิธีวิจัยต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

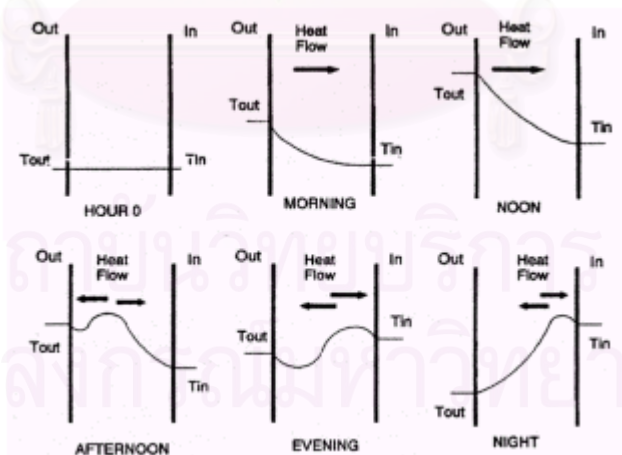
ในช่วงเวลาที่ผ่านมาการนำสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ถูกพัฒนาและนำมาใช้ใน รูปแบบต่างๆสำหรับในต่างประเทศ ส่วนในประเทศไทยยังไม่ได้มีการศึกษาเพื่อการนำมาใช้ประโยชน์ อย่างจริงจัง การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงได้นำเสนอรูปแบบการวิจัยและการใช้ประโยชน์จาก สภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในต่างประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

2.2.1 พฤติกรรมการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนภายในมวลสาร

“การเกิดการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนภายในมวลสาร” เป็นความคลาดเคลื่อนใน กระบวนการถ่ายเทความร้อน ก่อให้เกิดผลของความคลาดเคลื่อน โดยถูกแสดงออกมา ใน 2 สภาวะ (Victor, 1992:115) คือ

- การเลื่อนเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคาร จากเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดภายนอก (Shift in Phase)
- ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดภายในและภายนอกอาคาร (Decrease in amplitude)

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น เกิดจากการแทรกซึมของความร้อนผ่านเนื้อวัสดุ (Thermal penetration through materials) ถูกขัดขวางจากความหนาแน่นของมวลสารภายในเนื้อวัสดุ ทำให้ ความร้อนไม่สามารถเดินทางจากภายนอกอาคารผ่านเนื้อวัสดุได้ในทันที แต่จะถูกกักเก็บไว้ภายใน เนื้อวัสดุเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนจะถูกปล่อยออกมาภายในอาคาร



ภาพที่ 2.4 ภาพแสดงการเกิดสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ

ที่มา: Santamouris and Asimakopoulos, 1996:187

- ชั่วโมงที่ 0 แรกเริ่มตั้งสมมุติฐานว่าวัสดุอาคารภายหลังการติดตั้งมีอุณหภูมิภายนอก (Tout) และภายใน (Tin) อาคารเท่ากัน
 - ในตอนเช้า เมื่ออุณหภูมิภายนอกเริ่มสูงขึ้น อุณหภูมิภายในของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้นตาม โดยอุณหภูมิของส่วนที่ใกล้ผิวผนังด้านนอกจะมีความใกล้เคียงอุณหภูมิภายนอกมากกว่า โดยที่อุณหภูมิผิวภายในอาคารยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนยังไม่สามารถผ่านเข้ามาถึง เกิดการเลื่อนเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดภายในอาคาร จากเวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดภายนอก (Shift in Phase)
 - ในตอนเที่ยง เมื่ออุณหภูมิภายนอกถึงจุดสูงสุด อุณหภูมิของผิวภายในเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีความร้อนบางส่วนผ่านมาถึงผิวภายในบ้าง
 - ในตอนบ่าย เมื่ออุณหภูมิภายนอกเริ่มลดลงจากจุดสูงสุด อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุจะยังคงมีความร้อนที่ได้รับจากตอนเที่ยงกักเก็บอยู่เป็นผลให้ภายในเนื้อวัสดุมีอุณหภูมิที่สูงกว่าภายนอกอาคาร การถ่ายเทความร้อนจึงแยกออกเป็น 2 ทิศทาง คือพยายามผ่านเข้ามาภายในอาคารและพยายามผ่านออกไปนอกอาคาร ตามกฎของการถ่ายเทความร้อนที่ระบุว่า การถ่ายเทความร้อนจะเกิดจากที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ
 - ในตอนเย็น เมื่ออุณหภูมิภายนอกลดลงเรื่อยๆ ความร้อนสูงสุดจากช่วงเที่ยงซึ่งถูกกักเก็บไว้ในมวลสารเริ่มเคลื่อนที่เข้ามาใกล้บริเวณผิวภายในทำให้อุณหภูมิภายในอาคารเริ่มสูงขึ้น ในขณะที่การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นทั้ง 2 ด้าน ทำให้อุณหภูมิสูงสุดภายในเนื้อวัสดุมีค่าสูงสุดที่ลดลงจากตอนกลางวัน เนื่องจากมีความร้อนบางส่วนที่ถูกถ่ายเทออกภายนอกอาคาร เกิดการคลาดเคลื่อนของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสูงสุดภายในและภายนอกอาคาร (Decrease in amplitude)
 - ในตอนกลางคืน เมื่ออุณหภูมิที่ถูกกักเก็บไว้ในมวลสารจากตอนเที่ยงเข้ามาถึงผิวภายในอาคารเต็มที่ เป็นผลทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก
- จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า การเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนสูงจะทำให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องมีค่าใกล้เคียงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันของอากาศภายนอก

2.2.2 Time Lag Method

ในระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของมวลสารเพื่อที่จะสร้างการคาดคะเนระยะเวลาที่เกิดการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนในมวลสารอย่างง่าย ๆ สำหรับนำไปใช้เลือกวัสดุให้เหมาะสมกับอาคารต่างๆ

จากหนังสือ Minimum Energy Dwelling ได้ระบุถึงงานวิจัยที่เป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาคำนวณระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของมวลสารต่างๆ ไว้ว่าเริ่มจากงานวิจัยของ Mackey & Wright จาก Cornell University (Burt Hill, cited in Mackey, 1944) วิธีในการคำนวณระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนนี้ถูกเรียกว่า Time Lag Method กรรมวิธีนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ในช่วงที่เริ่มมีการใช้เครื่องปรับอากาศกันอย่างแพร่หลาย เพื่อที่จะแก้ไขการ over-estimated ของการปรับอากาศภายในอาคาร อย่างไรก็ตามการคำนวณด้วยวิธีนี้ค่อนข้างจะเป็นการประมาณการเบื้องต้นที่ไม่ถูกต้อง 100 %

ภายหลังจากกรรมวิธีคำนวณแบบ Time Lag Method ได้ถูกพัฒนาขึ้นก็ได้มีการพัฒนากกรรมวิธีการคำนวณแบบต่างๆขึ้นอีกมากมาย เพื่อสร้างความถูกต้องในการคำนวณให้มากยิ่งขึ้น เช่นกรรมวิธีแบบ Thermal Respond Method ซึ่งจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณเนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่ซับซ้อนพอสมควร อย่างไรก็ตาม กรรมวิธีแบบ Time Lag Method ยังคงเป็นวิธีที่มีประโยชน์และรวดเร็วสามารถช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุทั้งในรูปแบบ มวลสารเนื้อเดียว (Homogenous Material) และมวลสารเนื้อผสม (Composite Material) ได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว

Mackey & Wright ได้พัฒนาสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า Time lag และ Decrement factor ของวัสดุทั้งในรูปแบบมวลสารเนื้อเดียว (Homogenous Material) และมวลสารเนื้อผสม (Composite Material) สมการดังกล่าวถูกสร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่พิจารณาว่า อุณหภูมิภายในห้องคงที่ (เสมือนมีการปรับอากาศ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการดังกล่าวประกอบด้วยตัวแปรหลักที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- Thermal diffusivity (α)
- Thickness of building component (L)
- Cycle period (T)

ขั้นตอนในการคำนวณเริ่มจากการหาค่าอุณหภูมิผิวเนื่องจากแสงอาทิตย์ที่กระทำต่อผิววัสดุ (Sol-air temperature) ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกสูงสุดและต่ำสุดจะเป็นช่วงของอุณหภูมิ (External amplitude : θ_o) ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าช่วงของอุณหภูมิภายใน (Internal Amplitude : θ_i) โดยสัมพันธ์กับค่า Decrement factor (λ) ดังนี้

$$\theta_i = \lambda \theta_o$$

เมื่อเกิดพฤติกรรมการณ์หน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนในเนื้อวัสดุ ช่วงเวลาที่เกิดอุณหภูมิภายในสูงสุดจะคลาดเคลื่อนออกไปเป็นระยะเวลา = ϕ ค่าการคลาดเคลื่อนนี้ถูกเรียกว่า Time lag สมการที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Mackey & Wright เพื่อการคำนวณหา Time lag (ϕ) และ Decrement factor (λ) ซึ่งถูกกล่าวโดย Drefus มีดังต่อไปนี้

$$\lambda = e^{-L} \sqrt{\pi / \alpha T}$$

$$\phi = \frac{1}{2} L \sqrt{T / \alpha \pi}$$

ซึ่งเมื่อให้ค่า T = 24 ชั่วโมง เป็นวงจรของวันแล้ว สมการจะส่งผลเป็น

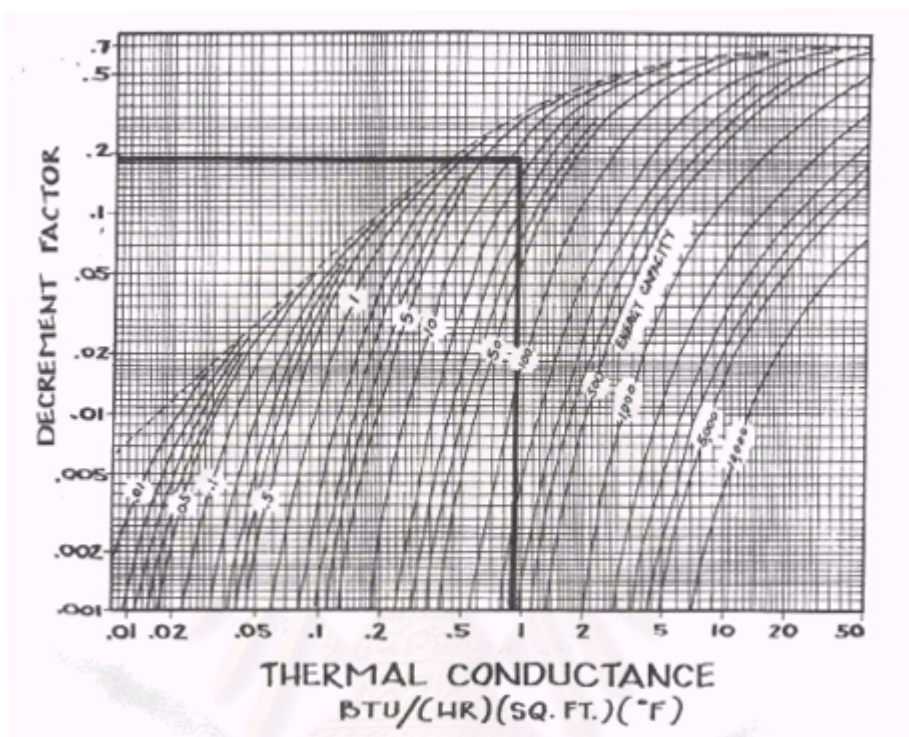
$$\lambda = e^{-0.362L} \sqrt{1 / \alpha}$$

$$\phi = 1.38 L \sqrt{1 / \alpha}$$

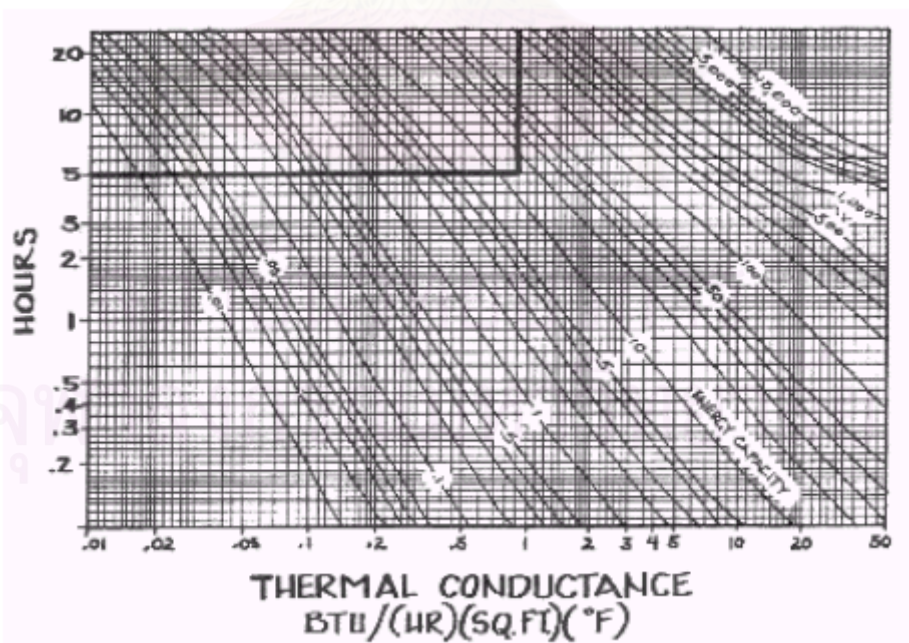
เมื่อ $\alpha = \text{Thermal diffusivity} = \frac{k/pC_p}{\text{density} * \text{specific heat}}$

L = Thickness of material

จะพบว่าในการคำนวณจากวิธีของ Mackey & Wright เป็นวิธีที่ออกจะซับซ้อนในการใช้งาน ดังนั้นในหนังสือ Minimum Energy Dwelling จึงมีการสรุปค่า Time lag และ Decrement factor อย่างง่ายๆ ในรูปแบบของแผนภูมิ (Burt Hill , cited in HEATING/PIPING/AIR CONDITIONING, 1977)



ภาพที่ 2.5 แผนภูมิสำหรับคำนวณ Decrement factor ของวัสดุ



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิสำหรับคำนวณ Time lag ของวัสดุ

ในการคำนวณเบื้องต้นอย่างง่าย ๆ สำหรับวัสดุที่เป็นเนื้อเดียวอาจสามารถใช้แผนภูมิเบื้องต้นได้ แต่สำหรับวัสดุที่เป็นเนื้อผสมกันในลักษณะ Composite จำเป็นต้องทำการคำนวณเปลี่ยนวัสดุผสมให้เป็นวัสดุเนื้อเดียวเสียก่อน กรรมวิธีนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Mackey & Wright เช่นกัน โดยเป็นวิธีเบื้องต้นที่ไม่ถูกต้องทีเดียวแต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเบื้องต้นหรือใช้ในการเปรียบเทียบรูปแบบการผสมผสานเนื้อวัสดุได้เป็นอย่างดี

กรรมวิธีดังกล่าวมีรูปแบบในการคำนวณ โดยใช้สมการในการคำนวณหาค่า Energy capacity ของวัสดุที่บในลักษณะ Composite (C_0) ดังต่อไปนี้

$$C_0 = \frac{1.1 (C_0 + C_1 + C_2 + \dots + C_{n-1}) + A_0 (R_0 - 0.1(R_2 + R_3 + \dots + R_n))}{R_c}$$

- เมื่อ $C_0 + C_1 + C_2 + \dots + C_{n-1}$ = Energy Capacity รวมผนังภายนอกถึงผนังภายในก่อนชั้นสุดท้าย
- A_0 = อัตราส่วนระหว่าง energy capacity และ energy resistance ของผนังชั้นนอกสุด
- R_0 = Energy resistance ของผนังชั้นนอกสุด
- $R_2 + R_3 + \dots + R_n$ = Energy Resistance รวมผนังชั้นที่ 2 ถึงผนังภายใน
- R_c = Energy Resistance รวมผนังภายนอกถึงผนังภายใน

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

โครงการวิจัย อิทธิพลของการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน เป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณสมบัติทางด้านอุณหภูมิจึง (Thermal properties) ของวัสดุ ระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการศึกษาโครงการถูกแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนได้แก่

- ขั้นตอนที่ 1 การจัดการวัสดุเพื่อใช้ในการทดสอบ
- ขั้นตอนที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการทดสอบตั้งมาตรฐานเครื่องมือ
- ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบวัสดุ
- ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ผล
- ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผล

3.1 การจัดการวัสดุเพื่อใช้ในการทดสอบ

จากการศึกษาตัวแปรต่างๆในการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 เพื่อศึกษาผลกระทบจากตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมของการหน่วงเหนี่ยวถ่ายเทความร้อนของวัสดุ จึงนำความเข้าใจในพฤติกรรมของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อวัสดุทดลองมากำหนดคุณสมบัติของวัสดุทดลองเพื่อให้มีการควบคุมตัวแปรต่างๆที่ไม่ต้องการทดสอบให้เท่าเทียมกัน ในขณะที่เดียวกันตัวแปรที่ต้องการทดสอบต่างๆตามสมมุติฐานจะต้องมีการแปรผันที่สอดคล้องกับสมมุติฐานในการทดลอง

การจัดการวัสดุทดสอบเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ มีขั้นตอนสำคัญที่ใช้ในการกำหนดและสร้างวัสดุทดสอบ ดังต่อไปนี้

- การเลือกวัสดุทดสอบ
- การวิเคราะห์รูปแบบในการผสมมวลสารและฉนวน
- การผสมมวลสารวัสดุโดยควบคุมตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องในการวิจัย

3.1.1 การเลือกวัสดุทดสอบ

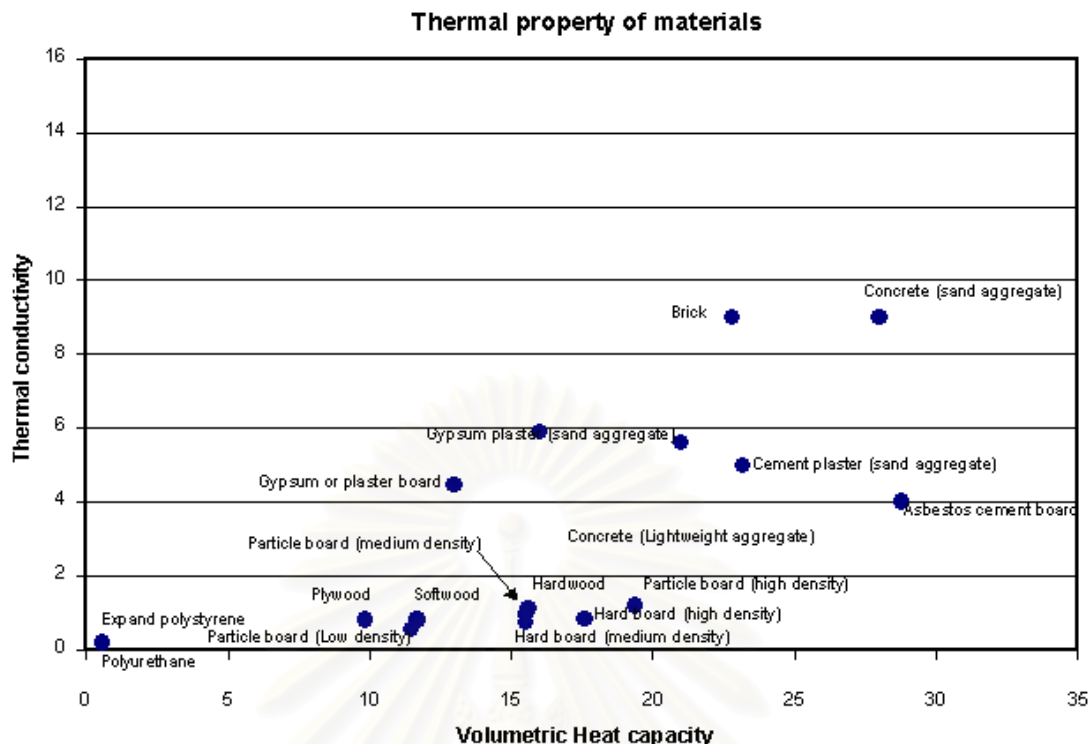
ในการคัดเลือกวัสดุได้คัดเลือกจากวัสดุที่มีการใช้งานในการก่อสร้างอาคารโดยอ้างอิงจากการเปรียบเทียบระหว่างชนิดวัสดุในกฎกระทรวง ออกตามความในพระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และค่าคงที่ที่ใช้จากหนังสือ Mechanical and Electrical Equipment for Building เนื่องจากในกฎกระทรวงไม่ได้ระบุค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ของวัสดุต่างๆ จึงจำเป็นต้องใช้ค่าที่ระบุจากหนังสือเล่มนี้ โดยได้คัดเลือกวัสดุที่เป็นตัวแทนของระบบผนังอาคารภายนอกที่มีการก่อสร้างโดยทั่วไปในปัจจุบัน ในขั้นตอนการวิเคราะห์จะวิเคราะห์การกระจายของวัสดุระหว่างค่าความสามารถในการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนของวัสดุเพื่อคัดเลือกวัสดุที่เป็นตัวแทนของวัสดุมวลสารและวัสดุฉนวนซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบผนังภายนอก โดยคำนึงถึงเกณฑ์ในการใช้งานประกอบไปด้วย ดังต่อไปนี้

เกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุมวลสาร และฉนวน ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เลือกวัสดุมวลสารและฉนวนที่จะนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ การตั้งเกณฑ์ทั้ง 3 ประการ เพื่อที่จะคัดเลือกวัสดุที่สามารถอ้างอิงถึงผลการวิจัยให้สามารถนำไปใช้จริงได้กับระบบการก่อสร้างภายในประเทศไทยได้ต่อไป เกณฑ์ในการคัดเลือกวัสดุ มีดังต่อไปนี้

- สามารถจัดหาได้ง่ายและมีความคงทนแข็งแรง
- เป็นวัสดุที่มีเทคนิคการก่อสร้างในรูปแบบของผนังภายนอกรองรับ
- เป็นวัสดุที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติทางด้าน Thermal ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ

Material	Density lb/ft ³	Specific Heat Btu/lb-°F	Volumetric Heat Capacity Btu/ft ³ -°F	Thermal Conductivity Btu-in./h-ft ² -°F
Building board				
Asbestos-cement board	120.0	0.24	28.8	4
Gypsum or plaster board	50.0	0.26	13	4.44
Plywood or wood panels	34.0	0.29	9.86	0.8
Hardboard				
Medium density	50.0	0.31	15.5	0.73
High density	55.0	0.32	17.6	0.82
Particle board				
Low density	37.0	0.31	11.47	0.54
Medium density	50.0	0.31	15.5	0.94
High density	62.5	0.31	19.375	1.18
Insulating materials				
Expanded polystyrene extruded	2.0	0.29	0.58	0.2
Cellular polyurethane	1.5	0.38	0.57	0.17
Masonry materials				
Concrete				
Lightweight aggregates	80.0	0.2	16	5.9
Sand and gravel or stone aggregate (not dried)	140.0	0.2	28	9
Masonry units				
Brick, common	120.0	0.19	22.8	9
Wood (12% moisture content)				
Hardwoods	40.0	0.39	15.6	1.1
Softwoods	30.0	0.39	11.7	0.8
Plastering materials				
Cement plaster, sand aggregate	116.0	0.2	23.2	5
Gypsum plaster, sand aggregate	105.0	0.2	21	5.6



ภาพที่ 3.1 แสดงการกระจายเมื่อระบุค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุความร้อนต่อหน่วยปริมาตร (Heat capacity) และค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ

จากการวิเคราะห์การกระจายจากแผนภูมิข้างต้นพบว่าคอนกรีตและโฟมโพลีสไตรีนเป็นวัสดุที่มีความแตกต่างในด้านของมวลสารและค่าความจุความร้อนสูงสุด ส่วนวัสดุอื่นๆจะจับกลุ่มกันอยู่ในช่วงล่างของแผนภูมิซึ่งได้แก่อิฐและแผ่นผนังชนิดต่างๆ วัสดุซึ่งมีมวลสารสูงค่อนข้างจะมีค่าความจุความร้อนสูง และวัสดุที่มีมวลสารค่อนข้างจะมีค่าความจุความร้อนต่ำลง ตามไปด้วย

ในการพิจารณาเพื่อหาวัสดุตัวแทนของมวลสาร เมื่อวิเคราะห์ตามเกณฑ์ในการคัดเลือกประกอบกับคุณสมบัติของวัสดุพบว่าคอนกรีตค่อนข้างจะเป็นตัวแทนของวัสดุมวลสารที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างภายนอกกันอย่างแพร่หลาย สามารถนำผลการวิจัยไปใช้จริงได้อย่างรวดเร็วและตรงตามวัตถุประสงค์ รวมทั้งคุณสมบัติของคอนกรีตยังเป็นวัสดุซึ่งมีมวลสารและค่าความจุความร้อนสูงอย่างเด่นชัดซึ่งจะส่งผลต่อการวางแผนการถ่ายเทความร้อนโดยตรง

ในการพิจารณาเพื่อหาวัสดุตัวแทนของฉนวน เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิจะพบว่าโฟมโพลีสไตรีนเป็นทางเลือกที่ค่อนข้างจะเหมาะสมมากกว่า อีกทั้งค่าการนำความร้อนที่ต่ำสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในชั้นนี้ได้ยาก อาจช่วยยืดระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนออกไปอีก วัสดุซึ่งได้รับการผสมผสานด้วยโฟมโพลีสไตรีนจึงเป็นวัสดุที่ค่อนข้างจะเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

สรุปผลการคัดเลือกวัสดุตัวแทนมวลสารและฉนวนเพื่อนำมาใช้ใ้ในการวิจัย

- วัสดุมวลสาร ใช้คอนกรีต
- วัสดุฉนวน ใช้โฟมโพลีสไตรีนแบ่งขยายตัว

3.1.2 การวิเคราะห์ตำแหน่งในการผสมผสานมวลสารและฉนวน

เมื่อได้ตัวแทนของวัสดุมวลสารและฉนวน ขั้นตอนต่อมาคือการนำมวลสารและฉนวนทั้งสองชนิดมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อสร้างผนังที่มีการผสมผสานระหว่างมวลสารและฉนวนทั้งสองชนิดเป็นระบบผนังในรูปแบบใหม่เพื่อใช้ในการทดสอบ

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของผนังโดยทั่วไป คอนกรีตมักเป็นวัสดุที่มีการใช้งานค่อนข้างแพร่หลาย แนวทางในการปรับปรุงผนังในปัจจุบันจึงควรจะเป็นการผสมผสานวัสดุฉนวนซึ่งมีค่าความเป็นฉนวนสูงเข้ากับคอนกรีตเพื่อเพิ่มระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุให้มากขึ้น

ตำแหน่งในการผสมผสานฉนวนเข้ากับคอนกรีตสามารถเลือกผสมเข้าด้วยกัน 3 ตำแหน่งได้ดังต่อไปนี้

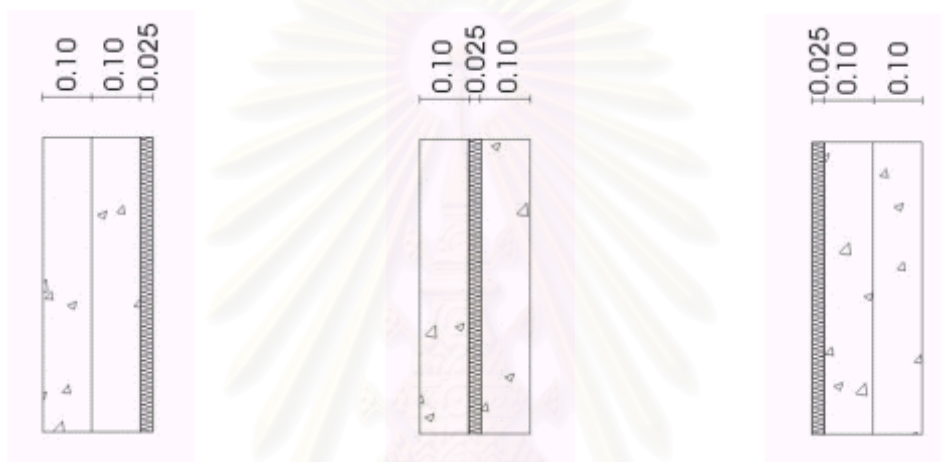


ภาพที่ 3.2 แสดงตำแหน่งที่เป็นไปได้ในการผสมผสานวัสดุทดสอบ

เมื่อผสมผสานวัสดุทั้ง 3 ตำแหน่งจะได้วัสดุที่มีการผสมผสานระหว่างมวลสารและฉนวนทั้งหมดรวม 3 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่

- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสาร – มวลสาร – ฉนวน
- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสาร – ฉนวน – มวลสาร
- การผสมมวลสารในรูปแบบ ฉนวน – มวลสาร – มวลสาร

การจัดรูปแบบการผสมผสานมวลสารจะสามารถกระทำได้โดยการเปลี่ยนตำแหน่งของวัสดุมวลสารต่ำ (โฟมโพลีสไตรีน) ให้แทรกอยู่ในตำแหน่งต่างๆของวัสดุทดสอบซึ่งทั้ง 3 ลักษณะจะมีรูปแบบ ดังต่อไปนี้



การผสมมวลสารในรูปแบบ
มวลสาร – มวลสาร – ฉนวน

การผสมมวลสารในรูปแบบ
มวลสาร – ฉนวน – มวลสาร

การผสมมวลสารในรูปแบบ
ฉนวน – มวลสาร – มวลสาร

ภาพที่ 3.3 แสดงวัสดุทดสอบที่ได้จากการผสมผสานมวลสารและฉนวนทั้ง 3 ประเภท

3.1.3 การผสมผสานวัสดุโดยควบคุมตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องในการวิจัย

การผสมผสานวัสดุมวลสารและมวลสารต่ำเพื่อใช้ในการทดลองมีจุดประสงค์สำคัญอยู่ที่ การทดสอบว่าอิทธิพลของมวลสารที่ได้รับการผสมมวลสารที่แตกต่างกันมีผลต่อพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกันอย่างไร ดังนั้นจึงมีการควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการผสมมวลสาร 3 ตัวแปรด้วยกัน ได้แก่

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
- มวลสารรวม
- ค่าการกระจายความร้อนและค่าการดูดซับความร้อนของพื้นผิววัสดุ

รูปแบบในการผสมมวลสารทั้ง 3 ลักษณะซึ่งใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสาร – มวลสาร – จำนวน
- การผสมมวลสารในรูปแบบ มวลสาร – จำนวน – มวลสาร
- การผสมมวลสารในรูปแบบ จำนวน – มวลสาร – มวลสาร

ในการควบคุมตัวแปรที่ 1 และ 2 สามารถควบคุมได้จากการเลือกใช้วัสดุประเภทเดียวกันทั้งหมดทั้งในส่วนของมวลสารและจำนวนโดยควบคุมสัดส่วนและปริมาตรให้เท่าเทียมกัน ตัวแปรที่ 1 และ 2 จะเท่ากันตามไปด้วย

ส่วนในการควบคุมตัวแปรที่ 3 ใช้สีชนิดเดียวกันทาพื้นผิวภายนอกเนื่องจาก ค่าการกระจายความร้อนและการดูดซับความร้อนของวัสดุ ขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิวภายนอกสุด ดังนั้นเมื่อใช้วัสดุเคลือบผิวชนิดเดียวกันจึงถือว่ามีค่าการกระจายความร้อนและดูดซับความร้อนเท่าเทียมกัน

รายละเอียดในการกำหนดรูปแบบการผสมมวลสารทั้ง 3 ลักษณะสามารถวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและมวลสารรวมได้ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงการวิเคราะห์ค่ามวลสารรวมของวัสดุผนังทั้ง 3 รูปแบบ

รูปแบบ	ชั้นวัสดุ	ความหนาแน่น(D) lb/ft ³	มวลสาร (D*A*ความหนา) lb	มวลสารรวม lb.
มวลสาร-มวลสาร-จำนวน	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	140	$4 \times (4/12) \times 140 = 186.7$	373.73
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	140	$4 \times (4/12) \times 140 = 186.7$	
	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว	1	$4 \times (1/12) \times 1 = 0.33$	
มวลสาร-จำนวน-มวลสาร	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	140	$4 \times (4/12) \times 140 = 186.7$	373.73
	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว	1	$4 \times (1/12) \times 1 = 0.33$	
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	140	$4 \times (4/12) \times 140 = 186.7$	
จำนวน-มวลสาร-มวลสาร	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว	1	$4 \times (1/12) \times 1 = 0.33$	373.73
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	140	$4 \times (4/12) \times 140 = 186.7$	
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	140	$4 \times (4/12) \times 140 = 186.7$	

หมายเหตุ วัสดุทุกชิ้นมีขนาดพื้นที่หน้าตัด(A)เท่ากับ 4 ตารางฟุต เนื่องจากเป็นขนาดภายในของเขตทดสอบทั้ง 3 เซลล์

ตารางที่ 3.3 แสดงการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการผสมวัสดุในรูปแบบ
มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน

1. มวลสาร (คอนกรีต) 2. มวลสาร (คอนกรีต) 3. ฉนวน (โฟม)	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม			
	ชั้นวัสดุ	X/k	R	หมายเหตุ
	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.25	ผิวด้านนอกมีค่าสปต. การแผ่รังสีสูง
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	4/9	0.44	-
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	4/9	0.44	-
	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว	1/0.25	4	-
	ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.68	ผิวด้านในมีค่าสปต. การแผ่รังสีสูง
	รวม			5.81

ตารางที่ 3.4 แสดงการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการผสมวัสดุในรูปแบบ
มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร

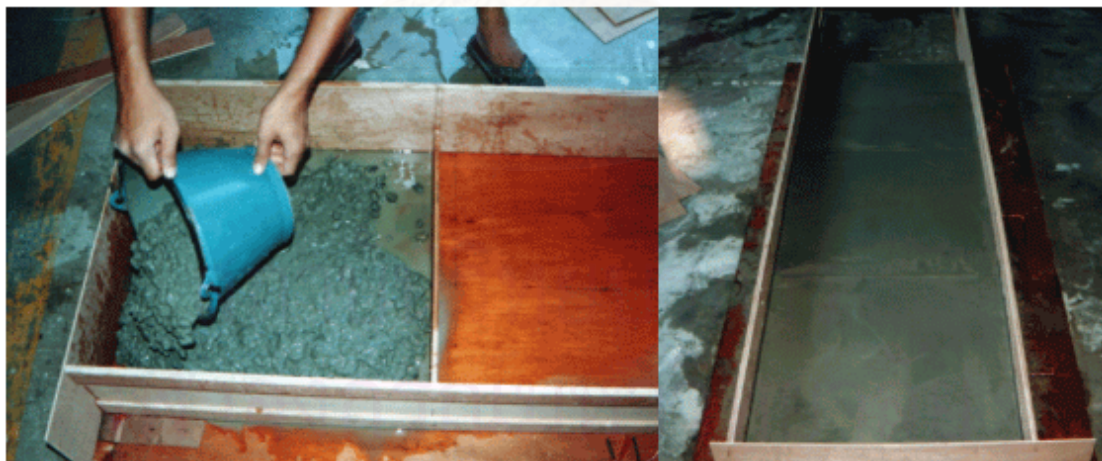
1. มวลสาร (คอนกรีต) 2. ฉนวน (โฟม) 3. มวลสาร (คอนกรีต)	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม			
	ชั้นวัสดุ	X/k	R	หมายเหตุ
	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.25	ผิวด้านนอกมีค่าสปต. การแผ่รังสีสูง
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	4/9	0.44	-
	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว	1/0.25	4	-
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	4/9	0.44	-
	ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.68	ผิวด้านในมีค่าสปต. การแผ่รังสีสูง
	รวม			5.81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 แสดงการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของการผสมวัสดุในรูปแบบ
ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร

1. ฉนวน (โฟม) 2. มวลสาร (คอนกรีต) 3. มวลสาร (คอนกรีต)	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม			
	ชั้นวัสดุ	X/k	R	หมายเหตุ
	ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.25	ผิวหนังนอกมีค่าสปส. การแผ่รังสีสูง
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	4/9	0.44	-
	โฟมโพลีสไตรีน ความหนา 1 นิ้ว	1/0.25	4	-
	ผนังคอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว	4/9	0.44	-
	ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.68	ผิวหนังในมีค่าสปส. การแผ่รังสีสูง
	รวม		5.81	

จากการวิเคราะห์รูปแบบการผสมผสานมวลสารทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าสามารถควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเนื้อมวลสารได้ทั้งหมด โดยสามารถควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนให้อยู่ที่ $1 / 4.996 = 0.172$ บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ควบคุมค่าน้ำหนักของการผสมมวลสารทั้ง 3 รูปแบบให้อยู่ที่ 373.73 ปอนด์ สำหรับการผสมมวลสารในแต่ละรูปแบบ ส่วนตัวแปรที่ 3 ควบคุมโดยการเคลือบผิวภายนอกด้วยสีชนิดเดียวกันโดยใช้เทคนิคในการเคลือบสีที่เหมือนกันเพื่อควบคุมค่าการกระจายความร้อนและดูดซับความร้อนที่ผิวภายนอกวัสดุ



ภาพที่ 3.4 แสดงวัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็นผนังคอนกรีตความหนา 4 นิ้ว ซึ่งได้ควบคุมส่วนผสมและหล่อขึ้นภายในครั้งเดียวเพื่อให้วัสดุทดสอบมีมาตรฐานใกล้เคียงกันที่สุด

3.2 การทดสอบตั้งมาตรฐานเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิจัย

การทดสอบตั้งมาตรฐานเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อที่จะสามารถบอกได้ว่าเครื่องมือวัดทั้งหมดที่มีอยู่สามารถอ่านค่าได้เท่าเทียมกันภายใต้เงื่อนไขและสภาพแวดล้อมเดียวกัน การตั้งมาตรฐานเครื่องมือจะช่วยให้สามารถนำค่าที่วัดมาเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่

- เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- เซลควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการทดสอบ
- อาคารปรับอากาศเพื่อการทดสอบวัสดุ

3.2.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ เครื่อง SYSTEM 200 เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิประเภท ANALOG/DIGITAL CONVERTER เครื่องมือนี้จะแปลงค่าความต้านทานจากหัวเซนเซอร์ซึ่งเป็นหัว เทอร์มิสเตอร์ขนาด 10 KILO-OHMS กลับมาเป็นค่าอุณหภูมิด้วยโปรแกรมภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อเข้ากับ SYSTEM 200 ในการใช้งานจึงจำเป็นต้องตั้งมาตรฐานหัวเซนเซอร์ที่จะใช้วัดอุณหภูมิทุกเซนแนลให้สามารถอ่านค่าได้เท่าเทียมกัน

จำนวนหัวเซนเซอร์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวน 48 หัว โดยใช้วัดเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดต่างๆภายในเซลล์ทดลองทั้ง 6 เพื่อที่จะได้นำมาเปรียบเทียบว่าพฤติกรรมการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบภายในทั้ง 6 รูปแบบมีความแตกต่างกันจริงหรือไม่ ในการทดสอบจึงต้องตั้งหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 ให้สามารถอ่านค่าได้เท่าเทียมกันภายใต้สภาวะเดียวกัน

การตั้งหัวเทอร์มิสเตอร์ทำได้โดยการนำเอาหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 แช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงแล้วทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงนำมาเปรียบเทียบกันภายหลัง โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- นำหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 แช่น้ำร้อนและเก็บค่าอุณหภูมิจนกว่าน้ำร้อนจะกลับเข้าสู่อุณหภูมิห้อง
- นำค่าอุณหภูมิที่อ่านได้มา PLOT กราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ในแต่ละช่วงเวลาว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

- ถ้าค่าที่ได้จากการทดสอบทางสถิติมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญให้ถือว่าหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 อ่านค่าอุณหภูมิได้เท่าเทียมกัน แต่ถ้าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญให้ปรับแก้ด้วยกระบวนการทางสถิติ (Regression) เพื่อปรับค่าที่อ่านได้ให้ใกล้เคียงกัน



ภาพที่ 3.5 แสดงเครื่องวัดอุณหภูมิ System200 ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

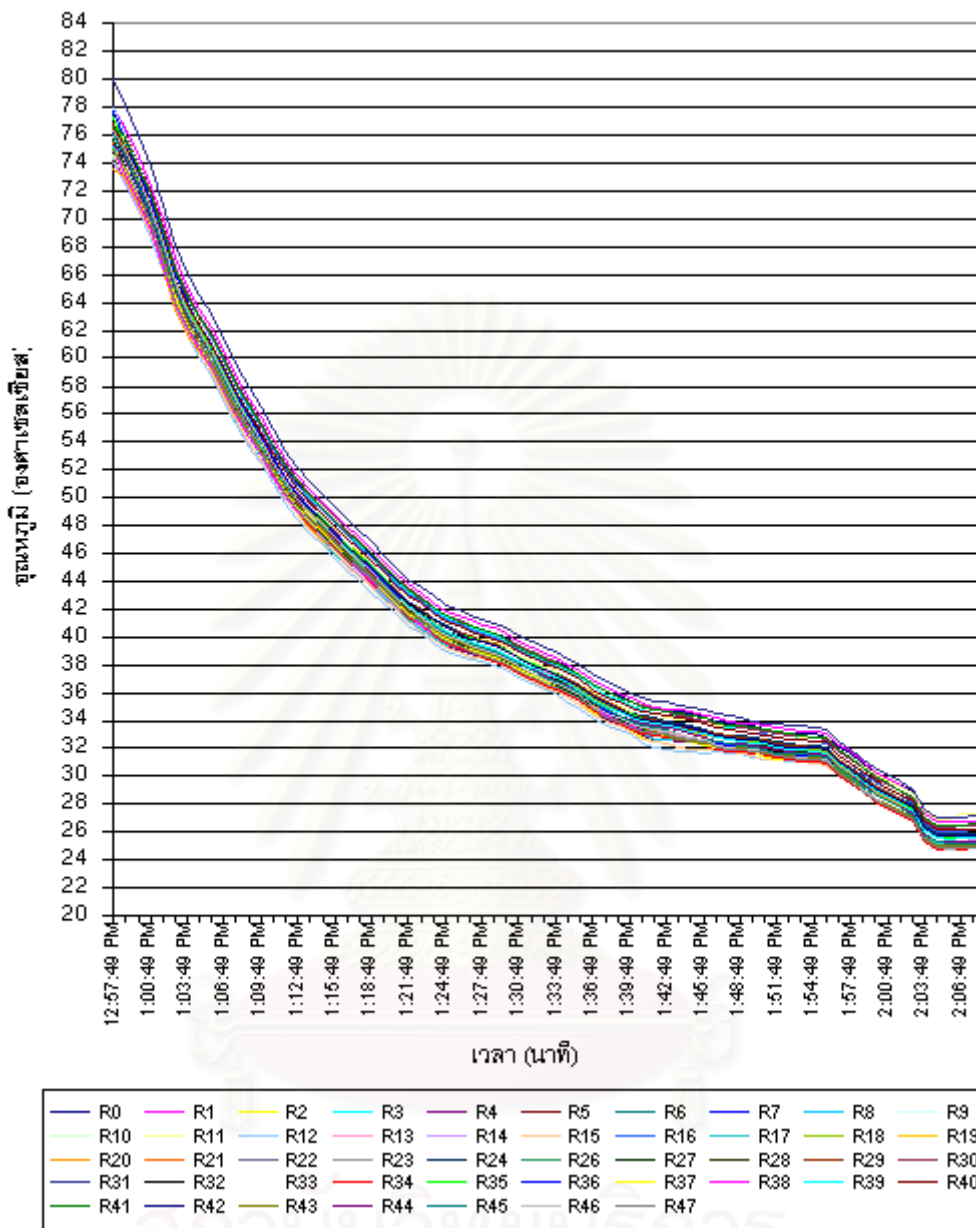


ภาพที่ 3.6 แสดงการต่อเครื่องคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลร่วมกับเครื่องเก็บอุณหภูมิ System200



ภาพที่ 3.7 แสดงการต่อหัวเซนเซอร์เข้ากับสายโทรศัพท์ความยาว 25 เมตร เท่ากันทุกเส้น เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลในครั้งนี้

อุณหภูมิที่อ่านได้จาก Sensor จำนวน 48 หัว ในการทดสอบตั้งค่าอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.8 แสดงข้อมูลจากการทดสอบตั้งมาตรฐานหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 หัว

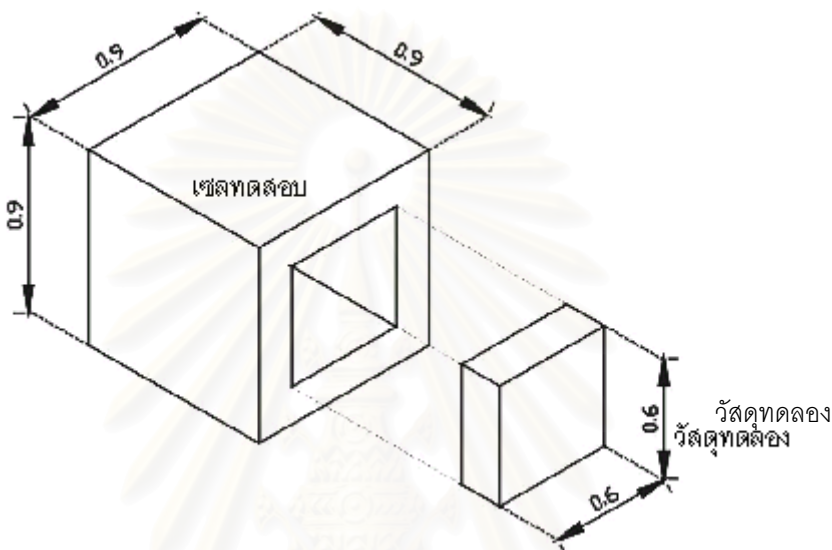
จากการทดสอบตั้งมาตรฐานหัวเซนเซอร์ที่ใช้ในการวิจัยรวมทั้งหมด 48 หัว พบว่าค่าอุณหภูมิที่อ่านได้มีทิศทางไปในทางเดียวกันทั้งหมด และมีช่วงของค่าอุณหภูมิที่อ่านได้คาดเคลื่อนกันอยู่ประมาณ 3 องศาเซลเซียส จึงจำเป็นต้องปรับแก้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ด้วยกระบวนการทางสถิติ โดยใช้ค่าสถิติ Regression เข้ามาปรับแก้ ค่าที่ปรับแก้ได้ใช้ค่าอุณหภูมิของหัวเซนเซอร์หมายเลข 19 เป็นตัวปรับแก้เนื่องจากเป็นหัวเซนเซอร์ที่อ่านค่าได้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) ของหัวเซนเซอร์ทั้งหมด

ตารางที่ 3.6 แสดงข้อมูลการปรับแก้ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ของหัวเซนเซอร์ทั้ง 48 หัว

หมายเลข	Offset	Slope	R ²	หมายเหตุ
1	-1.70338	1.02236	0.999912	
2	-1.01794	0.997273	0.999942	
3	0.255875	1.022909	0.999942	
4	-0.83618	1.005178	0.999905	
5	0.016242	1.032141	0.999856	
6	1.198755	0.973914	0.999889	
7	-0.72411	1.032581	0.999803	
8	-0.42238	1.015843	0.999894	
9	-1.25202	1.054579	0.999142	
10	0.194267	1.014491	0.999786	
11	-0.70766	1.040865	0.99969	
12	-2.83162	1.068076	0.99944	
13	0.075236	1.038502	0.999538	
14	0.916573	0.980327	0.999642	
15	-0.71671	1.046518	0.999894	
16	0.236915	1.02957	0.999774	
17	-0.31228	0.9958	0.999931	
18	0.078834	1.013758	0.999881	
19	-0.23453	1.011656	0.99988	
20	0	1	1	เส้นหลักในการตั้งมาตรฐาน
21	-1.28376	1.053087	0.999952	
22	-0.29024	1.026346	0.999945	
23	-0.05025	1.023625	0.999932	
24	-1.08082	1.030788	0.999884	
25	-0.74741	1.019496	0.999978	
26	0.156846	1.00012	0.99997	
27	1.064198	0.984457	0.999957	
28	0.149175	1.021125	0.999885	
29	-0.95723	1.039064	0.999893	
30	-0.68263	1.019255	0.999847	
31	-0.73058	0.999019	0.999911	
32	-0.508	0.973438	0.999917	
33	1.442161	0.973926	0.999932	
34	1.255079	0.974718	0.999911	
35	0.401005	1.020327	0.999948	
36	-0.05935	1.003557	0.999878	
37	1.47851	0.974658	0.999889	
38	0.249698	1.020267	0.999871	
39	-0.08854	1.030026	0.99996	
40	-0.47693	1.022294	0.999947	
41	-1.00137	1.015977	0.999941	
42	-1.12968	1.009573	0.999938	
43	-0.68649	1.022324	0.999871	
44	0.193833	1.016726	0.999815	
45	-0.04699	1.014894	0.999928	
46	0.298814	1.006815	0.999906	
47	1.060447	0.990286	0.99994	
48	0.277605	1.019825	0.999991	

3.2.2 เซลควบคุมสภาพแวดล้อมเพื่อใช้ในการทดสอบ

เซลล์ทดลองที่ใช้สร้างด้วยวัสดุฉนวน 5 ด้าน และเปิดผนังเซลล์ด้านหนึ่งสำหรับเปลี่ยนใส่วัสดุทดสอบ การที่สร้างเซลล์ด้วยวัสดุฉนวนเพื่อที่จะควบคุมสภาพภายในเซลล์ไม่ได้รับผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเซลล์ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถประเมินค่าอุณหภูมิที่ถูกต้องได้ ลักษณะของเซลล์จะเป็นเซลล์ลูกบาศก์ ขนาดภายนอก $0.90 \times 0.90 \times 0.90$ เมตร สร้างด้วยโฟมโพลีสไตรีนความหนา 6 นิ้ว เปิดผนังด้านหนึ่งขนาดหน้าตัด 0.60×0.60 เมตร สำหรับใส่วัสดุทดลอง



ภาพที่ 3.9 เซลควบคุมสภาพแวดล้อมที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบวัสดุในการวิจัยครั้งนี้

ในการวิจัยครั้งนี้ได้มีการสร้างเซลล์ทดสอบสำหรับวัสดุทดลองทั้ง 3 รูปแบบ และได้สร้างเผื่อไว้ 15 เซลล์ เซลล์ทดลองที่สร้างขึ้นจำเป็นต้องมีคุณสมบัติในการควบคุมอุณหภูมิภายในให้เท่าเทียมกัน เช่นเดียวกับการอ่านค่าอุณหภูมิของหัวเซนเซอร์เพื่อที่จะทำให้สามารถเปรียบเทียบวัสดุทดลองทั้ง 3 ได้อย่างถูกต้อง ในการทดลองครั้งนี้จึงได้สร้างเซลล์ควบคุมสภาพแวดล้อมด้วยวิธีการและวัสดุชนิดเดียวกันทั้งหมดเพื่อที่จะทำให้เซลล์มีความสามารถในการควบคุมสภาพแวดล้อมได้ใกล้เคียงกันที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

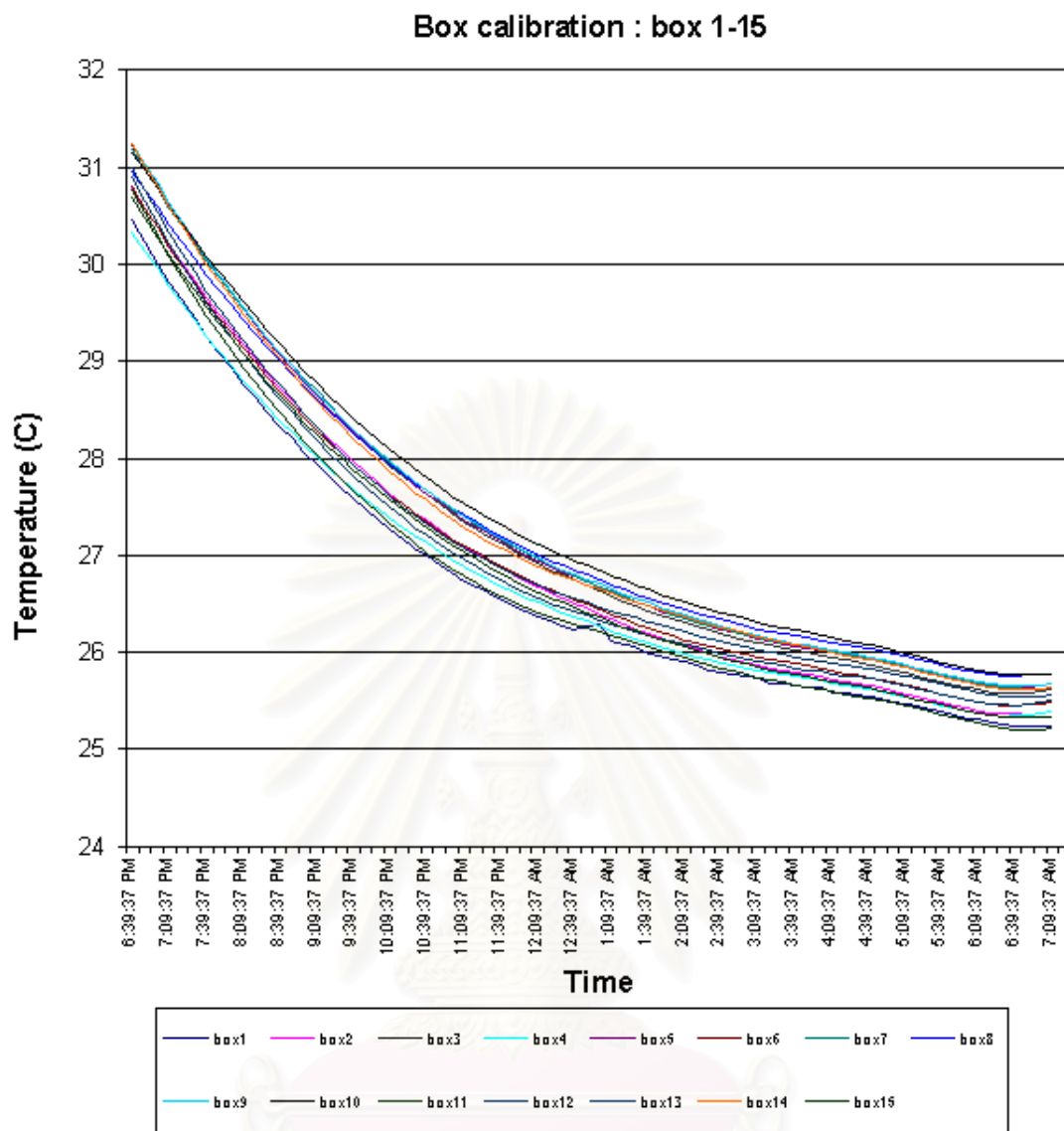
เพื่อที่จะพิสูจน์ว่าเซลล์ทั้ง 15 มีความสามารถในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเซลล์แต่ละเซลล์ได้เท่าเทียมกันจริงจึงได้มีการทดสอบเซลล์ทดลองทั้ง 3 ด้วยวิธีการ ดังต่อไปนี้

- นำหัวเซนเซอร์ที่ได้รับการทดสอบแล้วว่ามีความสามารถในการวัดอุณหภูมิได้เท่าเทียมกันใส่ไว้ภายในกึ่งกลางเซลล์ทั้งหมด
- ปิดด้านวัสดุทดสอบด้วยวัสดุชนิดเดียวกันซึ่งในที่นี้ใช้โฟมโพลีสไตรีนขนาด 1 นิ้ว เพื่อที่จะทำให้อุณหภูมิภายในเซลล์อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน
- ตั้งเซลล์ทั้งไว้ภายนอกอาคารภายใต้เงาไม้เดียวกัน (ตั้งอยู่ในระดับเดียวกัน ในเขตพื้นที่เดียวกัน และหันหน้าเซลล์ด้านทดสอบไปในทิศทางเดียวกัน) โดยวางแต่ละเซลล์ให้ห่างกันประมาณ 2-3 เมตรเช่นเดียวกันเพื่อป้องกันการแผ่รังสีจากตัวเซลล์แต่ละเซลล์
- เก็บค่าอุณหภูมิภายในเซลล์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ครบวงจรของสภาพตามธรรมชาติ
- นำค่าอุณหภูมิที่อ่านได้มา PLOT กราฟเพื่อเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ในแต่ละช่วงเวลาว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยนำไปเปรียบเทียบด้วยวิธีการทางสถิติโดยใช้การทดสอบของฟรีดแมน
- ถ้าค่าที่ได้มีความแตกต่างกันไม่เกิน 1 องศาเซลเซียสให้ถือว่าเซลล์ทดลองทั้งหมดมีความสามารถในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเซลล์ได้อย่างเท่าเทียมกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการ Calibrate เซลความคุมสภาพแวดล้อมทุกๆ 15 นาที

Date	Time	box1	box2	box3	box4	box5	box6	box7	box8	box9	box10	box11	box12	box13	box14	box15
12/9/00	6:39:37 PM	30.453	30.777	31.233	30.332	31.234	30.793	31.18	30.964	31.249	31.153	30.768	30.895	30.991	31.246	30.678
12/9/00	6:49:37 PM	30.229	30.577	31.018	30.131	31.018	30.577	30.978	30.771	31.034	30.965	30.53	30.656	30.76	31.022	30.477
12/9/00	6:59:37 PM	30.006	30.382	30.813	29.951	30.811	30.373	30.779	30.586	30.834	30.778	30.302	30.428	30.536	30.806	30.277
12/9/00	7:09:37 PM	29.816	30.194	30.613	29.771	30.612	30.177	30.585	30.406	30.638	30.599	30.081	30.206	30.321	30.596	30.088
12/9/00	7:19:37 PM	29.626	30.011	30.423	29.596	30.415	29.988	30.401	30.23	30.443	30.425	29.871	29.996	30.116	30.394	29.906
12/9/00	7:29:37 PM	29.437	29.826	30.226	29.424	30.225	29.8	30.212	30.056	30.248	30.25	29.667	29.796	29.916	30.197	29.727
12/9/00	7:39:37 PM	29.258	29.648	30.042	29.259	30.041	29.622	30.037	29.889	30.063	30.082	29.471	29.601	29.723	30.008	29.557
12/9/00	7:49:37 PM	29.077	29.486	29.868	29.102	29.865	29.452	29.869	29.732	29.891	29.919	29.286	29.418	29.544	29.826	29.389
12/9/00	7:59:37 PM	28.927	29.323	29.698	28.949	29.696	29.288	29.704	29.577	29.718	29.762	29.11	29.245	29.371	29.656	29.229
12/9/00	8:09:37 PM	28.77	29.169	29.539	28.802	29.534	29.132	29.549	29.427	29.557	29.61	28.941	29.08	29.205	29.489	29.078
12/9/00	8:19:37 PM	28.621	29.017	29.377	28.661	29.374	28.978	29.391	29.283	29.392	29.457	28.78	28.918	29.047	29.326	28.93
12/9/00	8:29:37 PM	28.479	28.872	29.22	28.52	29.22	28.829	29.24	29.139	29.239	29.312	28.622	28.762	28.89	29.17	28.785
12/9/00	8:39:37 PM	28.323	28.726	29.067	28.384	29.067	28.687	29.091	28.997	29.088	29.172	28.471	28.611	28.746	29.019	28.645
12/9/00	8:49:37 PM	28.197	28.591	28.918	28.252	28.918	28.541	28.949	28.859	28.943	29.031	28.322	28.46	28.597	28.87	28.503
12/9/00	8:59:37 PM	28.059	28.452	28.774	28.119	28.775	28.407	28.821	28.728	28.8	28.895	28.175	28.318	28.453	28.726	28.366
12/9/00	9:09:37 PM	27.936	28.326	28.643	28.008	28.641	28.285	28.693	28.607	28.67	28.772	28.039	28.182	28.319	28.585	28.236
12/9/00	9:19:37 PM	27.814	28.202	28.514	27.897	28.512	28.164	28.566	28.486	28.54	28.651	27.912	28.058	28.186	28.452	28.114
12/9/00	9:29:37 PM	27.68	28.082	28.388	27.787	28.389	28.048	28.421	28.371	28.418	28.53	27.785	27.939	28.061	28.331	28.001
12/9/00	9:39:37 PM	27.587	27.969	28.266	27.677	28.271	27.94	28.298	28.26	28.3	28.417	27.666	27.821	27.942	28.209	27.888
12/9/00	9:49:37 PM	27.48	27.857	28.147	27.574	28.154	27.828	28.179	28.148	28.183	28.304	27.549	27.708	27.82	28.088	27.777
12/9/00	9:59:37 PM	27.368	27.743	28.032	27.473	28.039	27.719	28.061	28.039	28.07	28.194	27.438	27.598	27.72	27.973	27.667
12/9/00	10:09:37 PM	27.268	27.636	27.923	27.376	27.932	27.617	27.957	27.937	27.964	28.087	27.33	27.493	27.61	27.864	27.566
12/9/00	10:19:37 PM	27.171	27.537	27.818	27.289	27.829	27.524	27.855	27.842	27.863	27.988	27.225	27.392	27.503	27.756	27.469
12/9/00	10:29:37 PM	27.068	27.445	27.717	27.201	27.731	27.432	27.756	27.749	27.764	27.89	27.126	27.295	27.414	27.657	27.374
12/9/00	10:39:37 PM	26.996	27.354	27.622	27.121	27.637	27.342	27.659	27.661	27.667	27.798	27.028	27.204	27.324	27.561	27.285
12/9/00	10:49:37 PM	26.908	27.259	27.526	27.037	27.542	27.254	27.56	27.571	27.575	27.704	26.938	27.118	27.235	27.468	27.194
12/9/00	10:59:37 PM	26.828	27.173	27.439	26.959	27.455	27.174	27.482	27.49	27.489	27.619	26.858	27.034	27.153	27.377	27.114
12/9/00	11:09:37 PM	26.736	27.092	27.351	26.886	27.37	27.101	27.396	27.412	27.402	27.54	26.78	26.956	27.077	27.293	27.034
12/9/00	11:19:37 PM	26.68	27.014	27.27	26.814	27.291	27.029	27.315	27.335	27.32	27.459	26.708	26.879	26.997	27.211	26.954
12/9/00	11:29:37 PM	26.613	26.938	27.193	26.75	27.22	26.958	27.24	27.268	27.245	27.384	26.639	26.812	26.933	27.137	26.882
12/9/00	11:39:37 PM	26.548	26.862	27.12	26.688	27.147	26.888	27.166	27.197	27.172	27.316	26.58	26.747	26.871	27.073	26.811
12/9/00	11:49:37 PM	26.489	26.797	27.05	26.625	27.077	26.827	27.098	27.134	27.106	27.248	26.524	26.684	26.812	27.01	26.747
12/9/00	11:59:37 PM	26.431	26.734	26.981	26.568	27.008	26.765	27.033	27.068	27.038	27.18	26.47	26.621	26.752	26.947	26.686
13/9/00	12:09:37 AM	26.36	26.672	26.915	26.511	26.945	26.703	26.964	27.003	26.971	27.117	26.417	26.563	26.697	26.892	26.624
13/9/00	12:19:37 AM	26.324	26.613	26.855	26.46	26.884	26.65	26.904	26.948	26.91	27.053	26.369	26.508	26.642	26.834	26.568
13/9/00	12:29:37 AM	26.278	26.559	26.798	26.415	26.834	26.595	26.846	26.895	26.856	26.998	26.327	26.464	26.594	26.788	26.513
13/9/00	12:39:37 AM	26.243	26.505	26.742	26.365	26.779	26.543	26.794	26.846	26.804	26.944	26.288	26.423	26.556	26.744	26.463
13/9/00	12:49:37 AM	26.27	26.458	26.694	26.323	26.73	26.499	26.74	26.797	26.759	26.894	26.247	26.376	26.513	26.7	26.413
13/9/00	12:59:37 AM	26.3	26.397	26.633	26.272	26.673	26.443	26.686	26.747	26.708	26.845	26.207	26.335	26.471	26.652	26.363
13/9/00	1:09:37 AM	26.121	26.351	26.58	26.22	26.52	26.392	26.634	26.698	26.653	26.793	26.168	26.293	26.43	26.607	26.314
13/9/00	1:19:37 AM	26.08	26.29	26.523	26.175	26.569	26.342	26.579	26.646	26.604	26.745	26.133	26.256	26.395	26.566	26.264
13/9/00	1:29:37 AM	26.054	26.241	26.477	26.137	26.519	26.297	26.53	26.6	26.561	26.698	26.095	26.217	26.359	26.529	26.222
13/9/00	1:39:37 AM	25.99	26.193	26.428	26.094	26.474	26.25	26.483	26.557	26.513	26.649	26.058	26.182	26.318	26.485	26.177
13/9/00	1:49:37 AM	25.968	26.149	26.386	26.054	26.429	26.206	26.437	26.52	26.47	26.605	26.021	26.147	26.283	26.444	26.136
13/9/00	1:59:37 AM	25.932	26.104	26.34	26.014	26.39	26.167	26.394	26.48	26.43	26.565	25.985	26.115	26.25	26.403	26.097



ภาพที่ 3.10 แสดงผลการ Calibrate เซลความคุมสภาพแวดล้อมทุกๆ 15 นาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.11 แสดงการติดตั้งโฟมในด้านที่ใช้ทดสอบวัสดุก่อนนำขึ้นไปทดสอบมาตรฐานของเซลล์ทดสอบ



ภาพที่ 3.12 แสดงการตั้งเซลล์ทดสอบภายในสถานที่ทดลองซึ่งตั้งหันหน้าไปในทิศทางเดียวกันและอยู่ในระดับเดียวกันในสภาพแวดล้อมเดียวกันเพื่อสร้างสภาวะที่สามารถควบคุมตัวแปรควบคุมให้เหมือนกันได้ และทดสอบตั้งมาตรฐานเซลล์ทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าแต่ละเซลล์มีความสามารถในการควบคุมสภาพแวดล้อมภายในเซลล์เท่าเทียมกันหรือไม่

3.2.3 อาคารปรับอากาศเพื่อการทดสอบวัสดุ

ในการทดสอบวัสดุในกรณีเปรียบเทียบระหว่างวัสดุในห้องไม่ปรับอากาศและห้องปรับอากาศ (สมมุติฐานที่ 4) เพื่อการศึกษาพฤติกรรมของวัสดุทั้ง 3 รูปแบบในการใช้งานสำหรับอาคารปรับอากาศและอาคารไม่ปรับอากาศ จึงได้สร้างห้องวิจัยที่มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นเพื่อการทดสอบวัสดุในกรณีดังกล่าว

อาคารทดสอบมีขนาด 8.40 x 8.40 ตารางเมตร สร้างจากวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงเพื่อการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่สุด และมีความสามารถในการป้องกันความชื้นทำให้สามารถใช้เครื่องปรับอากาศขนาดเล็กเพื่อควบคุมความชื้นภายในได้

ด้านทั้ง 4 ของอาคารหันเข้าหาทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก เพื่อความสะดวกในการคำนวณมุมดวงอาทิตย์ ด้านทั้ง 4 ถูกเว้นช่องว่างขนาดความสูง 0.90 เมตร ตลอดความยาวของแต่ละด้านเพื่อใช้ในการติดตั้งวัสดุทดสอบที่ได้มีการฝึกฝนในรอบทดสอบเรียบร้อยแล้วในการวิจัยครั้งนี้

วัสดุทดสอบจะถูกติดตั้งในกรอบทดสอบที่สร้างจากวัสดุฉนวนประเภทเดียวกับเขตทดสอบที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณกรอบวัสดุโดยรอบโดยเว้นช่องว่างขนาด 0.60 x 0.60 เมตร เพื่อใช้ติดตั้งวัสดุทดสอบ



ภาพที่ 3.13 แสดงอาคารปรับอากาศที่กำลังอยู่ในระหว่างการก่อสร้าง ผนังทั้ง 4 ด้านของอาคารถูกเว้นช่องว่างเพื่อการติดตั้งวัสดุ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การทดสอบวัสดุ

ในขั้นตอนการทดสอบนี้จำเป็นต้องทดสอบตามสมมุติฐานที่ได้วางไว้เพื่อจะได้สามารถเปรียบเทียบพฤติกรรมของวัสดุที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการควบคุมตัวแปรต่างๆได้อย่างที่ได้วางสมมุติฐานไว้ โดยในการทดสอบได้แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

- การทดสอบที่ 1** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน
- การทดสอบที่ 2** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะทาสีที่มีค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน
- การทดสอบที่ 3** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์
- การทดสอบที่ 4** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

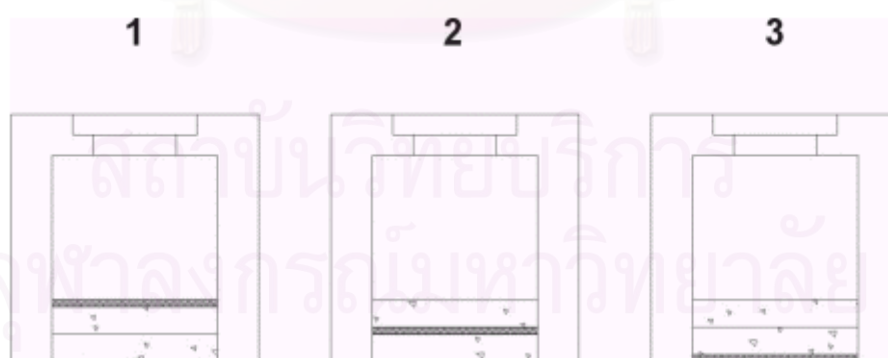
การทดสอบที่ 1 วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน

1. ทำการทดสอบโดยการใส่เซลล์ทดลอง 3 เซลล์

เซลล์ที่ 1 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านในด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์

เซลล์ที่ 2 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว แทรกช่องว่างชั้นด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์

เซลล์ที่ 3 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านนอกด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์



ภาพที่ 3.14 แสดงการติดตั้งวัสดุในเซลล์ทดสอบแต่ละเซลล์ สำหรับการทดสอบที่ 1

2. ทำการวัดโดยติดตั้ง sensor ที่ตำแหน่งความลึกต่างๆของผนัง ดังนี้

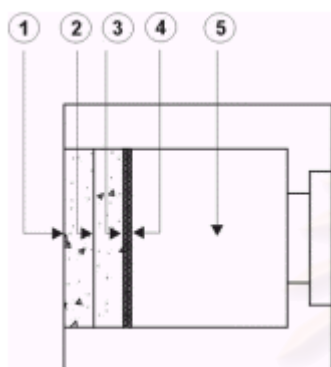
ตำแหน่งที่ 1 จุดศูนย์กลางผิวผนังภายนอก

ตำแหน่งที่ 2 จุดศูนย์กลางภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 1 ในแต่ละเซลล์

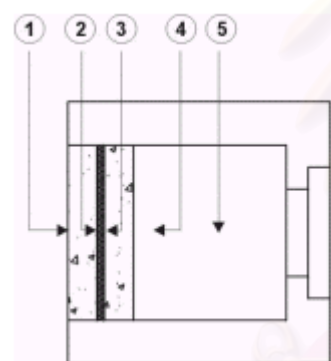
ตำแหน่งที่ 3 จุดศูนย์กลางภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 2 ในแต่ละเซลล์

ตำแหน่งที่ 4 จุดศูนย์กลางผิวผนังภายใน

ตำแหน่งที่ 5 จุดศูนย์กลางอากาศภายในเซลล์ทดสอบ



ภาพที่ 3.15 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการทดสอบที่ 1



ภาพที่ 3.16 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 1



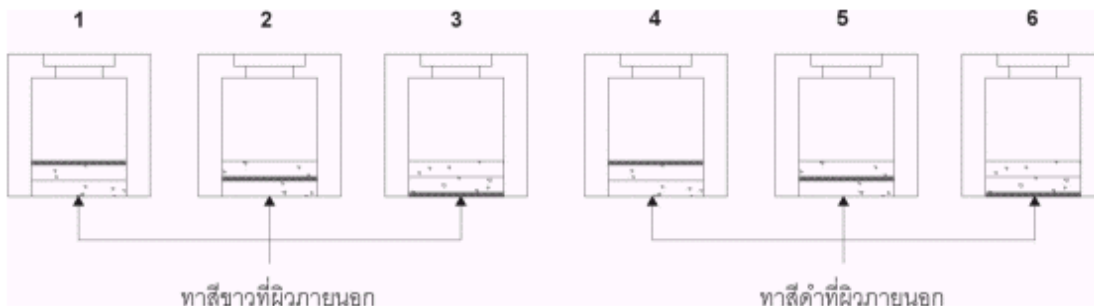
ภาพที่ 3.17 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 1

3. ทำการวัดอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อรอให้วัสดุทดสอบภายในเซลล์มีพฤติกรรมที่คงที่ (Saturated) โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที แล้วทำการเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิรายชั่วโมงตลอด 3 วัน

การทดสอบที่ 2 วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะทาสีที่มีค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน

1. ทำการทดสอบโดยการใส่เซลล์ทดลอง 6 เซลล์

- เซลล์ที่ 1 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านนอกด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนในชุดการทดลองที่ 1
- เซลล์ที่ 2 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว แทรกช่องว่างชั้นด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนในชุดการทดลองที่ 1
- เซลล์ที่ 3 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านในด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนในชุดการทดลองที่ 1
- เซลล์ที่ 4 เหมือนเซลล์ที่ 1 แต่ทาสีดำที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนในชุดการทดลองที่ 2
- เซลล์ที่ 5 เหมือนเซลล์ที่ 2 แต่ทาสีดำที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนในชุดการทดลองที่ 2
- เซลล์ที่ 6 เหมือนเซลล์ที่ 3 แต่ทาสีดำที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนในชุดการทดลองที่ 2



ภาพที่ 3.18 แสดงการติดตั้งวัสดุในเซลล์ทดสอบแต่ละเซลล์ สำหรับการทดสอบที่ 2

2. ทำการวัดโดยติดตั้ง sensor ที่ตำแหน่งความลึกต่างๆของผนัง ดังนี้

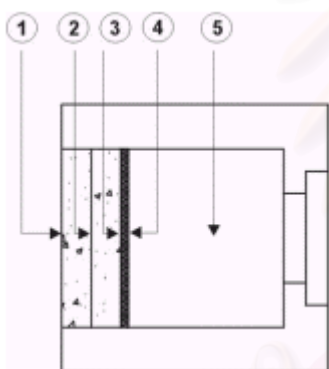
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก

ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 1 ในแต่ละเซลล์

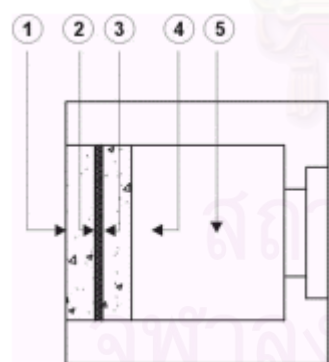
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 2 ในแต่ละเซลล์

ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวผนังภายใน

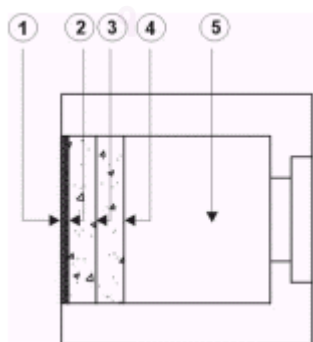
ตำแหน่งที่ 5 อุณหภูมิอากาศภายในเซลล์ทดสอบ



ภาพที่ 3.19 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการทดสอบที่ 2 (เซลล์ทดสอบที่ 1 และ 4)



ภาพที่ 3.20 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 2 (เซลล์ทดสอบที่ 2 และ 5)



ภาพที่ 3.21 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 2 (เซลล์ทดสอบที่ 3 และ 6)

3. ทำการวัดอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อรอให้วัสดุทดสอบภายในเซลล์มีพฤติกรรมที่คงที่ (Saturated) โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที แล้วทำการเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิรายชั่วโมงตลอด 3 วัน

การทดสอบที่ 3 วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

1. ทำการทดสอบโดยการใช้เซลล์ทดลอง 6 เซลล์

เซลล์ที่ 1 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านนอกด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์

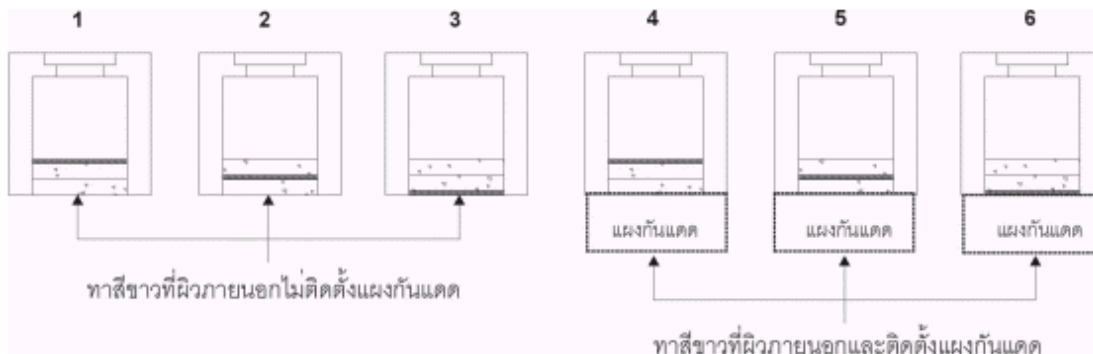
เซลล์ที่ 2 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว แทรกช่องว่างชั้นด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์

เซลล์ที่ 3 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านในด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์

เซลล์ที่ 4 เหมือนเซลล์ที่ 1 แต่ติดตั้งแผงกันแดดเพื่อกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในเซลล์ทดสอบชุดที่ 2 (เซลล์ที่ 4-6)

เซลล์ที่ 5 เหมือนเซลล์ที่ 2 แต่ติดตั้งแผงกันแดดเพื่อกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในเซลล์ทดสอบชุดที่ 2 (เซลล์ที่ 4-6)

เซลล์ที่ 6 เหมือนเซลล์ที่ 3 แต่ติดตั้งแผงกันแดดเพื่อกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในเซลล์ทดสอบชุดที่ 2 (เซลล์ที่ 4-6)



ภาพที่ 3.22 แสดงการติดตั้งวัสดุในเซลล์ทดสอบแต่ละเซลล์ สำหรับการทดสอบที่ 2

2. ทำการวัดโดยติดตั้ง sensor ที่ตำแหน่งความลึกต่างๆของผนัง ดังนี้

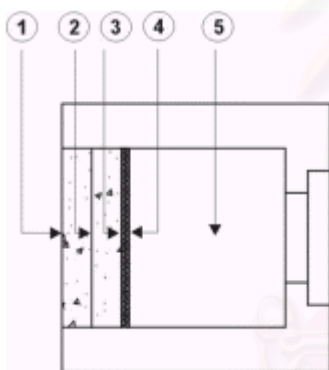
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก

ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 1 ในแต่ละเซลล์

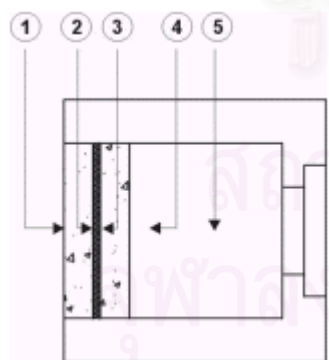
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 2 ในแต่ละเซลล์

ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวผนังภายใน

ตำแหน่งที่ 5 อุณหภูมิอากาศภายในเซลล์ทดสอบ



ภาพที่ 3.23 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการทดสอบที่ 3 (เซลล์ทดสอบที่ 1 และ 4)



ภาพที่ 3.24 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 3 (เซลล์ทดสอบที่ 2 และ 5)



ภาพที่ 3.25 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในเซลล์ทดสอบ
 ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 3 (เซลล์ทดสอบ
 ที่ 3 และ 6)

3. ทำการวัดอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อรอให้วัสดุทดสอบภายในเซลล์มีพฤติกรรมที่คงที่ (Saturated) โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที แล้วทำการเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิรายชั่วโมงตลอด 3 วัน



สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบที่ 4 วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

1. ทำการทดสอบโดยการทดสอบในห้องปรับอากาศ

ผนังที่ 1 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านนอกด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์

ผนังที่ 2 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว แทรกระหว่างชั้นด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์

ผนังที่ 3 เปลี่ยนวัสดุผนังเป็นผนังคอนกรีต 2 ชั้น ความหนา 8 นิ้ว ปิดด้านในด้วยฉนวนโฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต ความหนา 1 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม 0.2 บีทียู/ตารางฟุต-ชั่วโมง ทาสีขาวที่ผิวภายนอกเพื่อควบคุมค่าสัมประสิทธิ์การกระจายและการดูดซับความร้อนให้เท่าเทียมกันในแต่ละเซลล์



ภาพที่ 3.26 แสดงการติดตั้งวัสดุผนังสำหรับห้องปรับอากาศ สำหรับการทดสอบที่ 4

2. ทำการวัดโดยติดตั้ง sensor ที่ตำแหน่งความลึกต่างๆของผนัง ดังนี้

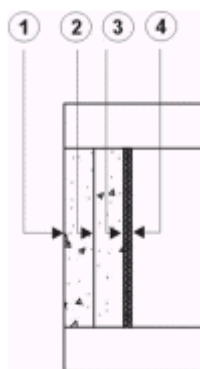
ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวผนังภายนอก

ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 1 ในแต่ละเซลล์

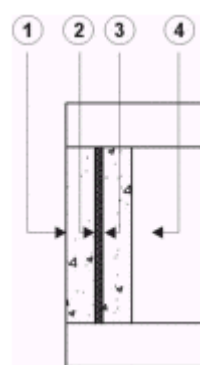
ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในวัสดุผนัง ชั้นที่ 2 ในแต่ละเซลล์

ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวผนังภายใน

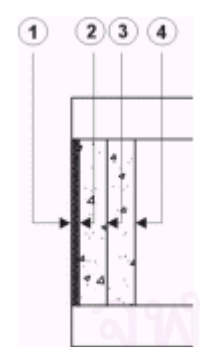
ตำแหน่งที่ 5 อุณหภูมิอากาศภายในเซลล์ทดสอบ



ภาพที่ 3.27 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในผนังทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนที่ใช้ในการทดสอบที่ 4

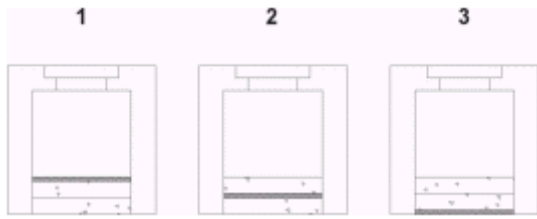


ภาพที่ 3.28 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในผนังทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 4

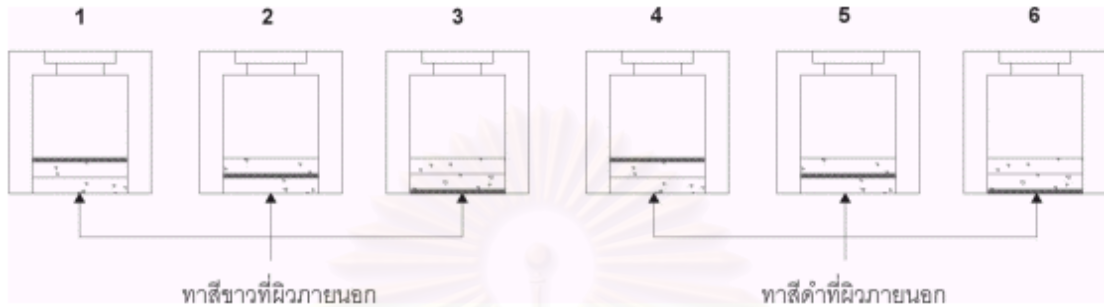


ภาพที่ 3.29 แสดงตำแหน่ง Sensor ภายในผนังทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่ใช้ในการทดสอบที่ 4

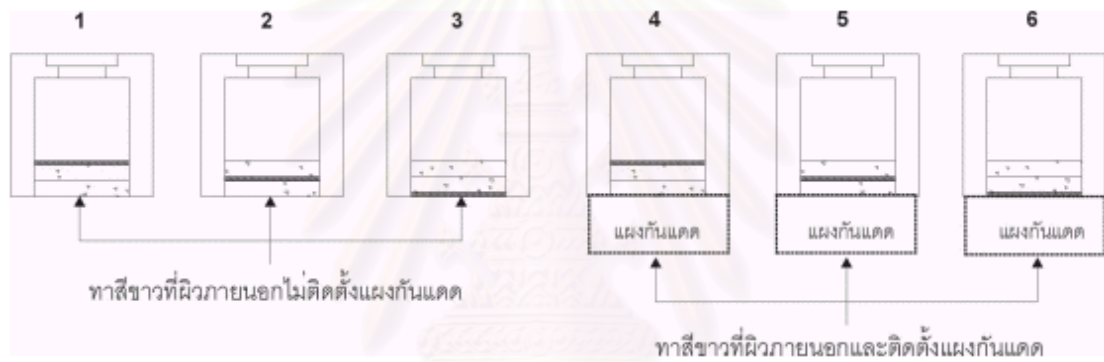
3. ทำการวัดอุณหภูมิเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อรอให้วัสดุทดสอบภายในเซลล์มีพฤติกรรมที่คงที่ (Saturated) โดยเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาที แล้วทำการเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิรายชั่วโมงตลอด 3 วัน การทดสอบที่ 1



การทดสอบที่ 2



การทดสอบที่ 3



การทดสอบที่ 4



รูปการติดตั้งวัสดุในการทดสอบทั้ง 4 การทดสอบ

3.4 การวิเคราะห์ผล

ทำการวิเคราะห์ผลในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

- ทำการเปรียบเทียบช่วงเวลาที่เกิดการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนในวัสดุทดลองรูปแบบต่างๆในแต่ละสมมุติฐาน
- ทำการเปรียบเทียบ Decrement factor ที่เกิดขึ้นของวัสดุทดลองรูปแบบต่างๆ
- ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิตลอดวัน เพื่อตรวจดูระดับของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเขตทดสอบเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายนอก
- ทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในเขตทดสอบสูงสุดและต่ำสุดตลอดวันเพื่อตรวจระดับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในเขตทดสอบ

3.5 การสรุปผล

ในขั้นตอนการสรุปผลจะสรุปผลในการทดสอบโดยพิจารณาจากผลกระทบของตัวแปรในแต่ละสมมุติฐานที่เกิดขึ้นในสภาพการทดลองจริง การสรุปผลจะสรุปผลเชิงเปรียบเทียบในแต่ละสมมุติฐานว่าควรมีการใช้ตัวแปรแต่ละชนิดอย่างไร เพื่อให้เกิดผนังที่มีการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนที่ f_{umul6f}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดสอบในการวิจัย

การทดสอบในการวิจัยครั้งนี้เพื่อที่จะทราบถึงผลกระทบและพฤติกรรมของตัวแปรที่เกิดขึ้นกับวัสดุทดลอง เพื่อค้นหารูปแบบที่เหมาะสมในการนำการห่อหุ้มเหนียวความร้อนเข้ามาใช้ร่วมกับผนังซึ่งมีรูปแบบในการผสมผสานระหว่างฉนวนซึ่งมีค่าความเป็นฉนวนสูงแต่มีค่าความจุความร้อนต่ำ เนื่องจากมีมวลสารปริมาณต่อหน่วยน้อย กับมวลสารซึ่งมีค่าความเป็นฉนวนต่ำแต่มีค่าความจุความร้อนสูงเนื่องจากมีมวลสารปริมาณต่อหน่วยมาก

ในการทดสอบตัวแปรเพื่ออธิบายผลกระทบที่เกิดขึ้นกับวัสดุทดลอง ประกอบไปด้วย สมมุติฐานต่างๆ ดังนี้

- การทดสอบที่ 1** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน
- การทดสอบที่ 2** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะทาสีที่มีค่าการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน
- การทดสอบที่ 3** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนที่แตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์
- การทดสอบที่ 4** วัสดุผนังซึ่งมีการผสมมวลสารและฉนวนในตำแหน่งที่แตกต่างกัน แต่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากันจะมีพฤติกรรมในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนแตกต่างกัน เมื่ออยู่ในสภาวะปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 1

การทดสอบที่ 1 มีจุดมุ่งหมายในการทดสอบตัวแปร “รูปแบบในการผสมผสานฉนวนและมวลสาร” เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัสดุผนังซึ่งมีรูปแบบการผสมผสานมวลสารที่แตกต่างกัน

รูปแบบการผสมผสานมวลสารเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้คอนกรีตความหนา 8 นิ้ว เป็นวัสดุตัวแทนของมวลสารเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารอยู่ในเกณฑ์ที่สูงและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ส่วนตัวแทนของวัสดุฉนวนได้แก่ โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่ามวลสารอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากและยังมีเทคนิคการก่อสร้างในปัจจุบันรองรับ

ในการทดสอบได้จัดเตรียมกล่องทดสอบจำนวน 3 กล่อง และหันด้านทดสอบไปทางทิศตะวันตกเพื่อให้ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุดในช่วงวันเนื่องจากในขณะทำการทดลองอยู่ในช่วงวัน Equinox ในเดือนมีนาคมทำให้ทิศใต้ไม่ได้รับรังสีตรงเกือบตลอดวัน นอกจากนี้ยังได้กำหนดให้มีการทดสอบกล่องทั้ง 3 ในเวลาและสถานที่เดียวกันเพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรที่ไม่ได้ทำการทดสอบให้ส่งผลต่อวัสดุทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน

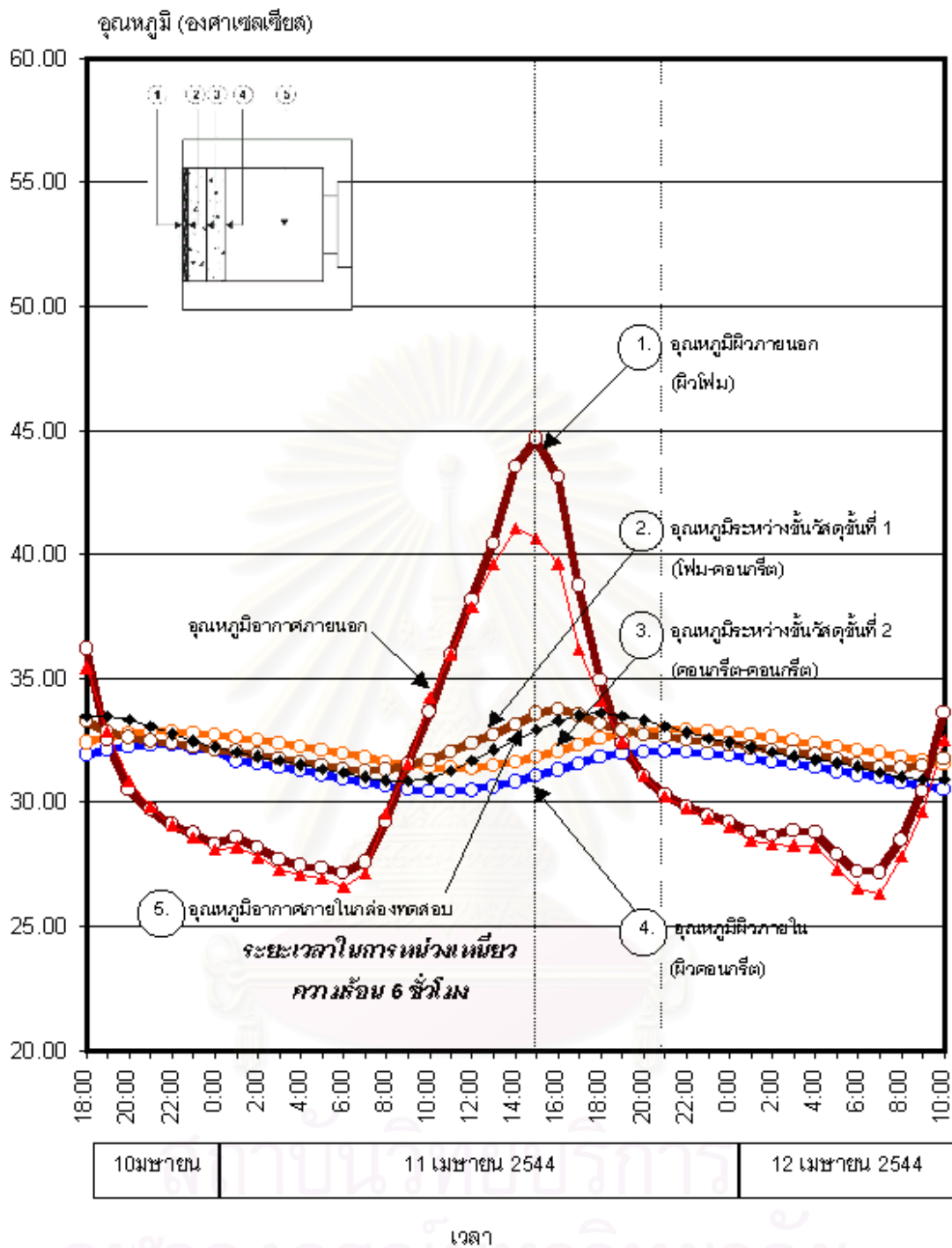
รายละเอียดของกล่องทดสอบทั้ง 3 กล่องมีดังนี้

กล่องที่ 1 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน

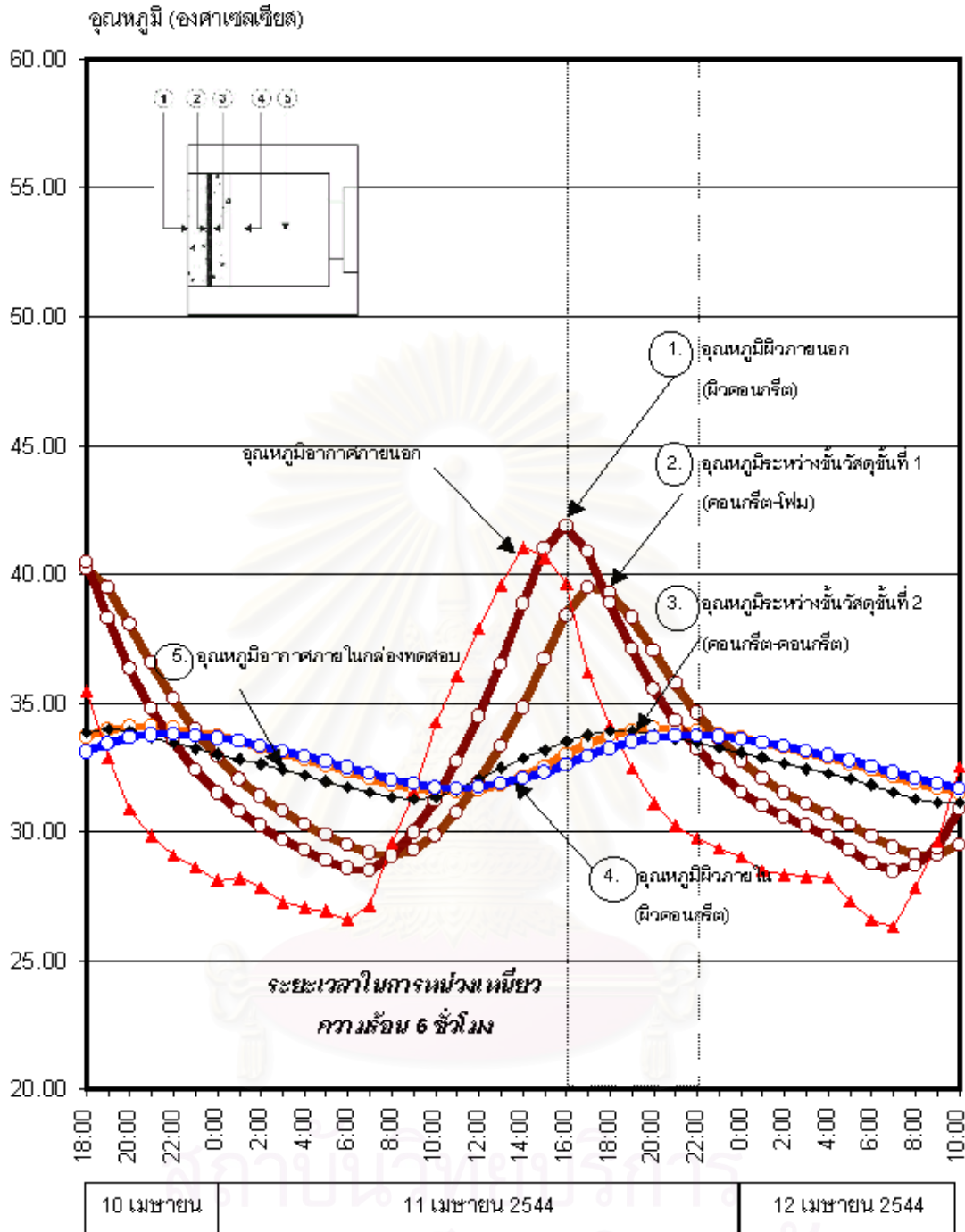
กล่องที่ 2 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร

กล่องที่ 3 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

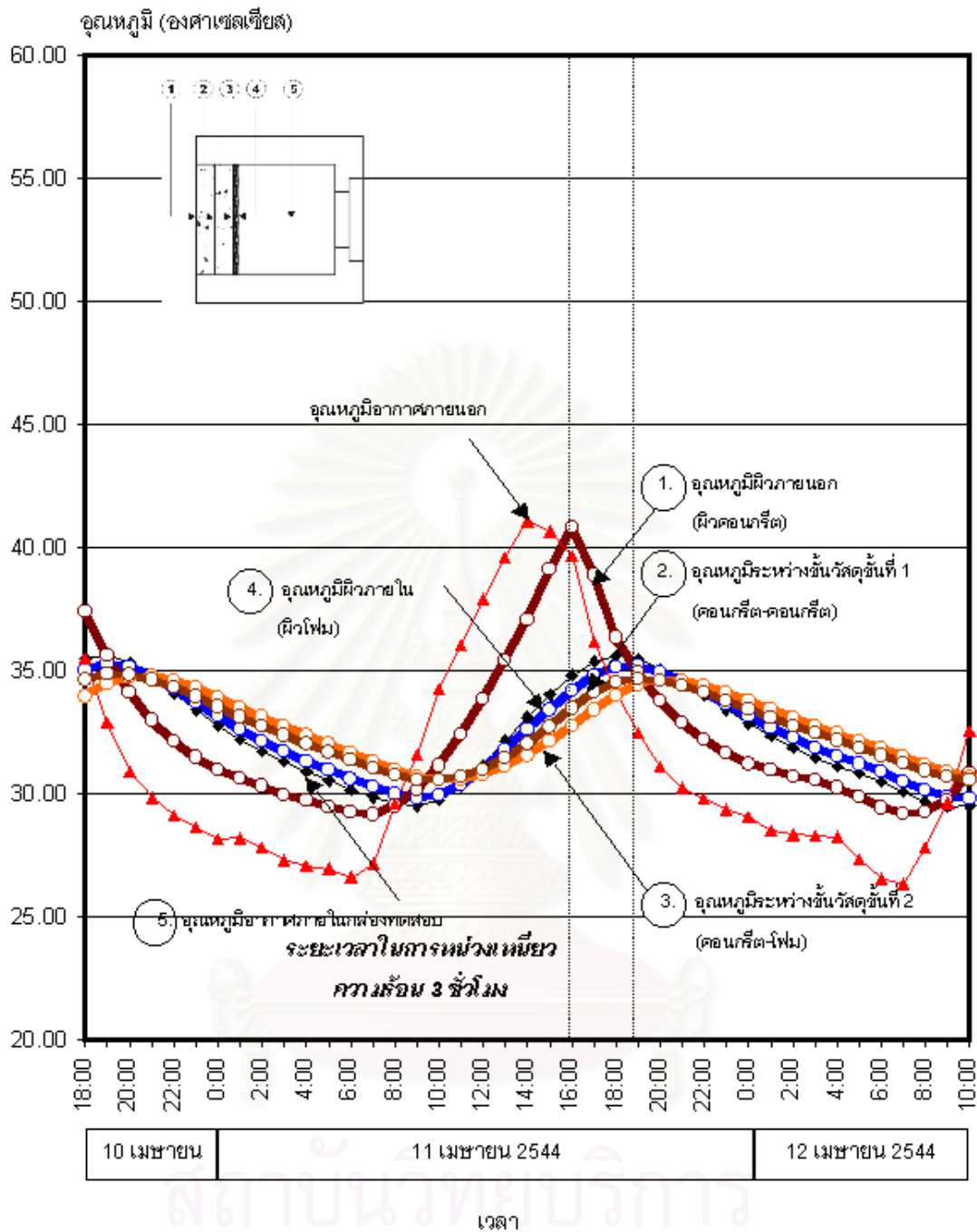


แผนภูมิที่ 4.1 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร



เวลา

แผนภูมิที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร



แผนภูมิที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-
ฉนวน

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับวัสดุทดสอบในการทดสอบที่ 1

ทดสอบเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2544 หนึ่งวัสดุทดสอบเข้าหาทิศตะวันตก และได้รับรังสีตรง จากดวงอาทิตย์ ในระหว่างการเก็บข้อมูลมีอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 32.18 องศาเซลเซียส มีค่า อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด 41.04 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด 26.58 องศาเซลเซียส

การคลาดเคลื่อนทางเวลา (Timelag)

วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	ประมาณ	6	ชั่วโมง
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	ประมาณ	6	ชั่วโมง
วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	ประมาณ	3	ชั่วโมง

ค่า Decrement Factor

วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	ประมาณ	0.09
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	ประมาณ	0.15
วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	ประมาณ	0.46

ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในกล่องทดสอบ (Peak Temperature)

วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	เท่ากับ	33.59 องศาเซลเซียส	เวลา	18.00 น.
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	เท่ากับ	33.91 องศาเซลเซียส	เวลา	19.00 น.
วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	เท่ากับ	35.59 องศาเซลเซียส	เวลา	18.00 น.

ค่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบเฉลี่ยตลอดวัน (Mean Temperature)

วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	เท่ากับ	32.15 องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	เท่ากับ	32.64 องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	เท่ากับ	32.36 องศาเซลเซียส

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด (Temperature Swing)

วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	เท่ากับ	2.84 องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	เท่ากับ	2.65 องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	เท่ากับ	6.11 องศาเซลเซียส

ปัญหาที่เกิดขึ้นภายในการทดสอบ

จากการทดสอบวัสดุการห้วงเหี่ยวการถ่ายเทความร้อนในแต่ละชั้นของวัสดุเป็นไปตามทฤษฎีกล่าวคือมีการเลื่อนของเวลาที่เกิดการ peak ของอุณหภูมิในแต่ละชั้นของเนื้อวัสดุจากผิวภายนอกจนถึงผิวภายในด้วยดี โดยผิวที่อยู่ชั้นในกว่าจะมีระยะเวลาการเกิดการห้วงเหี่ยวความร้อนที่ยาวกว่าผิวชั้นนอก แต่ในการทดสอบมีปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบเนื่องจากมีช่วงที่อุณหภูมิอากาศสูงกว่าอุณหภูมิผิวภายในในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 0.00 น. และยังมีระยะเวลาในการห้วงเหี่ยวความร้อนที่สั้นกว่าผิวภายในถึง 3 ชั่วโมง

ตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนตามหลักเทอร์โมไดนามิกส์การที่อุณหภูมิอากาศภายในจะสูงกว่าอุณหภูมิผิวที่เป็นตัวถ่ายเทพลังงาน (heat source) ย่อมไม่สามารถเป็นไปได้ถ้าไม่มีพลังงานจากที่อื่นส่งผลให้อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น จึงได้ทำการคำนวณสภาพการถ่ายเทพลังงานของกล่องทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบดังนี้

สภาพการถ่ายเทความร้อน

กล่องทดสอบสร้างจากโพลีเอทิลีนไทรเร็นความหนา 6 นิ้ว

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกล่องทดสอบด้านตั้ง 3 ด้าน

	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม			
	ชั้นวัสดุ	X/k	R	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.25		ผิวด้านนอกมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
ผนังโพลีเอทิลีนไทรเร็น	6/0.25	24		-
ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.68		ผิวด้านในมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
รวม			24.93	

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกล่องทดสอบด้านบน

	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม			
	ชั้นวัสดุ	X/k	R	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.25		ผิวด้านนอกมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
ผนังโฟมโพลีสไตรีน	6/0.25	24		-
ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.92		ผิวด้านในมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
รวม			25.17	

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมกล่องทดสอบด้านล่าง

	การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม			
	ชั้นวัสดุ	X/k	R	หมายเหตุ
ฟิล์มอากาศภายใน	-	0.61		ผิวด้านนอกมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
ผนังโฟมโพลีสไตรีน	6/0.25	24		-
ฟิล์มอากาศภายนอก	-	0.25		ผิวด้านในมีค่าสปส.การแผ่รังสีสูง
รวม			24.86	

พื้นที่ด้านดั่งมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน = $1/24.93 = 0.04$ บีทียู/ตารางฟุต-นิ้วมิง - องศาฟาเรนไฮต์

พื้นที่ด้านบนมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน = $1/25.17 = 0.039$ บีทียู/ตารางฟุต-นิ้วมิง - องศาฟาเรนไฮต์

มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน = $1/24.86 = 0.04$ บีทียู/ตารางฟุต-นิ้วมิง - องศาฟาเรนไฮต์

กล่องทดสอบมีพื้นที่ภายในต่อด้าน 4 ตารางฟุต 5 ด้าน ด้านดั่ง 3 ด้าน ด้านบน 1 ด้าน ด้านล่าง 1 ด้านจะมีค่า $U \cdot A$ เท่ากับ

$$\Sigma UA = (3 \cdot 4 \cdot 0.04) + (1 \cdot 4 \cdot 0.039) + (1 \cdot 4 \cdot 0.04) = 0.796 \text{ บีทียู/ชั่วโมง-องศาฟาเรนไฮต์}$$

จากการคำนวณในบทที่ 3 วัสดุทดสอบมีค่าสัมประสิทธิ์

การถ่ายเทความร้อนเท่ากับ = 0.172 บีทียู/ตารางฟุต-นิ้วมิง

วัสดุทดสอบมีพื้นที่ภายในต่อด้าน 4 ตารางฟุต 1 ด้าน 0.688 บีทียู/ชั่วโมง-องศาฟาเรนไฮต์

มวลสารรวม

กล่องทดสอบสร้างจากโฟมโพลีสไตรีนความหนา 6 นิ้ว ความหนาแน่น 1.5 ปอนด์/ลูกบาศก์ฟุต มีปริมาตร 17 ลูกบาศก์ฟุต มีมวลสาร 25.5 ปอนด์

วัสดุทดสอบมีมวลสารรวม 373.73 ปอนด์ มวลสารมีความแตกต่าง $373.73/25.5 = 14.7$ เท่า

จากการคำนวณพบว่าคุณสมบัติของกล่องในด้านการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงวัสดุทดสอบในขณะที่มีมวลสารแตกต่างกันถึง 14.7 เท่า ผลที่เกิดขึ้นคือการที่อุณหภูมิอากาศภายในไม่ได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่จากผนังด้านที่เป็นวัสดุทดสอบเพียงอย่างเดียวแต่ยังได้รับอิทธิพลจากกล่องทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน นอกจากนี้มวลสารที่แตกต่างกันถึง 14.7 เท่า ยังส่งผลให้การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของด้านที่เป็นกล่องทดสอบต่ำกว่าด้านที่เป็นวัสดุทดสอบมาก อุณหภูมิอากาศภายในจึงได้รับผลของการเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศภายนอกโดยตรง ส่งผลให้ในช่วงที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์อุณหภูมิอากาศภายในจะได้รับการเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิของกล่องทดสอบด้วย ส่วนในเวลากลางคืนอุณหภูมิของอากาศภายในจะค่อนข้างใกล้เคียงอุณหภูมิผิววัสดุทดสอบเนื่องจากได้รับพลังงานที่ถูกสะสมไว้ในวัสดุจากช่วงที่มีรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบจึงมีช่วงที่สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิผิวและมีการย้อนของช่วงเวลากการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

เพื่อให้การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด จากอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบเป็นไปอย่างเท่าเทียมกัน จึงได้ทำการคำนวณเพื่อพิสูจน์ว่ากล่องทดสอบทั้ง 3 กล่องได้รับอิทธิพลจากกล่องทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน

$$\text{กล่องทดสอบที่ 1 } Q_1 = mc\Delta t_1$$

$$\text{กล่องทดสอบที่ 2 } Q_2 = mc\Delta t_2$$

$$\text{กล่องทดสอบที่ 3 } Q_3 = mc\Delta t_3$$

$$\text{เมื่อกล่องทั้ง 3 ได้รับอิทธิพลจากภายนอกเท่าเทียมกัน } Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$\text{ดังนั้น } mc\Delta t_1 = mc\Delta t_2 = mc\Delta t_3$$

เมื่อ $mc =$ ค่าคงที่ ดังนั้น $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3$ สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกล่องทดสอบเปลี่ยนแปลงไปอย่างเท่าเทียมกัน จึงสามารถนำอุณหภูมิอากาศที่ได้รับอิทธิพลจากกล่องทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน เปรียบเทียบระหว่างกล่องทดสอบได้

สรุปผล ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดสอบเกิดจากการที่คุณสมบัติของกลุ่มควบคุมสภาพมีคุณสมบัติใกล้เคียงวัสดุทดสอบจึงส่งผลให้ค่าคุณสมบัติอากาศภายในผิดพลาด แต่เนื่องจากกลุ่มทดสอบมีการส่งผลต่อคุณสมบัติอากาศภายในอย่างเท่าเทียมกันจึงสามารถนำคุณสมบัติอากาศภายในเปรียบเทียบระหว่างกันได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร

การห้วงเหนียวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนียวความร้อนประมาณ 6 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนที่อยู่ภายนอกสุด จากนั้นปริมาณพลังงานซึ่งถูกลดลงจึงค่อยผ่านมวลสารภายในซึ่งเป็นคอนกรีตความหนา 8 นิ้ว มวลสารในวัสดุทดสอบจึงสามารถช่วยห้วงเหนียวปริมาณความร้อนดังกล่าวลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระยะเวลาการห้วงเหนียวความร้อนยืดระยะเวลาออกไป

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าระยะเวลาการห้วงเหนียวความร้อนซึ่งระบุโดยวิกเตอร์ (Victor, 1992:119) จะพบว่าค่าการห้วงเหนียวความร้อนของวัสดุคอนกรีตความหนา 8 นิ้วที่ไม่มีฉนวนหุ้มด้านนอกอยู่ที่ 5.1 ชั่วโมง ระยะเวลาดังกล่าวน้อยกว่าวัสดุทดสอบที่มีฉนวนหุ้มอยู่ด้านนอกเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องประสิทธิภาพของวัสดุฉนวนที่หุ้มอยู่ภายนอกสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้ามาจากภายนอกลง มวลสารภายในจึงสามารถช่วยห้วงเหนียวความร้อนได้ยาวนานมากขึ้น ระยะเวลาที่เกิดการห้วงเหนียวความร้อนในวัสดุทดสอบซึ่งมีฉนวนกันจึงมีค่าที่สูงกว่าที่ระบุโดยวิกเตอร์

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสารเป็นค่าที่ต่ำที่สุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุฉนวนที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรุนแรงตามสภาพอากาศภายนอก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_i / \theta_0$ จึงมีค่าสูงในขณะที่ค่า θ_i เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าตัวหารเป็น Decrement factor มีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวโพน) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่สูงมากเนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นโพนโพลีไสตรีนที่มีค่าฉนวนจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกทันที ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 44.62 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิจาก Sol-air temperature อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้ อยู่ที่ระดับ 32.88 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 18.00 น. เนื่องจากอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature และใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 18.00 น. ถึง 12.00 น. ที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air temperature แล้ว มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 17.55 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (โพน-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ถึง 10.89 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุฉนวน (โพนโพลีสไตรีน) ได้ช่วยลดอิทธิพลจาก Sol-air temperature ลงอย่างมากเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุชั้นแรกผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ลดลงและค่อนข้างคงที่แต่ยังคงมีการ swing อยู่บ้างเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 32.3 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.49 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 0.81 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 32.15 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1.55 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 32.15 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 31.27 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1.64 องศาเซลเซียส



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 6 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมดเช่นเดียวกับวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกขับด้วยวัสดุมวลสารคอนกรีต 4 นิ้วซึ่งอยู่ภายนอกสุด จากนั้นปริมาณพลังงานในส่วนที่เหลือซึ่งยังคงมีปริมาณมากพอสมควรจึงถูกลดลงโดยฉนวนภายในซึ่งเป็นโฟมโพลีสไตรีนความหนา 1 นิ้ว แล้วจึงถูกมวลสารคอนกรีต 4 นิ้ว ช่วยห้วงเหนี่ยวปริมาณความร้อนดังกล่าวลงอีกครั้ง ส่งผลให้ระยะเวลาการห้วงเหนี่ยวความร้อนยืดระยะเวลาออกไป

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารเป็นค่าที่เป็นกลางในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกน้อยกว่าเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้วซึ่งอยู่ภายนอก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_i / \theta_0$ จึงมีค่าต่ำลงในขณะที่ค่า θ_i เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าเป็นกลางในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่ต่ำกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นคอนกรีตความหนา 4 นิ้ว ที่มีค่ามวลสารจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกไม่รุนแรงมาก ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 41.84 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิจาก Sol-air temperature อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 33.55 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 8.00 น. เนื่องจากอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้คายความร้อนที่สะสมอยู่ในมวลสารออกสู่อากาศภายนอก และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 8.00 น. ถึง 14.00 น. เนื่องจากมวลสารภายนอกห้วงเหนี่ยวความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ไว้ มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 13.34 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีค่าแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ประมาณ 3.35 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุมวลสาร (คอนกรีต 4 นิ้ว) มีค่าการนำความร้อนที่สูงจึงช่วยลดอิทธิพลจาก Sol-air temperature ลงได้น้อย ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงและยังคงมีการ swing ในระดับที่มากอยู่ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 33.24 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 8.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 8.00 น. ถึง 17.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิ เนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้ว โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 9.45 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (โฟม-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 4.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 32.81 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.47 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 32.81 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 32.75 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.06 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 3 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราต่ำสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ด้านหลังวัสดุมวลสารเป็นส่วนใหญ่ จนมีอัตราในการถ่ายเทพลังงานที่น้อยลง ในขณะที่มวลสารภายนอกที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์โดยตรงไม่สามารถช่วยชดเชยหรือลดปริมาณความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากค่าการนำความร้อนที่สูงของวัสดุเอง อุณหภูมิภายในจึงมีการ swing และค่าเฉลี่ยตลอดวันที่ค่อนข้างสูง รวมถึงการมีระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวความร้อนที่สั้นกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-มวลสาร-ฉนวนในกรณีนี้เป็นค่าต่ำสุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกไม่รุนแรงนัก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าต่ำลงมากกว่าวัสดุทดสอบในรูปแบบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างสูง ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่น้อยลงเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 8 นิ้วภายนอก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารในกรณีได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดแผ่นคอนกรีต 8 นิ้ว ที่มีค่ามวลสารขึ้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกน้อยกว่าวัสดุในรูปแบบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 40.80 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 32.87 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่คงที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศได้รับผลกระทบจาก Sol-air temperature อุณหภูมิผิวจะยังไม่ขึ้นสูงในทันทีเนื่องจากถูกห่อหุ้มไว้ด้วยสภาพการแพร่กระจายความร้อนในเนื้อวัสดุ อุณหภูมิผิวจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 8.00 น. และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 8.00 น. ถึง 16.00 น. เนื่องจากการห่อหุ้มเหนียวความร้อนในตัววัสดุ มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 11.67 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ประมาณ 6.16 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุมวลสาร(คอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว) ได้รับอิทธิพลจาก Sol-air temperature ภายนอกอย่างรุนแรงเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุนี้ต่ำกว่าวัสดุฉนวน ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่แตกต่างจากอุณหภูมิผิวไม่มากนัก และยังมี การ swing อยู่ในระดับสูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 32.52 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 10.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 10.00 น. ถึง 17.00 น. คอนกรีตจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 4.11 องศาเซลเซียส เนื่องจากปริมาณค่าความจุความร้อนของวัสดุมวลสาร (คอนกรีต 4 นิ้ว) ในชั้นต่อมา

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่ใกล้เคียงอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 เนื่องจากค่าการนำความร้อนของวัสดุมวลสารทำให้อุณหภูมิในชั้นนี้ไม่แตกต่างจากชั้นก่อนหน้ามากนัก ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 0.05 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากในชั้นนี้ทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 32.53 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 8.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 8.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิคอนกรีตมีการ swing โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 4.04 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวโฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะแตกต่างจากชั้นก่อนหน้าอย่างรุนแรงเนื่องจากการที่ผิวโฟมได้รับการพาความร้อนจากอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบที่สูงกว่าเนื่องจากคุณสมบัติในการกักความร้อนของวัสดุสูงกว่ากล่องทดสอบดังที่ได้มีการ

คำนวณเปรียบเทียบอุณหภูมิในชั้นนี้จึงมีการสูงขึ้นและ swing อย่างรุนแรงโดยมีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ 32.40 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. และสูงกว่าในช่วง 17.00 น. ถึง 9.00 น. อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในระดับสูงโดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 5.73 องศาเซลเซียส



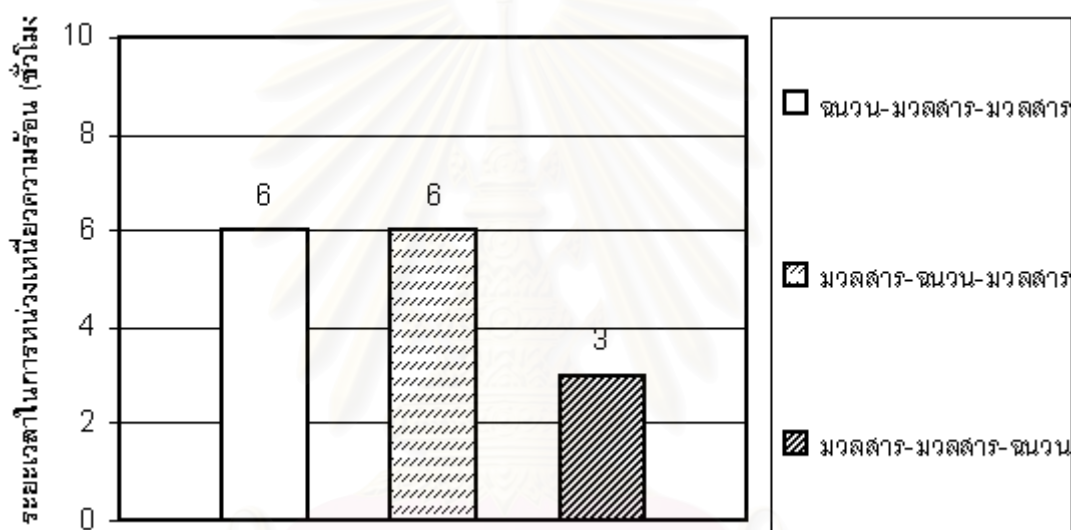
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ผลรูปแบบในการผสมผสานมวลสาร

การพิจารณาเพื่อหาข้อสรุปของรูปแบบที่ดีที่สุดในการผสมผสานมวลสารสามารถพิจารณาตามปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ค่าระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
- ค่า Decrement factor ของวัสดุ
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก
- ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายใน
- จำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิผิวภายในสูงและต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

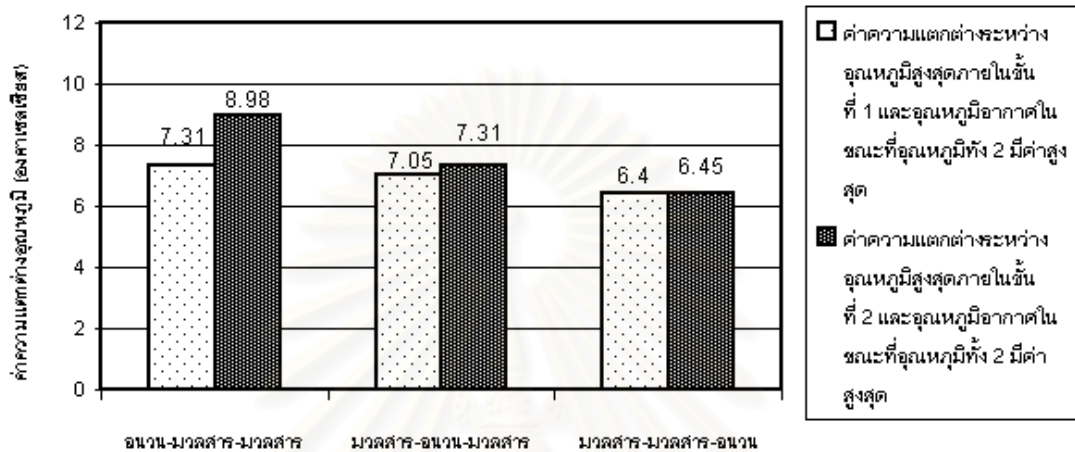
ค่าระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวความร้อน



แผนภูมิที่ 4.4 แสดงค่าระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ

- ระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ พบว่า วัสดุขนวน-มวลสาร-มวลสาร มีระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวการถ่ายเทความร้อนเท่ากับวัสดุมวลสาร-ขนวน-มวลสาร ส่วนวัสดุมวลสาร-มวลสาร-ขนวน มีระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวความร้อนน้อยที่สุด คือ 2 ชั่วโมง เนื่องจากค่าอุณหภูมิผิวผิดพลาดจากการถ่ายเทความร้อนของกล่องทดสอบดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่เนื่องจากวัสดุภายในเป็นวัสดุขนวน (โพลีโพลีสไตรีนซึ่งมีค่าความจุความร้อนต่ำจึงมีระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวที่น้อยจึงสามารถสันนิษฐานการแห้งเหี่ยวความร้อนที่แท้จริงจากระยะเวลาในการแห้งเหี่ยวความร้อนในวัสดุชั้นก่อนหน้าได้ เท่ากับ 4 ชั่วโมงซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยที่สุดในกลุ่มวัสดุทดสอบเช่นเดิม

● สาเหตุที่ทำให้เกิดการห่อหุ้มเหนียวความร้อนที่แตกต่างกันเนื่องมาจากรูปแบบและลำดับในการจัดเรียงวัสดุฉนวน การใช้วัสดุฉนวนซึ่งมีค่าความเป็นฉนวนสูงภายนอกสามารถลดความร้อนจาก Sol-air temperature ได้เป็นอย่างดี มวลสารที่อยู่ภายในจึงห่อหุ้มเหนียวปริมาณความร้อนที่ผ่านมาจากชั้นนอกในปริมาณที่น้อย ระยะเวลาในการห่อหุ้มเหนียวการถ่ายเทความร้อนจึงนานขึ้นสามารถสังเกตได้จากแผนภูมิต่อไปนี้



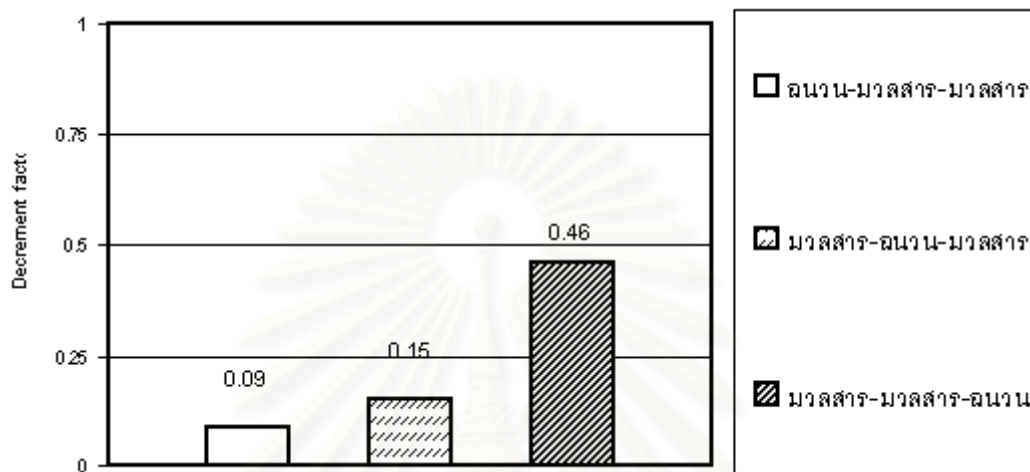
แผนภูมิที่ 4.5 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศสูงสุดและอุณหภูมิในเนื้อวัสดุที่ทำการทดสอบในแต่ละชั้นทั้ง 3 รูปแบบ

จะพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศสูงสุดและอุณหภูมิในเนื้อวัสดุสูงสุดของวัน วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร จะเป็นรูปแบบที่ทำให้เกิดค่าความแตกต่างสูงสุดทั้งในชั้นวัสดุที่ 1 และชั้นวัสดุที่ 2 แสดงให้เห็นว่ารูปแบบในการลดทอนความร้อนของวัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เป็นไปได้ดีที่สุด ส่วนการที่ค่าระยะเวลาในการห่อหุ้มเหนียวความร้อนของวัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เท่ากับวัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เนื่องจากปริมาณมวลสารในการทดสอบค่อนข้างน้อยจึงไม่สามารถทำให้เกิดความแตกต่างอย่างชัดเจน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า Decrement factor ของวัสดุ

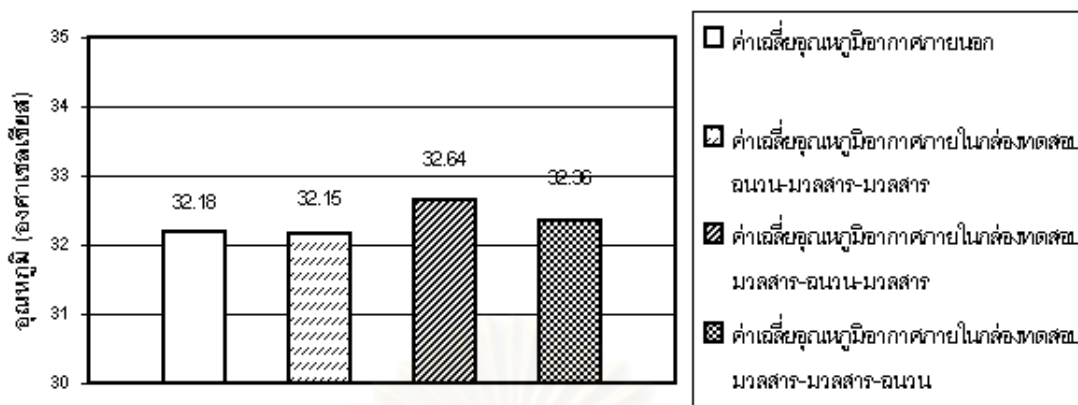
ค่า Decrement factor ของวัสดุ เป็นค่าที่คิดจากผิวภายนอกถึงผิวภายในวัสดุเพื่อบอกอัตราส่วนความแตกต่างระหว่างผิวภายในถึงภายนอก ค่าที่ต่ำจะบอกถึงค่าความแตกต่างที่สูงซึ่งเป็นผลให้ผิวภายในวัสดุเย็นกว่าวัสดุที่มีค่านี้สูง



แผนภูมิที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างตลอดวันระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุ และอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุ

ค่า Decrement factor ที่ได้จากการเปรียบเทียบทั้ง 3 รูปแบบพบว่า ค่าที่ได้จากวัสดุทดสอบผนัง-มวลสาร-มวลสาร เป็นค่าที่ต่ำที่สุดหมายถึงความสามารถในการสร้างความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายนอกและภายในสูงสุด โดยค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบจากผิวภายนอกถึงผิวภายในที่ต่ำมากจะบ่งชี้ถึงอุณหภูมิผิวภายนอกที่สูงมากเนื่องมาจากวัสดุภายนอกเป็นวัสดุฉนวน (โฟมโพลีสไตรีน) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบพบว่าวัสดุผนัง-มวลสาร-มวลสาร เป็นวัสดุทดสอบที่สามารถลดอิทธิพลภายนอกได้ดีที่สุดรองลงมาได้แก่วัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-ผนัง-มวลสาร และ มวลสาร-มวลสาร-ผนัง ตามลำดับ

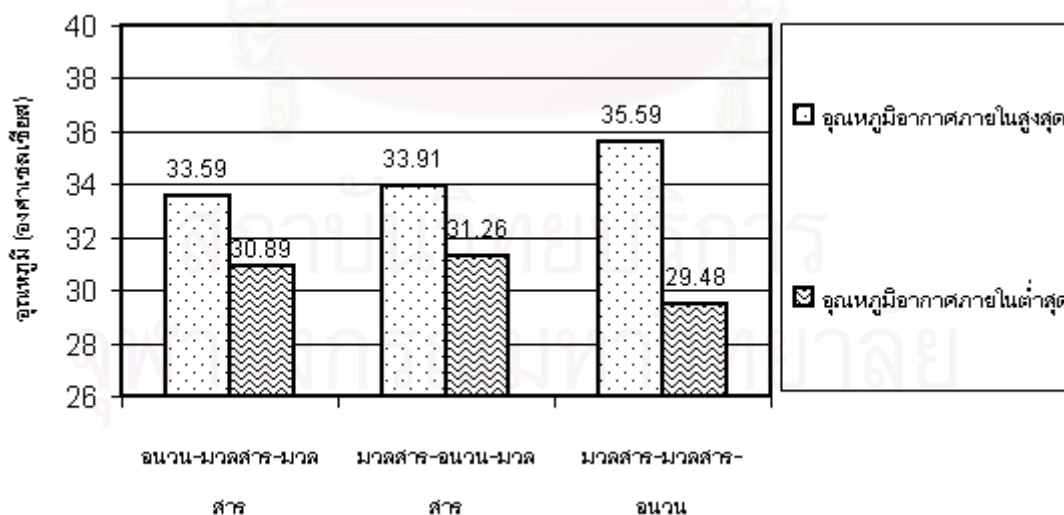
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก



แผนภูมิที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกพบว่าตลอดวันอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุทดสอบในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เป็นวัสดุที่มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำที่สุด และแตกต่างจากวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณมวลสารภายในวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่มีมากกว่าจึงสามารถช่วยรั้งอุณหภูมิไว้ได้ต่ำกว่าเนื่องจากค่าความจุความร้อนที่มากกว่านั่นเอง

ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุดภายใน

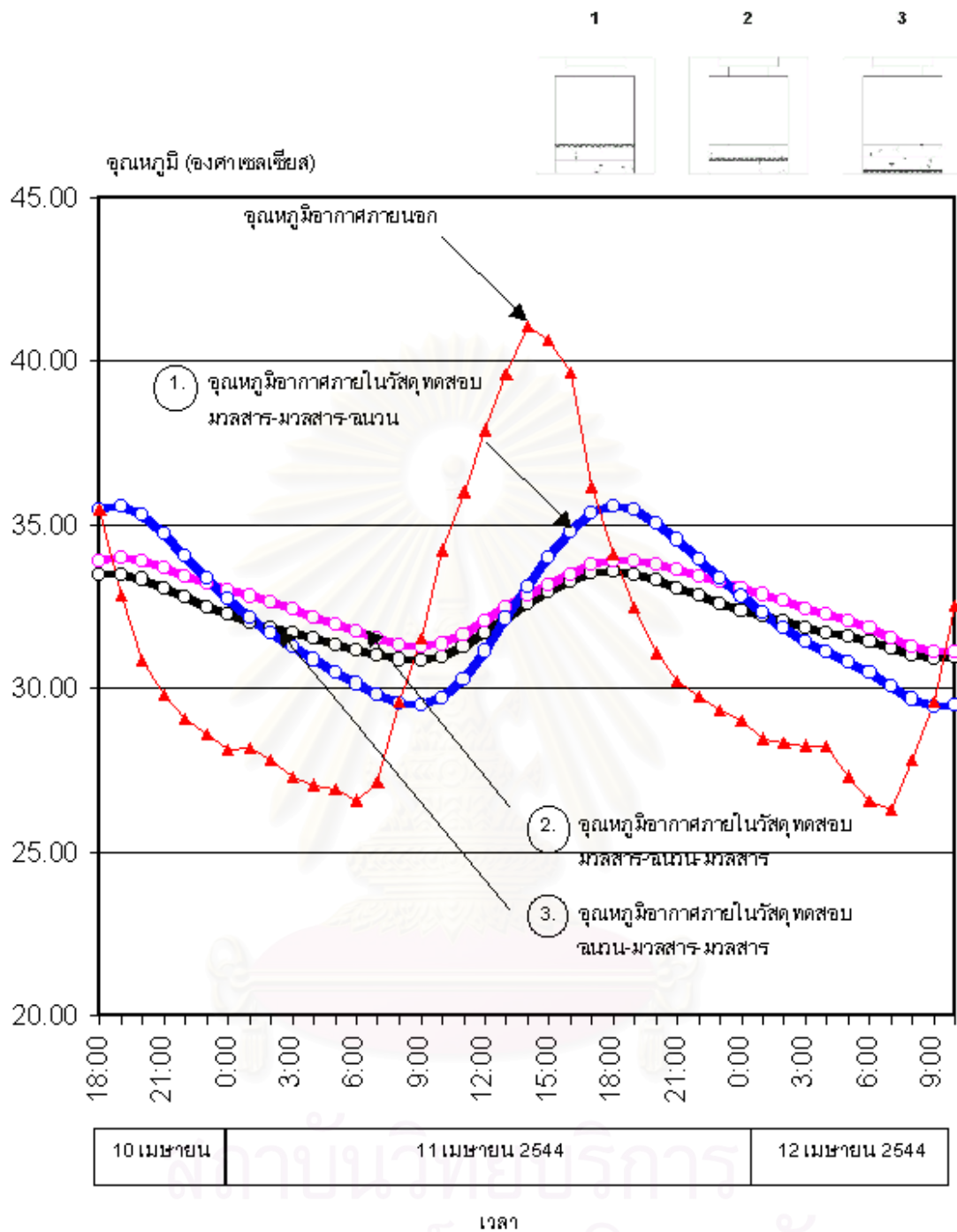


แผนภูมิที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายในเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ

จากการเปรียบเทียบพบว่าค่าอุณหภูมิอากาศภายในของวัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ค่อนข้างจะเป็นวัสดุที่มีอุณหภูมิอากาศค่อนข้างคงที่และมีอุณหภูมิสูงสุดที่ต่ำกว่าวัสดุทดสอบชนิดอื่น เนื่องมาจากปริมาณมวลสารภายในที่สูงกว่าจึงทำให้มีค่าความจุความร้อนที่สูงกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ส่วน วัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ค่อนข้างจะมีอุณหภูมิที่อยู่ในช่วงปานกลางเมื่อเทียบกับวัสดุทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากเสียปริมาณมวลสารภายในไปจึงทำให้ค่าความจุความร้อนลดน้อยลงอุณหภูมิภายใน จึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ในส่วนของวัสดุทดสอบมวล สาร-มวลสาร-ฉนวนจะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สูงเนื่องจากวัสดุภายในเป็นวัสดุฉนวนที่ไม่ สามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้อุณหภูมิภายในจึงเปลี่ยนแปลงขึ้นลงด้วยอัตราที่สูงและรวดเร็ว วัสดุทดสอบชนิดนี้คาดว่าจะไม่เหมาะในการใช้งานเมื่อภายในมีแหล่งกำเนิดความร้อนในจำนวนมาก เมื่ออยู่ในสภาพไม่ปรับอากาศเนื่องจากวัสดุภายในมีคุณสมบัติที่เป็นฉนวนจะส่งผลให้อุณหภูมิ ภายในเปลี่ยนแปลงตามแหล่งกำเนิดความร้อนภายในโดยตรง

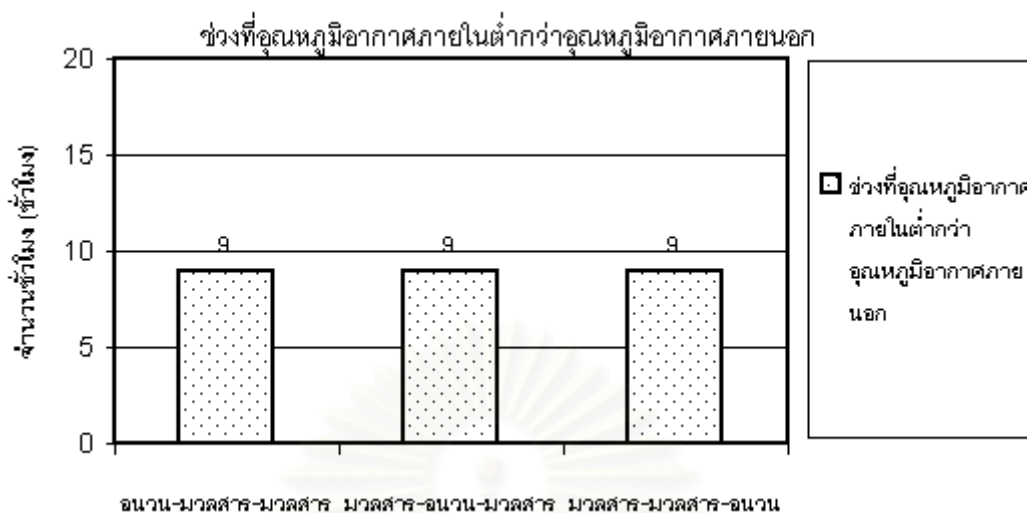


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบจุดหมุมิอากาศภายในกล่องทดสอบวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ

จำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก



แผนภูมิที่ 4.10 แสดงจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

วัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร และมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 9.00-18.00 น. ส่วนวัสดุทดสอบมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน อยู่ในช่วงเวลา 8.00-17.00 น. วัสดุทั้ง 3 ชนิดมีระยะเวลาที่มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่ 9 ชั่วโมงทั้ง 3 ชนิด

สรุปผลการทดสอบรูปแบบในการผสมผสานมวลสาร

1.วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เป็นวัสดุที่ดีที่สุดในการทดสอบครั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ยาวนาน ค่าอัตราส่วนDecrement factor ที่ต่ำ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ และค่อนข้างคงที่ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการจัดลำดับวัสดุที่เหมาะสมกับอิทธิพลภายนอกที่เกิดขึ้น การเรียงวัสดุฉนวนที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงอยู่ภายนอกสามารถช่วยลดอิทธิพลภายนอกที่รุนแรงได้ดีกว่าการใช้มวลสารซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่สูงซึ่งจะทำให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผิวภายนอกในปริมาณมหาศาลเนื่องจากค่าความจุความร้อนของวัสดุมวลสาร เป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้ามาภายในตลอดวันอย่างรุนแรงการใช้วัสดุฉนวนภายนอกยังช่วยให้ปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามายังชั้นวัสดุภายในลดลง มวลสารจึงทำการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในปริมาณที่น้อยวัสดุจึงมีอุณหภูมิผิวภายในที่ต่ำกว่าวัสดุทดสอบชนิดอื่นๆและค่อนข้างจะมีความคงที่มากกว่าเนื่องจากปริมาณมวลสารภายในที่มากที่สุด

ข้อเสียของวัสดุทดสอบในรูปแบบนี้คือยังค่อนข้างที่จะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศจึงอาจจำเป็นต้องให้การระบายอากาศในช่วงที่อุณหภูมิผิวภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกอยู่บ้าง

2.วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เป็นวัสดุทดสอบที่มีคุณสมบัติอยู่ในช่วงกลางของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการสลับลำดับฉนวนไว้ระหว่างวัสดุมวลสาร ทำให้สูญเสียปริมาณมวลสารภายในไปค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวจึงสูงกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เนื่องจากความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ลดลงของวัสดุ นอกจากนั้นวัสดุมวลสารภายนอกเมื่อได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ยังมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากค่าการนำความร้อนของคอนกรีตที่สูง ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของคอนกรีตจึงสูญเสียไปและมีประสิทธิภาพน้อยกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เนื่องจากต้องทำการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทปริมาณความร้อนที่สูง ค่าความจุความร้อนของคอนกรีตจึงเต็มในเวลาอย่างรวดเร็วส่งผลให้อุณหภูมิแปรผันทันทีความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจึงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวัสดุทดสอบแบบแรก

นอกจากการสูญเสียประสิทธิภาพในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของคอนกรีตชั้นแรก เมื่อปริมาณความร้อนที่ผ่านวัสดุฉนวน (โพนโฟลีสไตรีน) ถูกลดมายังมวลสารภายในเป็นลำดับสุดท้าย อุณหภูมิยังคงเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงเนื่องมาจากปริมาณมวลสารภายในที่ไม่เพียงพอส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายในเปลี่ยนแปลงสูงกว่าวัสดุทดสอบแบบแรก ด้วยเหตุนี้วัสดุทดสอบชนิดนี้จึงสูญเสียความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนไปบ้างจึงมีประสิทธิภาพในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่น้อยกว่าแบบแรก

3. วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน วัสดุชนิดนี้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต่ำที่สุดในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากวัสดุทดสอบทั้งหมด 3 ชนิดเนื่องจากการนำเอาวัสดุมวลสารทั้งหมดออกไปปรับพลังงานในปริมาณมหาศาลโดยตรงทำให้ความสามารถในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุมวลสารถูกใช้งานไปในระยะเวลาอันสั้นจนหมด นอกจากนี้การนำวัสดุฉนวนไปใช้ภายในส่งผลให้เกิดค่าความเป็นฉนวนภายในโดยตรงสามารถสังเกตได้จากอุณหภูมิผิวภายในที่ผุดผื่นไปจากวัสดุทดสอบแบบอื่นๆ อุณหภูมิของผิวภายในจะแปรผันกับแหล่งกำเนิดความร้อนภายในส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายในสูงกว่าอุณหภูมิในชั้นวัสดุก่อนหน้าอย่างรวดเร็ว ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารที่ใช้วัสดุทดสอบชนิดนี้จะถูกกักเก็บไว้ภายในเป็นผลให้อุณหภูมิอากาศภายในสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากกว่าวัสดุทดสอบแบบอื่นๆ รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงที่สูงกว่า

นอกจากนี้จากการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวภายในตลอดวันจะสูงกว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศตลอดวัน และมีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ต่ำที่สุดแม้เมื่อเทียบจากวัสดุในชั้นก่อนหน้าวัสดุฉนวน

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 2

การทดสอบที่ 2 มีจุดมุ่งหมายในการทดสอบตัวแปร “คุณสมบัติของผิวในการดูดซับพลังงานความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์” เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัสดุผนังซึ่งมีรูปแบบการผสมผสานมวลสารที่แตกต่างกันและมีการใช้งานในสภาพที่มีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับความร้อนที่แตกต่างกัน

ในการทดสอบได้จัดเตรียมกล่องทดสอบจำนวน 6 กล่อง หันด้านทดสอบไปทางทิศตะวันตกเพื่อให้ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุดในช่วงวันเนื่องจากในขณะที่ทำการทดลองอยู่ในช่วงวัน Equinox ในเดือนมีนาคมทำให้ทิศใต้ไม่ได้รับรังสีตรงเกือบตลอดวัน นอกจากนี้ยังได้กำหนดให้มีการทดสอบกล่องทั้ง 6 ในเวลาและสถานที่เดียวกันเพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรที่ไม่ได้ทำการทดสอบให้ส่งผลต่อวัสดุทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน

รายละเอียดของกล่องทดสอบทั้ง 3 กล่องมีดังนี้

กล่องที่ 1 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เคลือบผิวด้วยสีน้ำ
พลาสติกสีขาว

กล่องที่ 2 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เคลือบผิวด้วยสีน้ำ
พลาสติกสีขาว

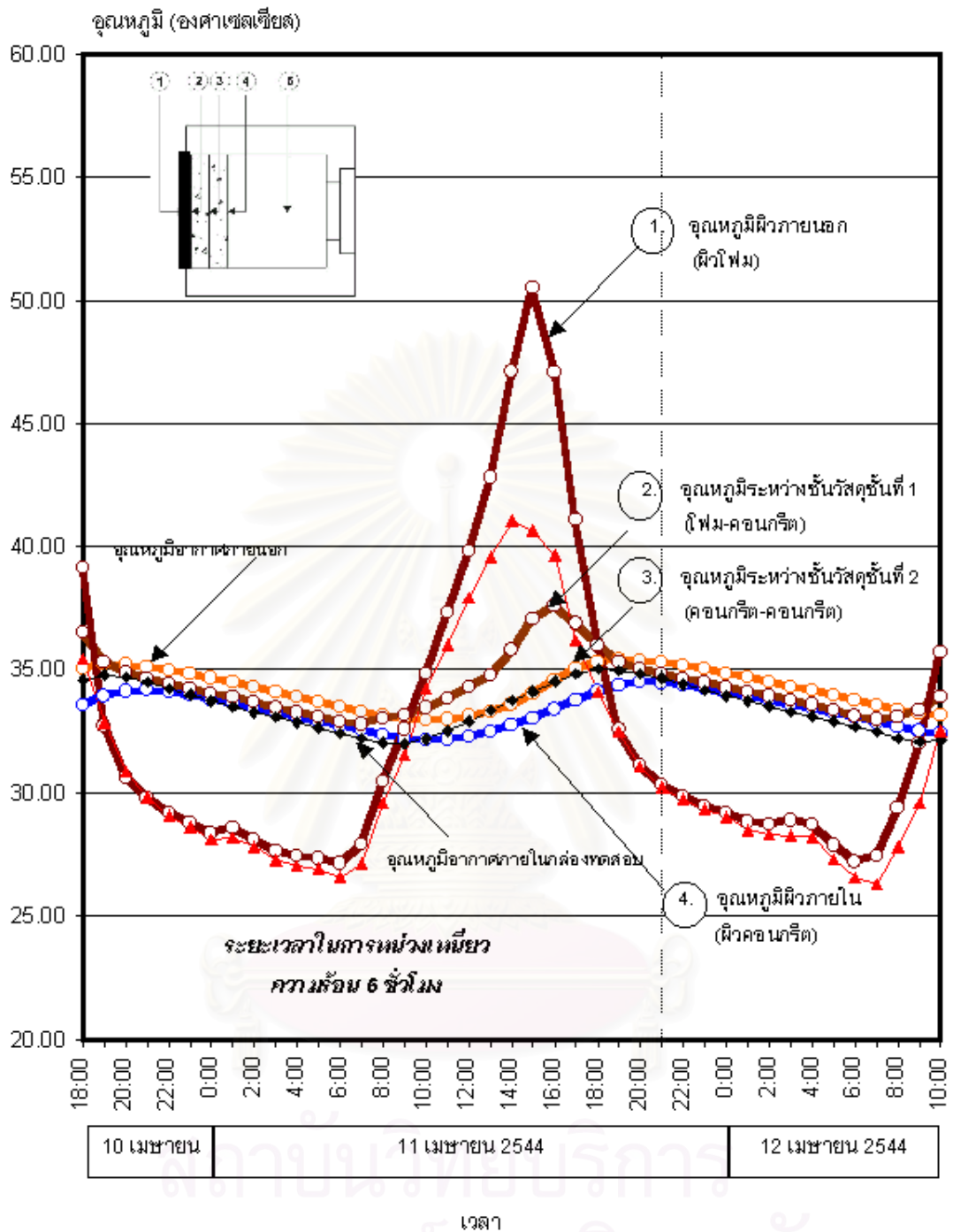
กล่องที่ 3 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารเคลือบผิวด้วยสีน้ำ
พลาสติกสีขาว

กล่องที่ 4 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนเคลือบผิวด้วยสีน้ำ
พลาสติกสีดำ

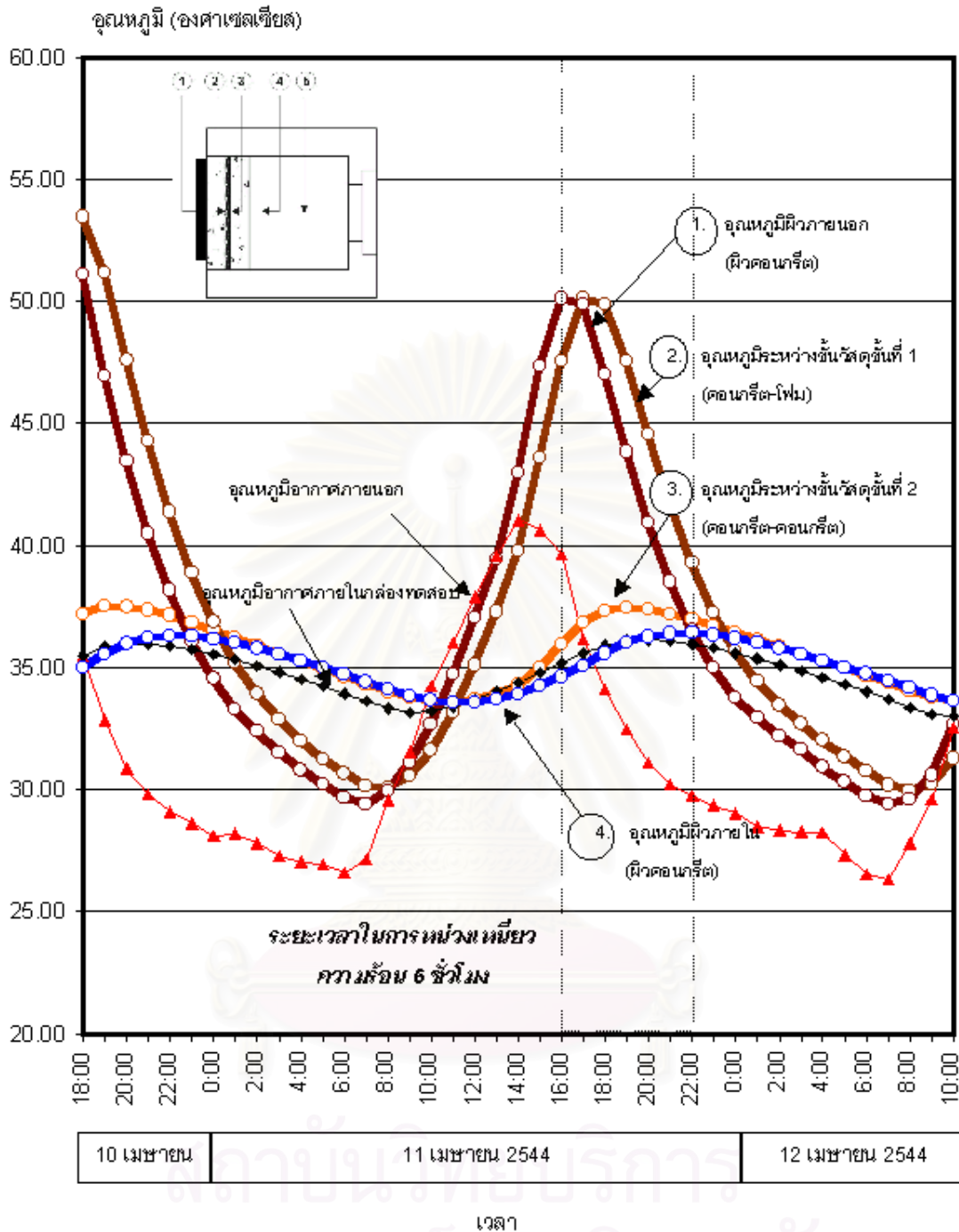
กล่องที่ 5 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารเคลือบผิวด้วยสีน้ำ
พลาสติกสีดำ

กล่องที่ 6 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารเคลือบผิวด้วยสีน้ำ
พลาสติกสีดำ

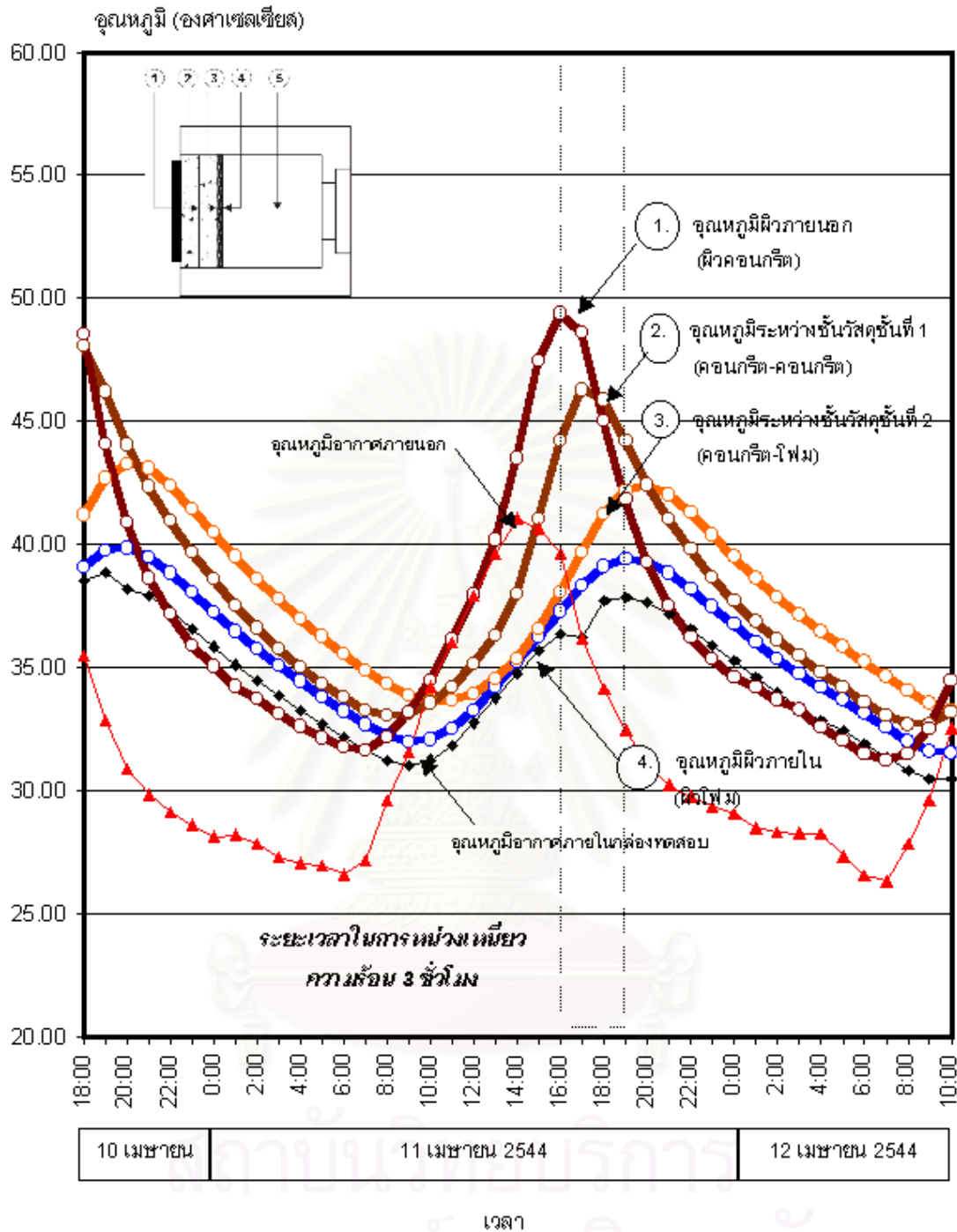
เนื่องจากข้อมูลวัสดุทดสอบในกล่องที่ 1-3 เป็นข้อมูลเดียวกับสมมุติฐานที่ 1 จึงนำเสนอข้อมูลพื้นฐานของวัสดุทดสอบในกล่อง 4-6 ซึ่งเป็นวัสดุทดสอบที่ทาสีดำเท่านั้น จากนั้นจึงจะวิเคราะห์เปรียบเทียบจากวัสดุที่มีเคลือบผิวต่างกันทั้ง 2 ชุด



แผนภูมิที่ 4.11 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่เคลือบผิวด้วยสีดำ



แผนภูมิที่ 4.12 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่เคลือบผิวด้วยสีดำ



แผนภูมิที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ที่เคลือบผิวด้วยสีดำ

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับวัสดุทดสอบสีดำในการทดสอบที่ 2

ทดสอบเมื่อวันที่ 11 เมษายน 2544 หันวัสดุทดสอบเข้าหาทิศตะวันตก และได้รับรังสีตรง จากดวงอาทิตย์ ในระหว่างการเก็บข้อมูลมีอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย 32.18 องศาเซลเซียส มีค่า อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด 40.04 องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด 26.58 องศาเซลเซียส

การคลาดเคลื่อนทางเวลา (Timelag)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	ประมาณ	6	ชั่วโมง
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	ประมาณ	6	ชั่วโมง
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	ประมาณ	3	ชั่วโมง

ค่า Decrement Factor

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	ประมาณ	0.097
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	ประมาณ	0.14
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	ประมาณ	0.45

ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในกล่องทดสอบ (Peak Temperature)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เท่ากับ	35.02	องศาเซลเซียส	เวลา 18.02 น.
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เท่ากับ	36.14	องศาเซลเซียส	ในเวลา 20.00 น.
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เท่ากับ	37.85	องศาเซลเซียส	ในเวลา 19.00 น.

ค่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบเฉลี่ยตลอดวัน (Mean Temperature)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เท่ากับ	33.25	องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เท่ากับ	35	องศาเซลเซียส
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เท่ากับ	35.58	องศาเซลเซียส

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด

(Temperature Swing)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เท่ากับ	2.98	องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เท่ากับ	2.99	องศาเซลเซียส
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เท่ากับ	6.82	องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่เคลือบผิวด้วยสีดำ

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 7 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด อัตรานี้เป็นอัตราเดียวกับวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันในกรณีที่เกิดเคลือบผิวด้วยสีขาว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอกสุดจนมีอัตราในการถ่ายเทพลังงานที่น้อยลงโดยจะสังเกตได้จากอุณหภูมิในชั้นที่ 2 (โฟม-คอนกรีต) จะพบว่าการเคลื่อนไหวของอุณหภูมิมีลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก มวลสารภายในจึงสามารถดูดซับพลังงานในชั้นนี้ได้ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ค่าระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุรูปแบบนี้ในกรณีได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสารในกรณีที่ไม่ได้เป็นค่าที่ต่ำที่สุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุฉนวนที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรุนแรงตามสภาพอากาศภายนอก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าสูงในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุทดสอบในแต่ละชั้นที่ได้มีการติดตั้งเซนเซอร์สามารถวิเคราะห์ได้จากแผนภูมิ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวโฟม) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่สูงที่สุดในกรณีไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์แต่ยังคงน้อยกว่าในกรณีที่วัสดุได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นโฟมโพลีสไตรีนที่มีค่าฉนวนจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกได้ง่าย ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 50.52 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิจาก Sol-air temperature อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 33.98 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 7.00-18.00 น. ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศได้รับผลกระทบจาก Sol-air temperature อุณหภูมิผิวจะขึ้นสูงในทันที.

และใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 18.00 น. ถึง 7.00 น. แล้ว มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 23.93 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (โพน-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ถึง 12.9 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุฉนวน (โพนโฟลีสไทริน) ได้ช่วยลดอิทธิพลภายนอกลงอย่างมาก ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทศอบนี้มีปริมาณที่ลดลงและค่อนข้างคงที่แต่ยังคงมีการ swing อยู่บ้างเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 34.47 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 17.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 4.83 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 2.2 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 34.13 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.47 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 34.13 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 33.25 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 18.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.34 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่เคลือบผิว ด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับความร้อนที่แตกต่างกัน

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 6 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด อัตรานี้เป็นอัตราเดียวกับวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันในกรณีทีเคลือบผิวด้วยสีขาว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่กลางวัสดุมวลสาร 2 ด้าน จนมีอัตราในการถ่ายเทพลังงานที่น้อยลงโดยจะสังเกตได้จากอุณหภูมิในชั้นที่ 3 (โพลี-คอนกรีต) จะพบว่าการเคลื่อนไหวของอุณหภูมิมียุทธลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก มวลสารภายในจึงสามารถดูดซับพลังงานในชั้นนี้ได้ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ค่าระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุรูปแบบนี้ในกรณีได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่แตกต่างกัน

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารในกรณีนี้เป็นค่ากลางในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกไม่รุนแรงนัก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าต่ำลงในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่ากลางในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่สูงมากเนื่องจากค่าการนำความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้วภายนอก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสารเนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นแผ่นคอนกรีตที่มีค่าการนำความร้อนสูงจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกรวดเร็วกว่าวัสดุในรูปแบบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 50.11 องศาเซลเซียส โดยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 9.07 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 37.03 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่คงที่ลงมากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศได้รับผลกระทบจาก Sol-air temperature อุณหภูมิผิวจะขึ้นสูงในทันทีเนื่องจากวัสดุได้รับพลังงานจากการนำความร้อนผ่านผิววัสดุมายังเซนเซอร์โดยตรง อุณหภูมิผิวจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 14.00 น. ถึง 8.00 น. และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 8.00 น.

ถึง 14.00 น. ที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air temperature แล้ว มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 20.7 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak เล็กน้อยประมาณ 0.01 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุมวลสาร(คอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว) ได้รับอิทธิพลอุณหภูมิอากาศภายนอกอย่างรุนแรงเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุนี้ต่ำกว่าวัสดุฉนวน ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิผิวมากนักและยังคงมีการ swing อยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 37.58 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 14.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 14.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 20.5 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (โฟม-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 เนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุฉนวน (โฟมโพลีสไตรีน) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 12.65 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากในชั้นนี้ทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 35.45 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 10.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 10.00 น. ถึง 16.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 3.87 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 35.45 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 35.00 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 10.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 10.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.86 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ที่เคลือบผิว ด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับความร้อนที่แตกต่างกัน

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 3 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราต่ำสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด อัตรานี้เป็นอัตราเดียวกับวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันในกรณีที่เคลือบผิวด้วยสีขาว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ด้านหลังวัสดุมวลสาร จนมีอัตราในการถ่ายเทพลังงานที่น้อยลงโดยจะสังเกตได้จากอุณหภูมิในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-โฟม) จะพบว่าการเคลื่อนไหวของอุณหภูมิมียุทธศาสตร์ที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ในการพิจารณาค่าการห้วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุคอนกรีตจะทำได้ยากเนื่องจากวัสดุทดสอบมีผิวภายในเป็นวัสดุฉนวนและคุณภาพของวัสดุในการป้องกันความร้อนโดยรวมสูงมากทำให้อุณหภูมิผิวภายในได้รับผลกระทบจากความร้อนที่ได้ผ่านผนังกล่องทดสอบจนเกิดการ Peak ของอุณหภูมิอากาศและผิวภายในย้อนกลับมา ช่วงระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุจึงสั้นลงกว่าวัสดุทดสอบในอีก 2 รูปแบบ

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-มวลสาร-ฉนวนในกรณีนี้เป็นค่าสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกไม่รุนแรงนัก ค่าตัวหาร θ_1 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าต่ำลงมากกว่าวัสดุทดสอบในรูปแบบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด คอนกรีตสูง ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าสูงสุดในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่น้อยลงเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 8 นิ้วภายนอก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารในกรณีไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์แต่ยังคงน้อยกว่าวัสดุทดสอบรูปแบบเดียวกันในกรณีที่วัสดุได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดแผ่นคอนกรีต 8 นิ้ว ที่มีค่ามวลสารขึ้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกน้อยกว่าวัสดุในรูปแบบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 49.37 องศาเซลเซียส โดยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 8.33 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 37.59 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ swing อย่างรุนแรงเนื่องจากค่าการดูดซับความร้อนที่พื้นผิว อุณหภูมิผิวจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเกือบตลอดวัน มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 17.76 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak เล็กน้อยประมาณ 3.09 องศาเซลเซียส เนื่องจากผิววัสดุมวลสาร (คอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว) ได้รับอิทธิพลอุณหภูมิอากาศภายนอกอย่างรุนแรง ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่แตกต่างจากอุณหภูมิผิวมาก และยังคงมีการ swing อยู่ในระดับสูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 37.97 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 10.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 10.00 น. ถึง 15.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 13.25 องศาเซลเซียส เนื่องจากปริมาณค่าความจุความร้อนของวัสดุมวลสาร (คอนกรีต 4 นิ้ว) ในชั้นต่อมา

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 เนื่องจากค่าการนำความร้อนของวัสดุมวลสารทำให้อุณหภูมิในชั้นนี้ไม่แตกต่างจากชั้นก่อนหน้ามากนัก ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้า ในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 3.86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 37.61 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 17.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างมีการ swing โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 8.81 องศาเซลเซียส

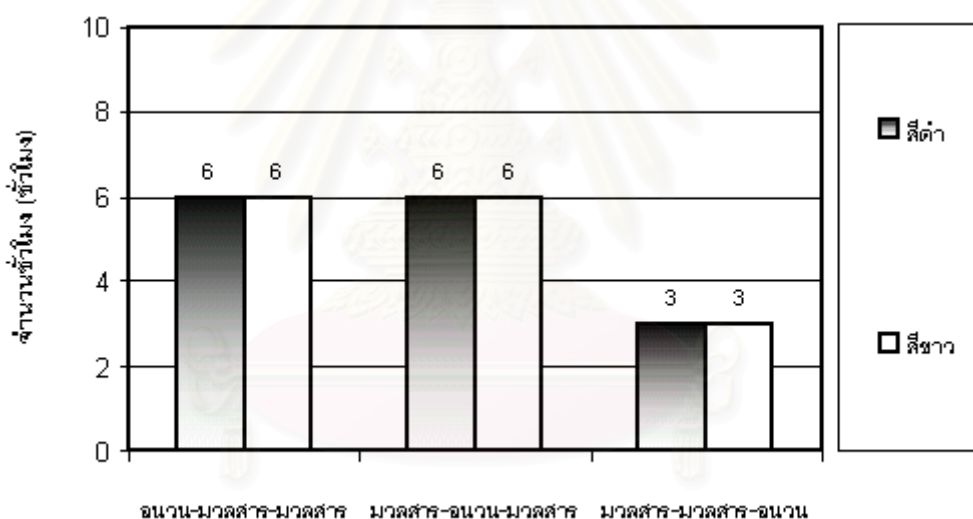
เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวโฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะใกล้เคียงชั้นก่อนหน้าเป็นรูปแบบการทดลองเดียวที่คาดว่าจะได้อุณหภูมิผิวที่ถูกต้องเนื่องจากปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาจากจนวนมีอิทธิพลต่ออากาศภายในกล่องทดสอบมากกว่าปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาทางผนังกล่องทดสอบ อุณหภูมิในชั้นนี้จึงใกล้เคียงกับชั้นก่อนหน้ามีการสูงขึ้นและ swing โดยมีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ 35.58 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. และสูงกว่าในช่วง 21.00 น. ถึง 9.00 น. อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในระดับสูงโดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 7.92 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์ผลตัวแปรค่าการดูดซับความร้อนจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ของวัสดุทดสอบ
การพิจารณาเพื่อหาข้อสรุปของรูปแบบที่ดีที่สุดในการเคลือบผิววัสดุด้วยวัสดุเคลือบผิวที่มีค่าการดูดซับรังสีตรงจาดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน สามารถพิจารณาตามปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก
- ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายใน
- จำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

ค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

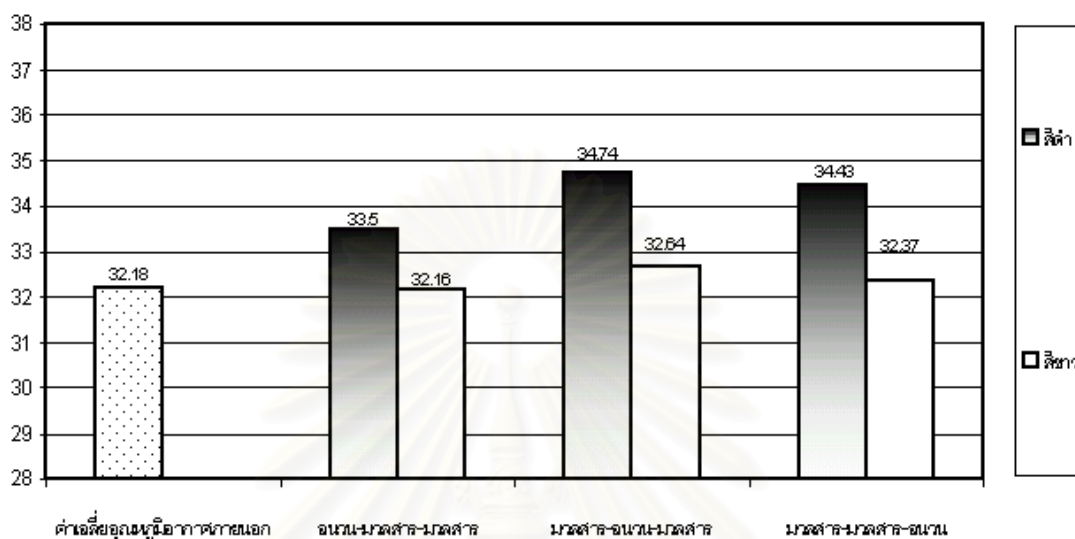


แผนภูมิที่ 4.14 แสดงค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ

ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนระหว่างชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีดำและวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีขาวที่มีรูปแบบการผสมผสานมวลสารในรูปแบบเดียวกันมีค่าที่เท่ากัน เนื่องจากปริมาณมวลสารรวมเท่าเทียมกันและฉนวนซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนช่วยลดปริมาณพลังงานจากภายนอกได้ถึงระดับหนึ่งที่ทำให้ความแตกต่างทางด้านเวลามีค่าน้อยลง ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจะแตกต่างกันในระหว่างชุดวัสดุที่มีการผสมผสานต่างรูปแบบกันโดยวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร และวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารมีช่วงระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเท่ากันคือ 6 ชั่วโมง เนื่องจากประสิทธิภาพของวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอก และระหว่างกลางวัสดุทดสอบในวัสดุทดสอบทั้ง 2 รูปแบบ ส่วนมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เป็นรูปแบบที่มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อน

ต่ำที่สุด ผลทดสอบที่ได้ในเรื่องระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนระหว่างประเภทของวัสดุทดสอบ เหมือนกับผลที่ได้จากการทดสอบที่ 1

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก

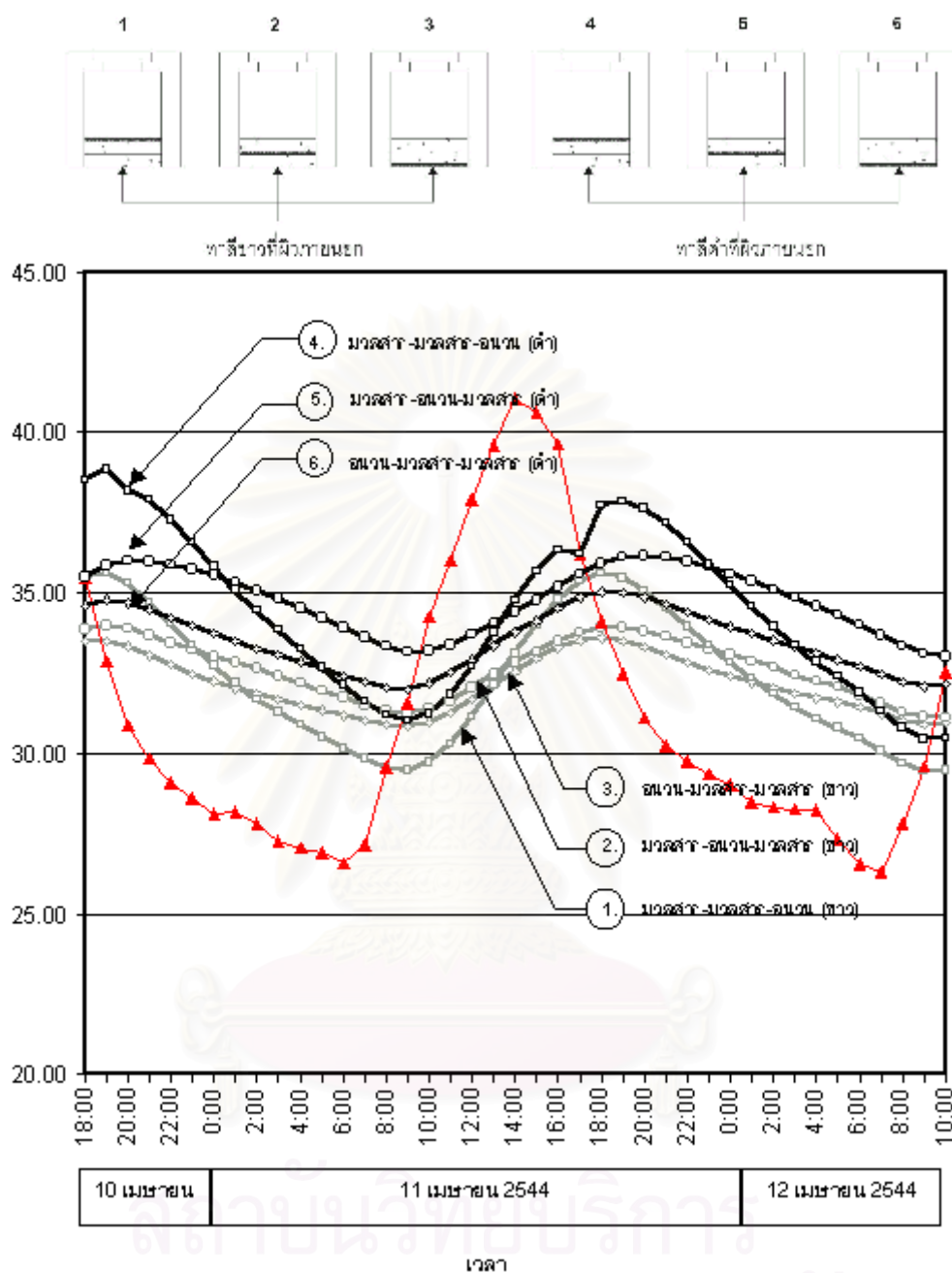


แผนภูมิที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในในกล่องทดสอบระหว่างวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่เคลือบผิวด้วยสีขาวและสีดำ

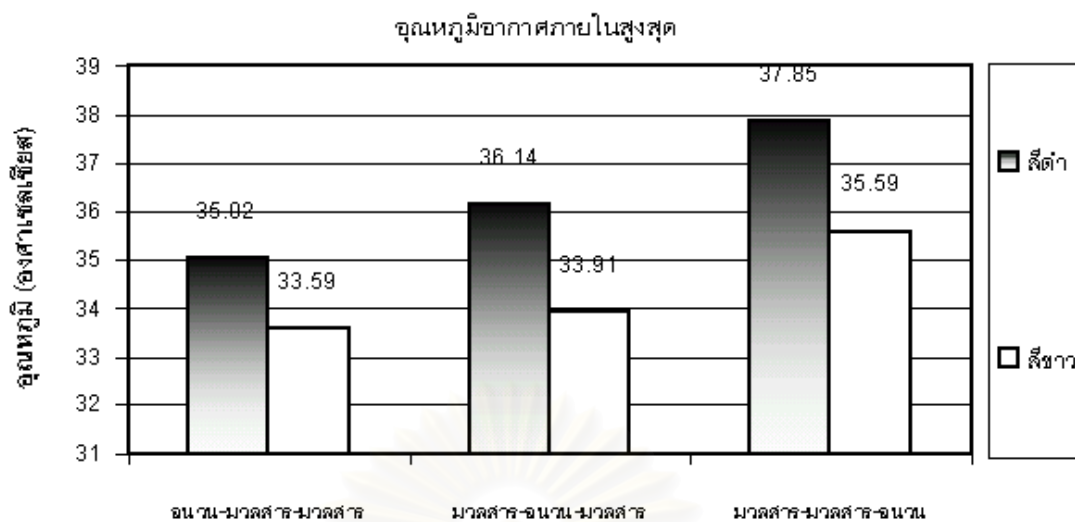
ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในวัสดุแต่ละประเภทชุดวัสดุทดสอบที่เคลือบผิวด้วย สีขาว จะมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในกล่องตลอดวันใกล้เคียงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกและต่ำกว่าชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีดำ ชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีดำจะมีผลกระทบจากปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็วจากคุณสมบัติการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุเคลือบผิวส่งผลให้ค่า Δt ระหว่างภายนอกและภายในวัสดุทดสอบมีค่าสูงกว่าชุดวัสดุทดสอบที่เคลือบผิวด้วยสีขาว ชุดวัสดุสีดำจึงมีพลังงานที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในกล่องทดสอบด้วยอัตราที่สูงกว่าเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศตลอดวันของชุดวัสดุทดสอบที่เคลือบผิวด้วยสีดำมีค่าสูงกว่าชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีขาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายใน

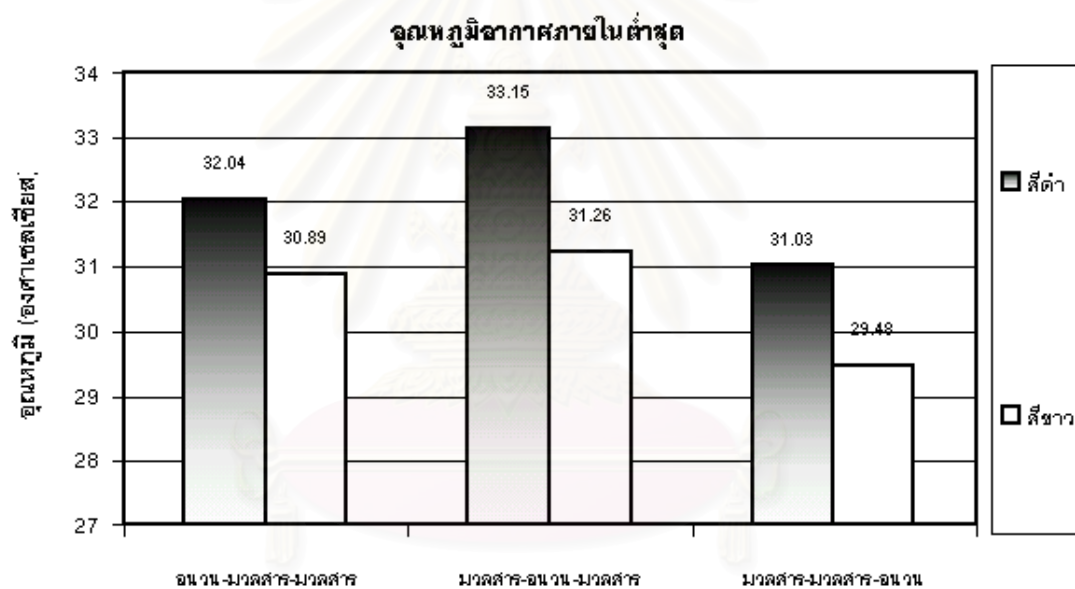


แผนภูมิที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบระหว่างชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีขาวและชุดวัสดุที่เคลือบผิวด้วยสีดำ



แผนภูมิที่ 4.17 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่เคลือบสีดำและสี

ขาว



แผนภูมิที่ 4.18 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่เคลือบสีดำและสี

ขาว

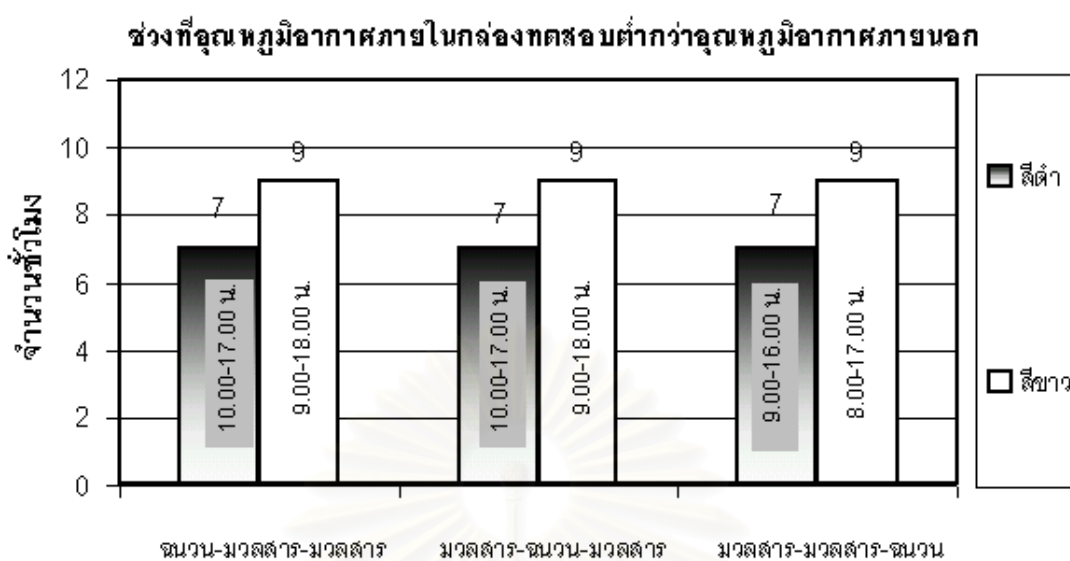
สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลอุณหภูมิอากาศของวัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยสีขาว มีความแตกต่างกันกับข้อมูลของชุดวัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยสีดำ วัสดุทั้งหมดที่มีการเคลือบผิวด้วยสีขาวจะมีระดับอุณหภูมิอากาศภายในที่ต่ำกว่าวัสดุที่มีการผสมผสานมวลสารในรูปแบบเดียวกันที่มีการเคลือบผิวด้วยสีดำ โดยวัสดุที่มีระดับของอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุดคือวัสดุทดสอบในรูปแบบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เนื่องจากวัสดุฉนวนภายนอกที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงสามารถช่วยลดอิทธิพลจากภายนอกได้เป็นอย่างดี

ในส่วนของ การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดตลอดวันพบว่าวัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสารเป็นวัสดุที่มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุดเมื่อมีการเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิสูงสุด และมีค่าอุณหภูมิอยู่ในระดับกลางเมื่อมีการเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิกอากาศต่ำสุด ผลการทดสอบดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากการที่วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสารมีมวลสารภายในในปริมาณที่สูงมากกว่าการผสมผสานวัสดุในรูปแบบอื่นๆ เมื่ออุณหภูมิภายนอกอยู่ในระดับสูงมวลสารภายในสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ภายในมวลสารช่วยให้ระดับอุณหภูมิภายในไม่ขึ้นสูงมากนัก ส่วนในเวลา que อุณหภูมิภายนอกต่ำลงมวลสารภายในยังคงคายความร้อนสู่ภายในกล่องทดสอบเป็นผลให้อุณหภูมิอากาศภายในยังคงสูงอยู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ



แผนภูมิที่ 4.19 แสดงช่วงเวลา que อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

จากการทดสอบพบว่าชุดวัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยสีดำและสีขาวมีความแตกต่างทางด้านช่วงเวลา que อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก วัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยสีขาวจะมีช่วงเวลา que อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากกว่าชุดวัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยสีดำ การที่เกิดความแตกต่างทางด้านเวลาระหว่างชุดวัสดุทั้ง 2 เนื่องจากความแตกต่างทางปริมาณพลังงานที่ได้รับ ชุดวัสดุสีดำมีปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทสู่ภายในด้วยอัตราที่สูงกว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากค่าอัตราการดูดซับปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันของวัสดุทั้งสองชุด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีค่าอัตราการดูดซับแสงอาทิตย์ต่ำจะช่วงให้ระยะเวลา que อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะน่าสบายมีค่ามากกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดสอบตัวแปรค่าการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

1. การเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันส่งผลต่ออัตราในการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายนอกสู่ภายในโดยตรง วัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์สูงจะมีระดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในตลอดวันอยู่ในระดับที่สูงกว่าวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ต่ำ

2. ผลจากการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์สูงทำให้การถ่ายเทความร้อนมีอัตราที่สูงขึ้นเป็นผลให้ค่าความจุความร้อนของวัสดุเต็มอย่างรวดเร็วอุณหภูมิของเนื้อวัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์สูงจึงมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่รวดเร็วกว่า เนื่องจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุมีประสิทธิภาพที่ต่ำลงจากปริมาณความร้อนภายนอกที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในด้วยอัตราที่สูงกว่า

3. วัสดุทดสอบในรูปแบบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่เคลือบผิวด้วยสีขาวเป็นวัสดุที่มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันต่ำสุดและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดโดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับอุณหภูมิ 33.59 – 30.29 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีช่วงระยะเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากกว่าวัสดุทดสอบรูปแบบเดียวกันที่เคลือบผิวด้วยสีดำ การที่วัสดุชนิดนี้เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนและสามารถช่วยรักษาระดับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในได้ดีกว่าวัสดุทดสอบอีก 5 รูปแบบเนื่องมาจากลำดับในการจัดวัสดุและการใช้การเคลือบผิวที่เหมาะสม การจัดลำดับวัสดุโดยให้วัสดุฉนวนซึ่งมีค่าความเป็นฉนวนสูงอยู่ภายนอกช่วยให้อิทธิพลภายนอกที่รุนแรงลดระดับลงอย่างมากเมื่อถึงวัสดุชั้นใน มวลสารภายใน (คอนกรีตความหนา 8 นิ้ว) จึงสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากค่าความจุความร้อนของมวลสารภายในไม่ต้องรับปริมาณความร้อนที่มากนัก อุณหภูมิของเนื้อวัสดุจึงขึ้นสูงอย่างช้าๆ ในขณะที่วัสดุอีกสองรูปแบบคือวัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร และวัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน มวลสารภายนอกได้รับอิทธิพลความร้อนภายนอกที่รุนแรงกว่าโดยตรงมวลสารจึงไม่สามารถทำการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในปริมาณมหาศาลได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงและรวดเร็ว อุณหภูมิอากาศภายในจึงมีระดับค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ส่วนการเคลือบผิวด้วยสีขาวช่วยให้อัตราการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์น้อยลงอิทธิพลความร้อนจากภายนอกจึงเข้ามาสู่เนื้อวัสดุชั้นในในปริมาณที่ต่ำช่วยให้มวลสารภายในสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ดีกว่าวัสดุทดสอบอีก 5 รูปแบบที่ได้ทำการทดสอบ

4. การเลือกใช้วัสดุประเภทฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่เคลือบผิวด้วยสีขาวจะช่วยทำให้ อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยลงและมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิตลอดวันที่ต่ำกว่าวัสดุแบบอื่นๆ เนื่องจากมวลสารภายในสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวอุณหภูมิอากาศภายในไว้ได้จากการมีอุณหภูมิผิวที่ต่ำ ในอาคารที่มีการใช้วัสดุในรูปแบบนี้ในระบบไม่ปรับอากาศจะเกิดการปิดอาคารในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากอุณหภูมิภายในจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก แต่ควรมีการเพิ่มการไหลเวียนของอากาศในเวลากลางคืนเนื่องจากมวลสารภายในยังคงคายความร้อนจากตอนกลางวันอยู่ทำให้อุณหภูมิอากาศภายในในช่วงกลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 3

การทดสอบที่ 3 มีจุดมุ่งหมายในการทดสอบตัวแปร “พลังงานจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์” เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัสดุผนังซึ่งมีรูปแบบการผสมผสานมวลสารที่แตกต่างกันและมีการใช้งานในสภาพที่รับอิทธิพลจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน

รูปแบบการผสมผสานมวลสารเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้คอนกรีตความหนา 8 นิ้ว เป็นวัสดุตัวแทนของมวลสารเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารอยู่ในเกณฑ์ที่สูงและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ส่วนตัวแทนของวัสดุฉนวนได้แก่ โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่ามวลสารอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากและยังมีเทคนิคการก่อสร้างในปัจจุบันรองรับ

ในการทดสอบได้จัดเตรียมกล่องทดสอบจำนวน 6 กล่อง หันด้านทดสอบไปทางทิศตะวันตกเพื่อให้ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุดในช่วงวันเนื่องจากในขณะทำการทดลองอยู่ในช่วงวัน Equinox ในเดือนมีนาคมทำให้ทิศใต้ไม่ได้รับรังสีตรงเกือบตลอดวัน นอกจากนี้ยังได้กำหนดให้มีการทดสอบกล่องทั้ง 6 ในเวลาและสถานที่เดียวกันเพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรที่ไม่ได้ทำการทดสอบให้ส่งผลต่อวัสดุทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน

รายละเอียดของกล่องทดสอบทั้ง 3 กล่องมีดังนี้

กล่องที่ 1 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ติดตั้งหันวัสดุเข้าหาทิศตะวันตกรับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

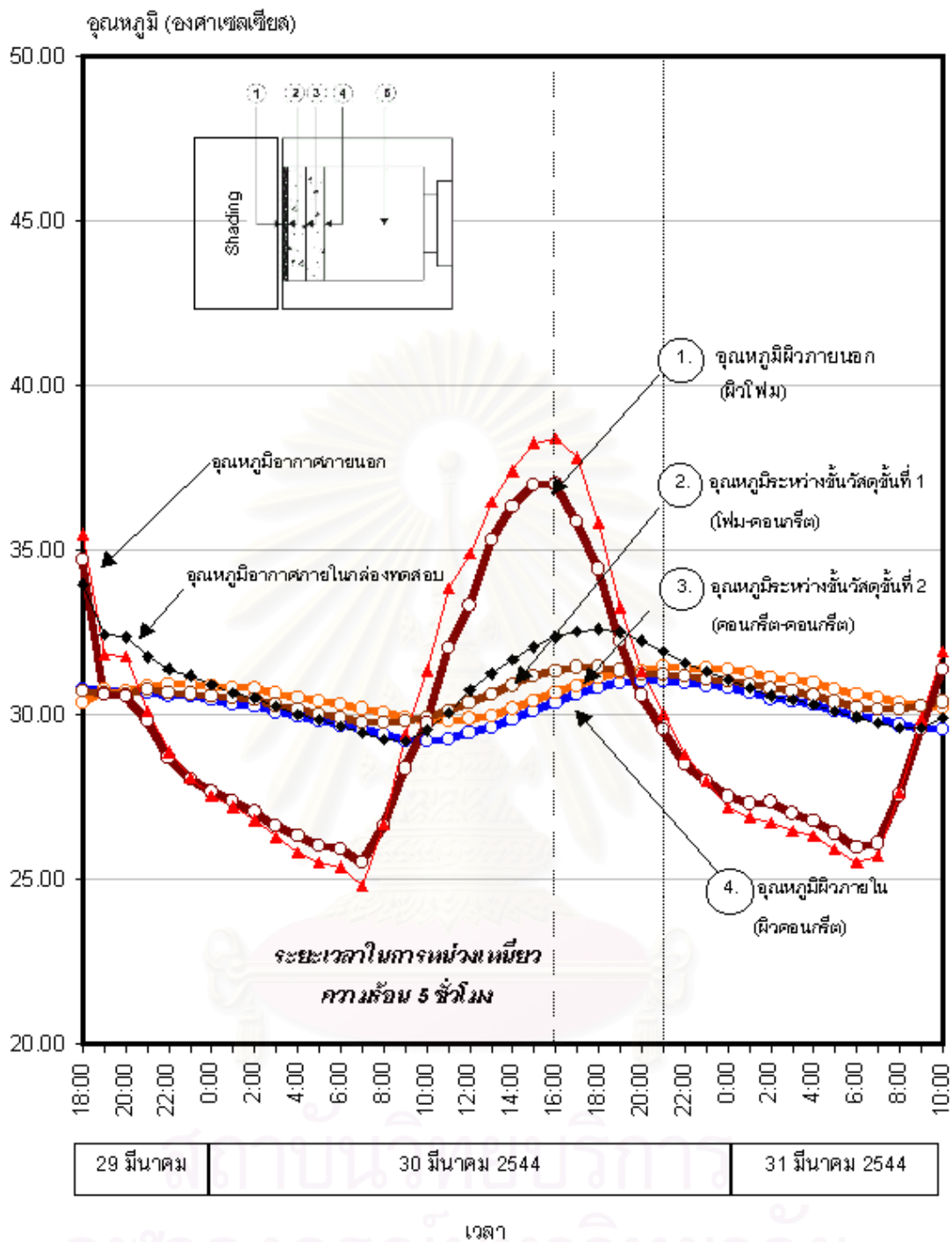
กล่องที่ 2 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ติดตั้งหันวัสดุเข้าหาทิศตะวันตกรับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

กล่องที่ 3 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ติดตั้งหันวัสดุเข้าหาทิศตะวันตกรับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

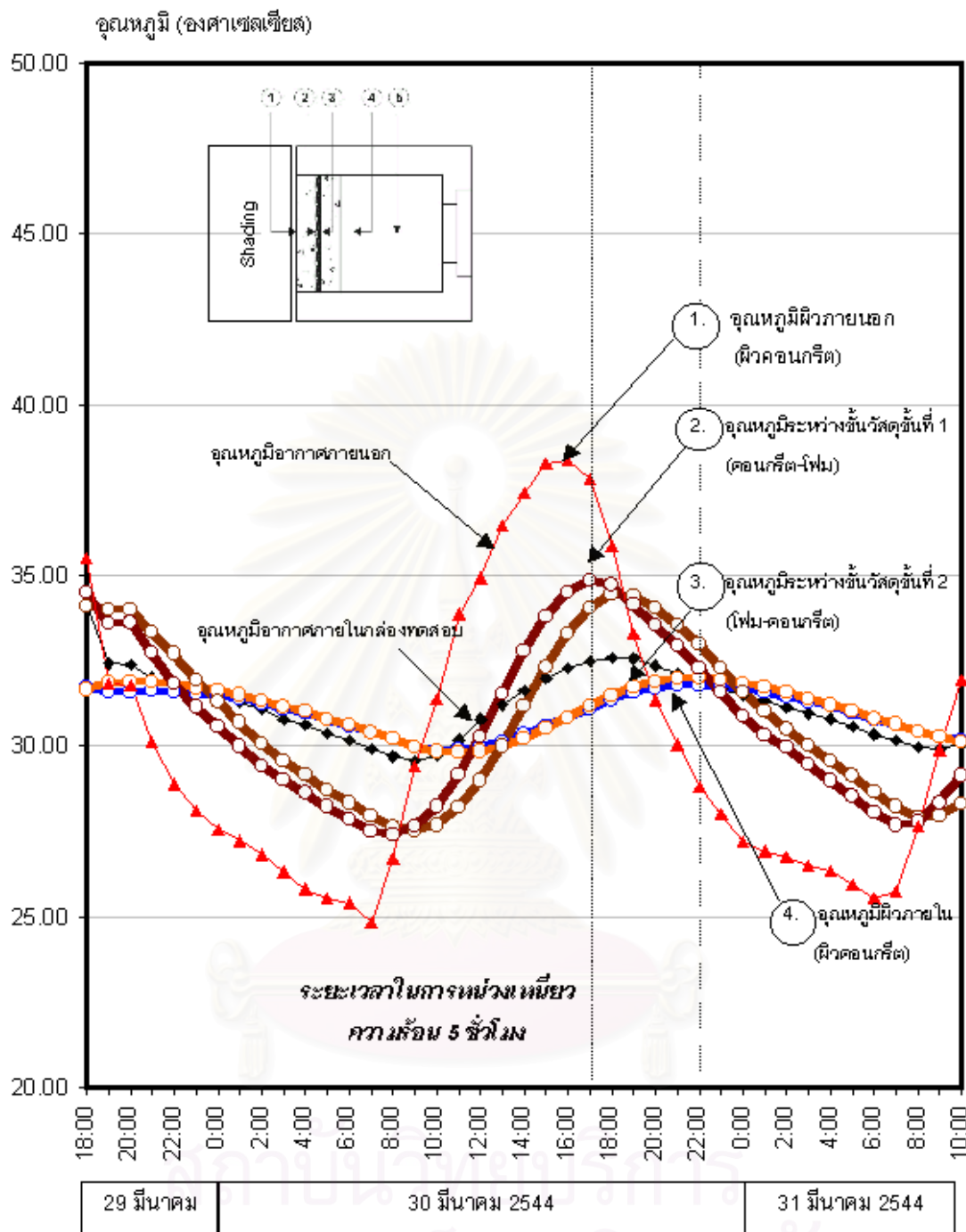
กล่องที่ 4 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ติดตั้งหันวัสดุเข้าหาทิศตะวันตกและเพิ่มเติมแผงกันแดดให้กับวัสดุ

กล่องที่ 5 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ติดตั้งหันวัสดุเข้าหาทิศตะวันตกและเพิ่มเติมแผงกันแดดให้กับวัสดุ

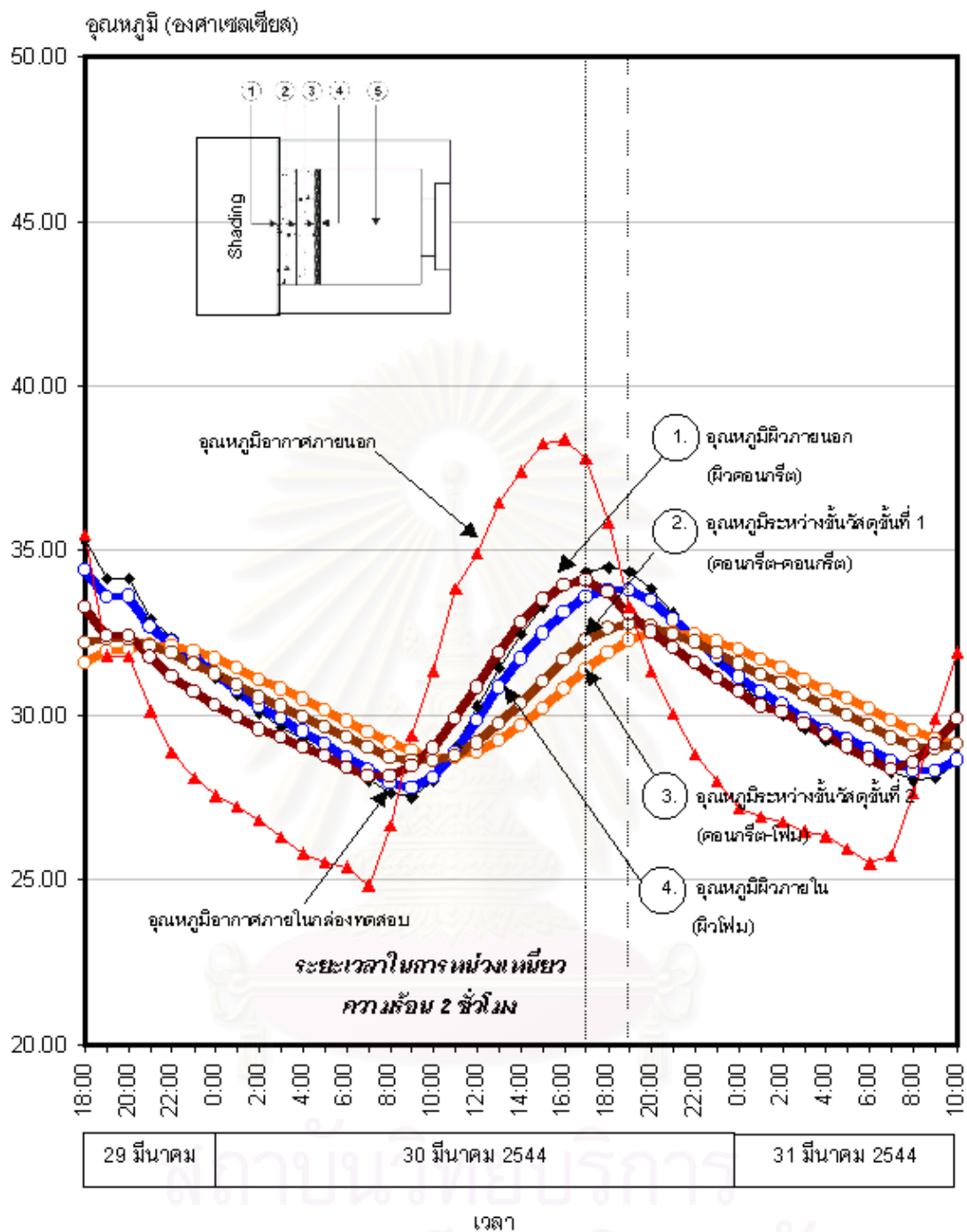
กล่องที่ 6 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ติดตั้งหันวัสดุเข้าหาทิศตะวันตกและเพิ่มเติมแผงกันแดดให้กับวัสดุ



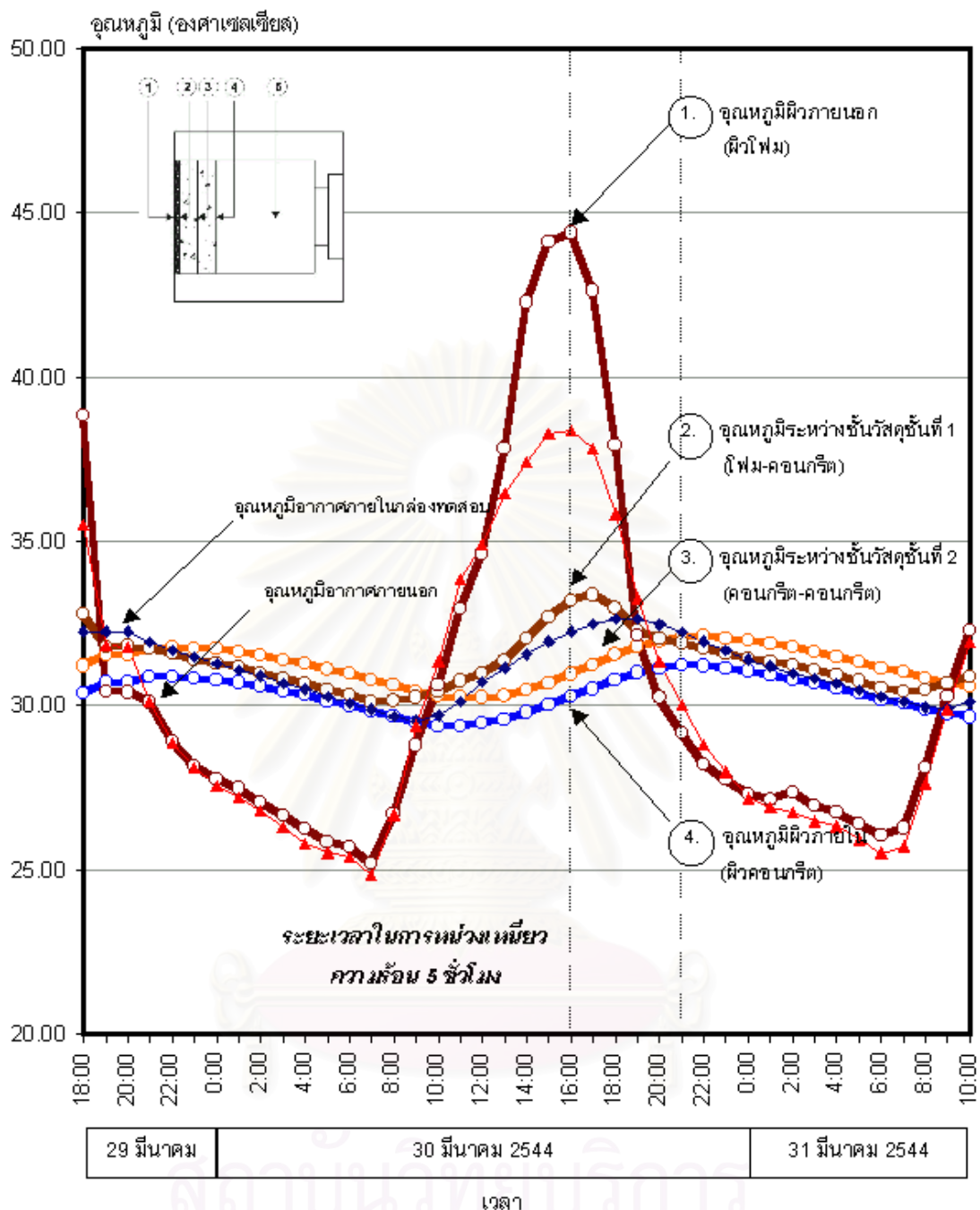
แผนภูมิที่ 4.20 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่เพิ่มเติมแผงกันแดดให้กับวัสดุ



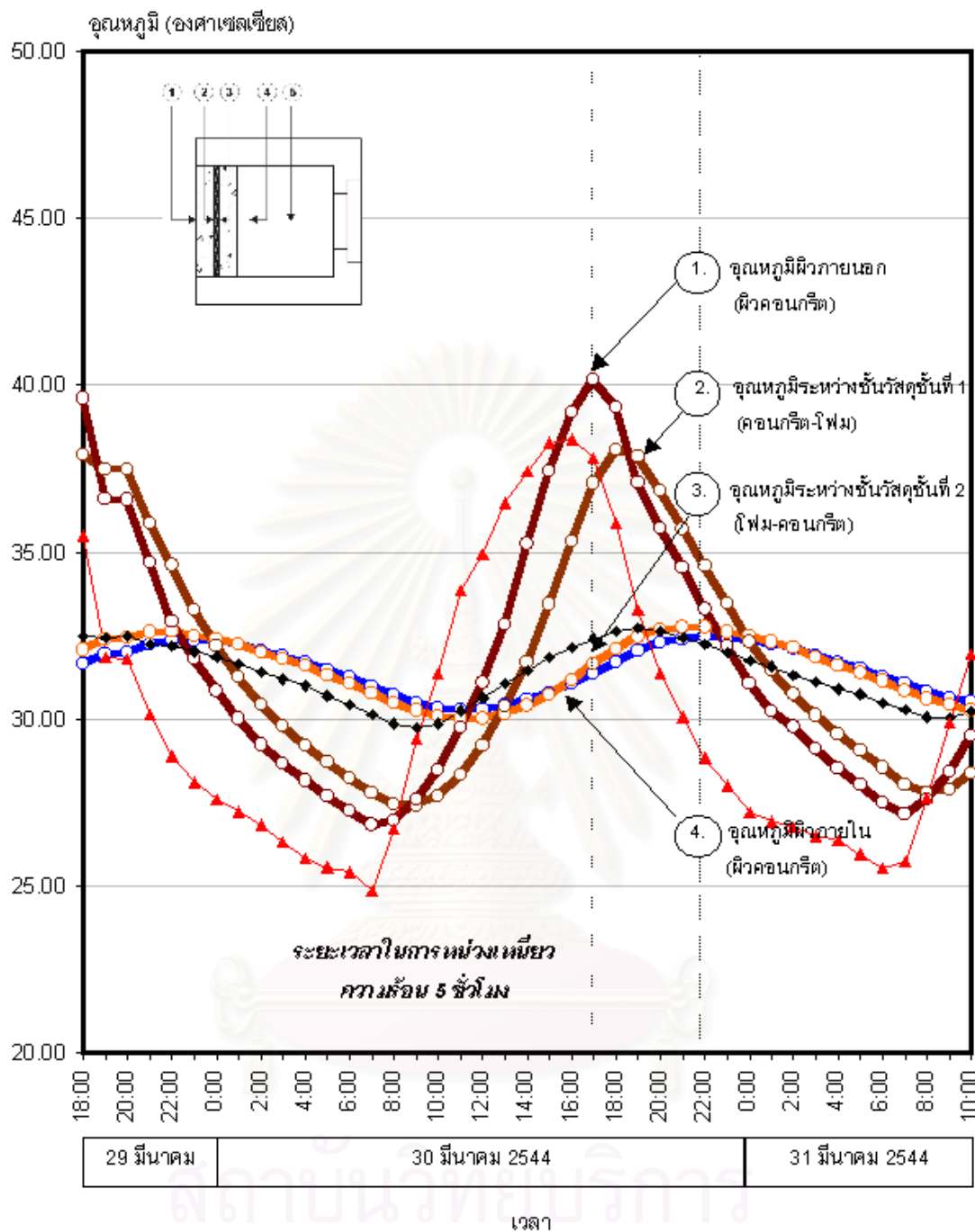
แผนภูมิที่ 4.21 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่เพิ่มเติมแ่งกันแดดให้กับวัสดุ



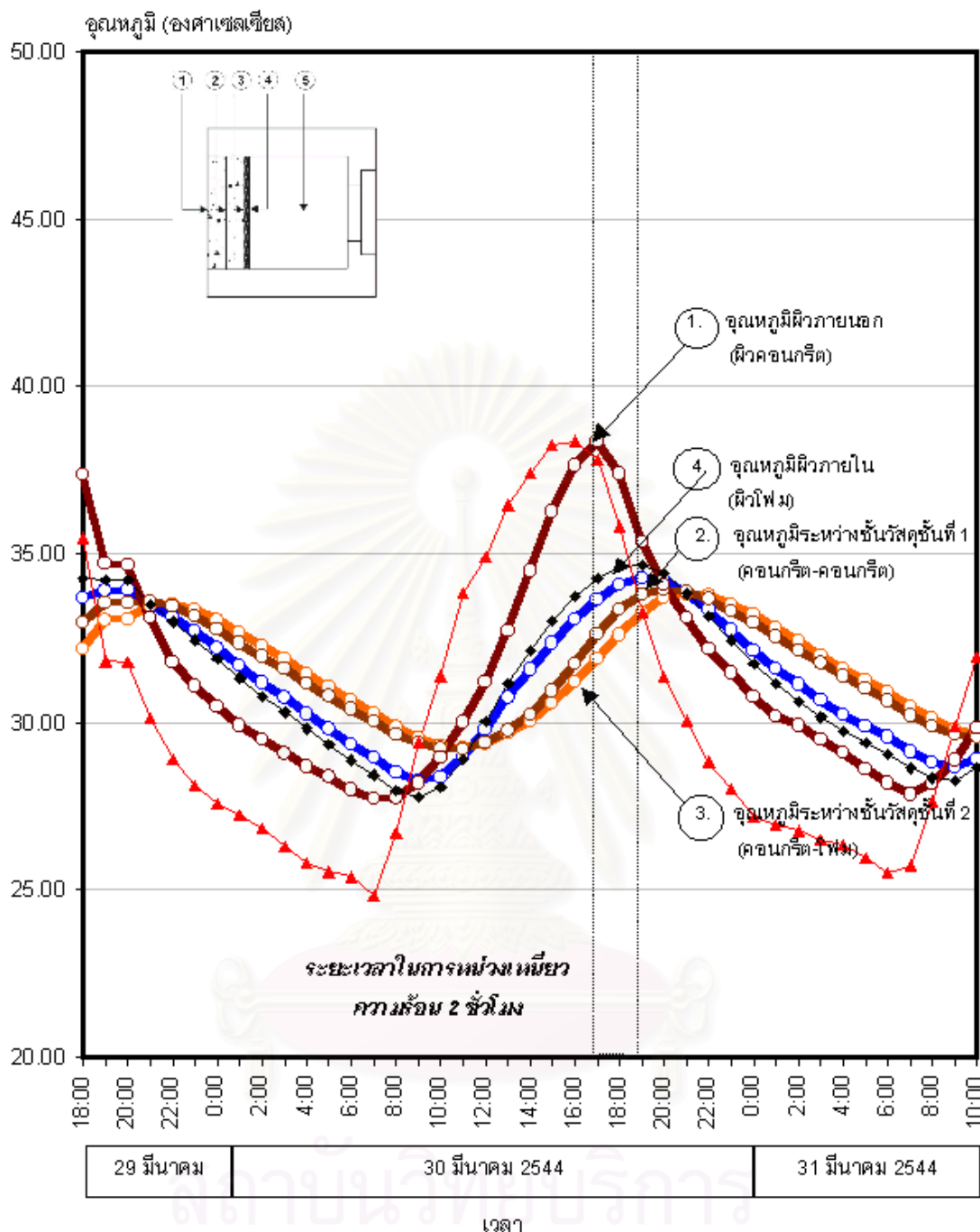
แผนภูมิที่ 4.22 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ที่เพิ่มเติมแฉกกันแดดให้กับวัสดุ



แผนภูมิที่ 4.23 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่ไม่มีแผงกันแดดให้กับวัสดุ



แผนภูมิที่ 4.24 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่ไม่มีแผงกันแดดให้กับวัสดุ



แผนภูมิที่ 4.25 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ที่ไม่มีแผงกันแดดให้กับวัสดุ

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับวัสดุทดสอบที่ไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ในการทดสอบที่ 3

ทดสอบเมื่อวันที่ 30 มีนาคม 2544 หนึ่งวัสดุทดสอบเข้าหาทิศตะวันตก และไม่ได้รับรังสีตรง จากดวงอาทิตย์ ในระหว่างการเก็บข้อมูลมีอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ย องศาเซลเซียส มีค่า อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด องศาเซลเซียส และมีค่าอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด องศา เซลเซียส

การคลาดเคลื่อนทางเวลา (Timelag)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	ประมาณ	5	ชั่วโมง
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	ประมาณ	5	ชั่วโมง
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	ประมาณ	2	ชั่วโมง

ค่า Decrement Factor

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน	ประมาณ	0.16
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร	ประมาณ	0.25
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร	ประมาณ	0.99

ค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดที่เกิดขึ้นภายในกล่องทดสอบ (Peak Temperature)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เท่ากับ	32.61	องศาเซลเซียส	ในเวลา 18.00 นาฬิกา
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เท่ากับ	32.57	องศาเซลเซียส	ในเวลา 18.00 นาฬิกา
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เท่ากับ	34.50	องศาเซลเซียส	ในเวลา 18.00 นาฬิกา

ค่าอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบเฉลี่ยตลอดวัน (Mean Temperature)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เท่ากับ	30.93	องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เท่ากับ	31.1	องศาเซลเซียส
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เท่ากับ	30.9	องศาเซลเซียส

ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดและอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุด

(Temperature Swing)

วัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เท่ากับ	1.4	องศาเซลเซียส
วัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร เท่ากับ	3.04	องศาเซลเซียส
วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เท่ากับ	6.98	องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 5 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด อัตรานี้เป็นอัตราเดียวกับวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันในกรณีที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอกสุดจนมีอัตราในการถ่ายเทพลังงานที่น้อยลงโดยจะสังเกตได้จากอุณหภูมิในชั้นที่ 2 (โฟม-คอนกรีต) จะพบว่า การเคลื่อนไหวของอุณหภูมิมียุทธศาสตร์ที่ใกล้เคียงกันมาก มวลสารภายในจึงสามารถดูดซับพลังงานในชั้นนี้ได้ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ค่าระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุรูปแบบนี้ในกรณีที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสารในกรณีที่ไม่ได้เป็นค่าที่ต่ำที่สุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุฉนวนที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรุนแรงตามสภาพอากาศภายนอก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าสูงในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าตัวหารเป็น Decrement factor มีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวโฟม) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่สูงที่สุดในกรณีไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์แต่ยังคงน้อยกว่าในกรณีที่วัสดุได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นโฟมโพลีสไตรีนที่มีค่าฉนวนจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกได้ง่าย ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 36.96 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิจาก Sol-air temperature อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.3 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดวัน ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศได้รับผลกระทบจาก Sol-air temperature อุณหภูมิผิวจะขึ้นสูงในทันทีแต่เนื่องจากวัสดุไม่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีโดยตรง แต่จะได้รับพลังงานจากการพาความร้อนจากอากาศจึงทำให้อุณหภูมิผิวขึ้นช้ากว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อย ในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 21.00 น. และ

ใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 21.00 น. ถึง 9.00 น. ที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air temperature แล้ว มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 11.44 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (โพน-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ถึง 5.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุฉนวน (โพนโพลีสไตรีน) ได้ช่วยลดอิทธิพลอุณหภูมิอากาศภายนอกลงอย่างมากเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุชั้นแรก ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ลดลงและค่อนข้างคงที่แต่ยังคงมีการ swing อยู่บ้างเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.6 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1.71 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 0.01 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.5 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1.67 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 30.5 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 30.1 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1.85 องศาเซลเซียส

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

การห้วงเหี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหี่ยวความร้อนประมาณ 5 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด อัตรานี้เป็นอัตราเดียวกับวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันในกรณีที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่กึ่งกลางวัสดุมวลสาร 2 ด้าน จนมีอัตราในการถ่ายเทพลังงานที่น้อยลงโดยจะสังเกตได้จากอุณหภูมิในชั้นที่ 3 (โฟม-คอนกรีต) จะพบว่า การเคลื่อนไหวของอุณหภูมิลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก มวลสารภายในจึงสามารถดูดซับพลังงานในชั้นนี้ได้ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ค่าระยะเวลาในการห้วงเหี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุรูปแบบนี้ในกรณีได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารในกรณีนี้เป็นค่ากลางในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกไม่รุนแรงนัก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าต่ำลงในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าตัวหารเป็น Decrement factor มีค่ากลางในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่น้อยลงเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้วภายนอก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสารในกรณีไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์แต่ยังคงน้อยกว่าวัสดุทดสอบรูปแบบเดียวกันในกรณีที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดแผ่นคอนกรีตที่มีค่ามวลสารจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกน้อยกว่าวัสดุในรูปแบบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 34.86 องศาเซลเซียส โดยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 4 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.89 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่คงที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศได้รับผลกระทบจาก Sol-air temperature อุณหภูมิผิวจะยังไม่ขึ้นสูงในทันทีเนื่องจากวัสดุไม่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีโดยตรง แต่จะได้รับพลังงานจากการพาความร้อนจากอากาศจึง

ทำให้อุณหภูมิผิวชั้นต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อยจากสภาพการแผ่กระจายความร้อน ในเนื้อวัสดุ อุณหภูมิผิวจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 8.00 น. และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 8.00 น. ถึง 18.00 น. ที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air temperature แล้ว มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด อยู่ที่ 7.48 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak เล็กน้อยประมาณ 0.43 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุมวลสาร(คอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว) ได้รับอิทธิพลอุณหภูมิอากาศภายนอกอย่างรุนแรงเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุนี้ต่ำกว่าวัสดุฉนวน ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิผิวมากนักและยังคงมีการ swing อยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.75 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 8.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 8.00 น. ถึง 18.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 6.78 องศาเซลเซียส และมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนยาวกว่าผิวภายนอก 1 ชั่วโมง

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (โฟม-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 เนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุฉนวน (โฟมโพลีสไตรีน) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 2.45 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากในชั้นนี้ทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.89 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 20.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.19 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 30.89 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 30.85 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 20.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1.9 องศาเซลเซียส



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 2 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราต่ำสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด อัตรานี้เป็นอัตราเดียวกับวัสดุทดสอบชนิดเดียวกันในกรณีที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนที่อยู่ด้านหลังวัสดุมวลสาร จนมีอัตราในการถ่ายเทพลังงานที่น้อยลงโดยจะสังเกตได้จากอุณหภูมิในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-โฟม) จะพบว่าการเคลื่อนไหวของอุณหภูมิลักษณะที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ในการพิจารณาค่าการห้วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุคอนกรีตจะทำได้ยากเนื่องจากวัสดุทดสอบมีผิวภายในเป็นวัสดุฉนวนและคุณภาพของวัสดุในการป้องกันความร้อนโดยรวมสูงมากทำให้อุณหภูมิผิวภายในได้รับผลกระทบจากความร้อนที่ได้ผ่านผนังกล่องทดสอบจนเกิดการ Peak ของอุณหภูมิอากาศและผิวภายในย้อนกลับมา ช่วงระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุจึงสั้นลงกว่าวัสดุทดสอบในอีก 2 รูปแบบ อุณหภูมิผิวภายในจึงสามารถดูดซับพลังงานในชั้นนี้ได้ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ค่าระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุรูปแบบนี้ในกรณีได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-มวลสาร-ฉนวนในกรณีนี้เป็นค่าสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกไม่รุนแรงนัก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าต่ำลงมากกว่าวัสดุทดสอบในรูปแบบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารมาก ในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด คอนกรีตสูง ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าสูงสุดในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่น้อยลงเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 8 นิ้วภายนอก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารในกรณีไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์แต่ยังคงน้อยกว่าวัสดุทดสอบรูปแบบเดียวกันในกรณีที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดแผ่นคอนกรีต 8 นิ้ว ที่มีค่ามวลสารขึ้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจาก

ภายนอกน้อยกว่าวัสดุในรูปแบบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 34.12 องศาเซลเซียส โดยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศประมาณ 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.84 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่คงที่ลงมากกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศได้รับผลกระทบจาก Sol-air temperature อุณหภูมิผิวจะยังไม่ขึ้นสูงในทันที เนื่องจากวัสดุไม่ได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีโดยตรง แต่จะได้รับพลังงานจากการพาความร้อนจากอากาศจึงทำให้อุณหภูมิผิวขึ้นช้ากว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกเล็กน้อยจากสภาพการแพร่กระจายความร้อนในเนื้อวัสดุ อุณหภูมิผิวจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 8.00 น. และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 8.00 น. ถึง 19.00 น. ที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air temperature แล้ว มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 5.96 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีความแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak เล็กน้อยประมาณ 0.32 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุมวลสาร(คอนกรีต ความหนา 4 นิ้ว) ได้รับอิทธิพลอุณหภูมิอากาศภายนอกอย่างรุนแรงเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุนี้ต่ำกว่าวัสดุฉนวน ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ไม่แตกต่างจากอุณหภูมิผิวมากนักและยังคงมีการ swing อยู่ในระดับสูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.6 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. คอนกรีตจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 4.15 องศาเซลเซียส และมีการหน่วงเหนี่ยวความร้อนยาวกว่าผิวภายนอก 2 ชั่วโมง เนื่องจากปริมาณค่าความจุความร้อนของวัสดุมวลสาร (คอนกรีต 4 นิ้ว) ในชั้นต่อมา

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีค่าคงที่ใกล้เคียงอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 เนื่องจากค่าการนำความร้อนของวัสดุมวลสารทำให้อุณหภูมิในชั้นนี้ไม่แตกต่างจากชั้นก่อนหน้ามากนัก ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากในชั้นนี้ทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเล็กน้อย อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.6 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 9.00 น. และต่ำกว่าในช่วง 9.00 น. ถึง 19.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างมีการ swing โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 3.77 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวโคม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะแตกต่างจากชั้นก่อนหน้าอย่างรุนแรงเนื่องจากการที่ผิวโคมได้รับการพาความร้อนจากอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบที่สูงกว่าเนื่องจากคุณสมบัติในการกั้นความร้อนของวัสดุสูงกว่ากล่องทดสอบดังที่ได้มีการคำนวณเปรียบเทียบในสมมติฐานที่ 1 อุณหภูมิในชั้นนี้จึงมีการสูงขึ้นและ swing อย่างรุนแรงโดยมีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ 30.84 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 19.00 น. และสูงกว่าในช่วง 19.00 น. ถึง 9.00 น. อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงในระดับสูงโดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 6 องศาเซลเซียส



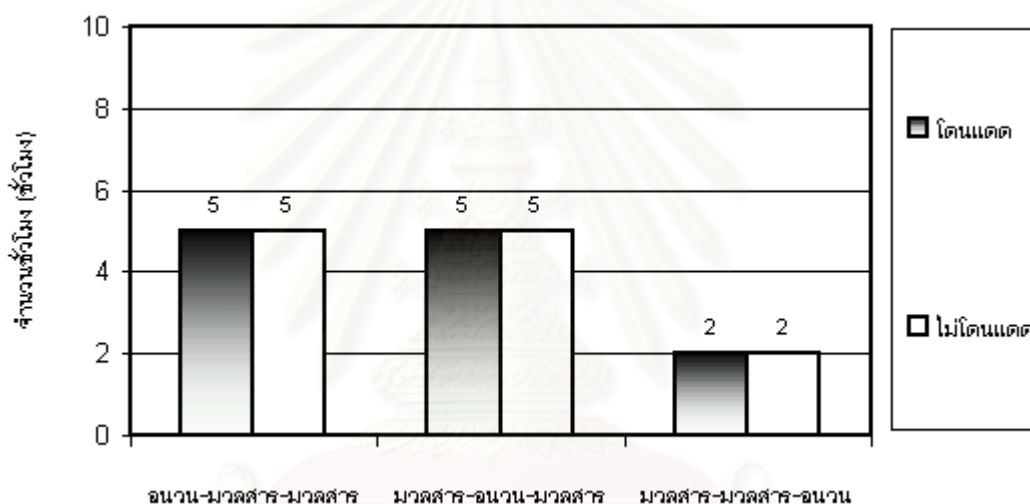
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ผลตัวแปรผลกระทบจากรังสีตรงของดวงอาทิตย์ต่อวัสดุทดสอบ

การพิจารณาเพื่อหาข้อสรุปของรูปแบบที่ดีที่สุด จากการเปรียบเทียบวัสดุที่ติดตั้งให้ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และวัสดุทดสอบที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ สามารถพิจารณาตามปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก
- ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายใน
- จำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิผิวภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

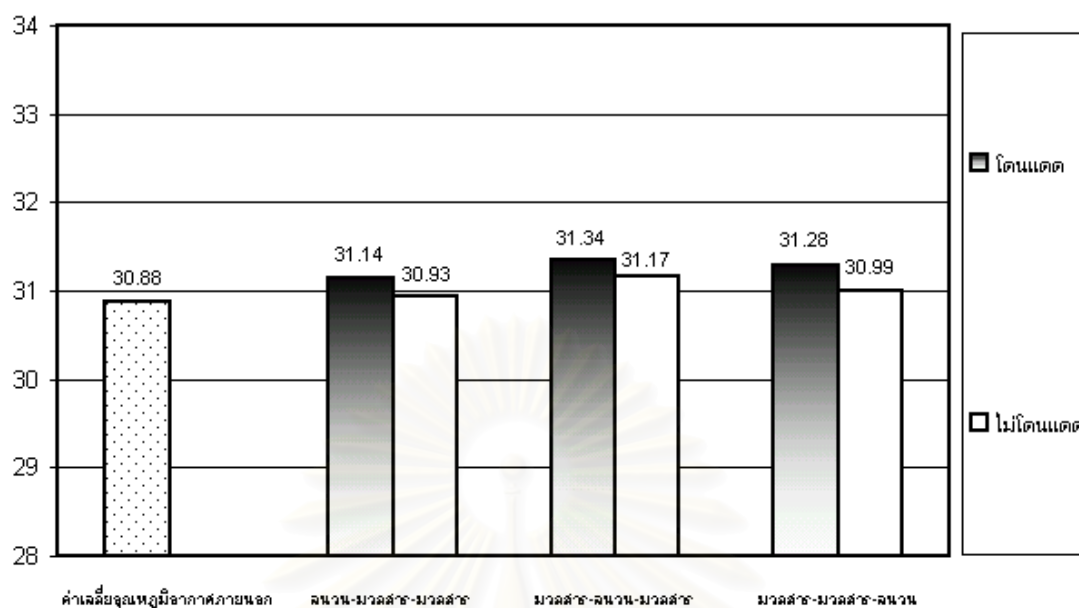
ค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อน



แผนภูมิที่ 4.26 แสดงค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบทั้ง 6 รูปแบบ

ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนระหว่างชุดวัสดุที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และวัสดุที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่มีรูปแบบการผสมผสานมวลสารในรูปแบบเดียวกันมีค่าที่เท่ากัน เนื่องจากปริมาณมวลสารรวมเท่าเทียมกันและและฉนวนซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนช่วยลดปริมาณพลังงานจากภายนอกได้ถึงระดับหนึ่งที่ทำให้ความแตกต่างทางด้านเวลามีค่าน้อยลง ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจะแตกต่างกันในระหว่างชุดวัสดุที่มีการผสมผสานต่างรูปแบบกันโดยวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร และวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารมีช่วงระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนเท่ากันคือ 5 ชั่วโมงเนื่องจากประสิทธิภาพของวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอก และระหว่างกลางวัสดุทดสอบในวัสดุทดสอบทั้ง 2 รูปแบบ ส่วนมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เป็นรูปแบบที่มีระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด ผลทดสอบที่ได้ในเรื่องระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนระหว่างประเภทของวัสดุทดสอบเหมือนกับผลที่ได้จากการทดสอบที่ 1

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอก

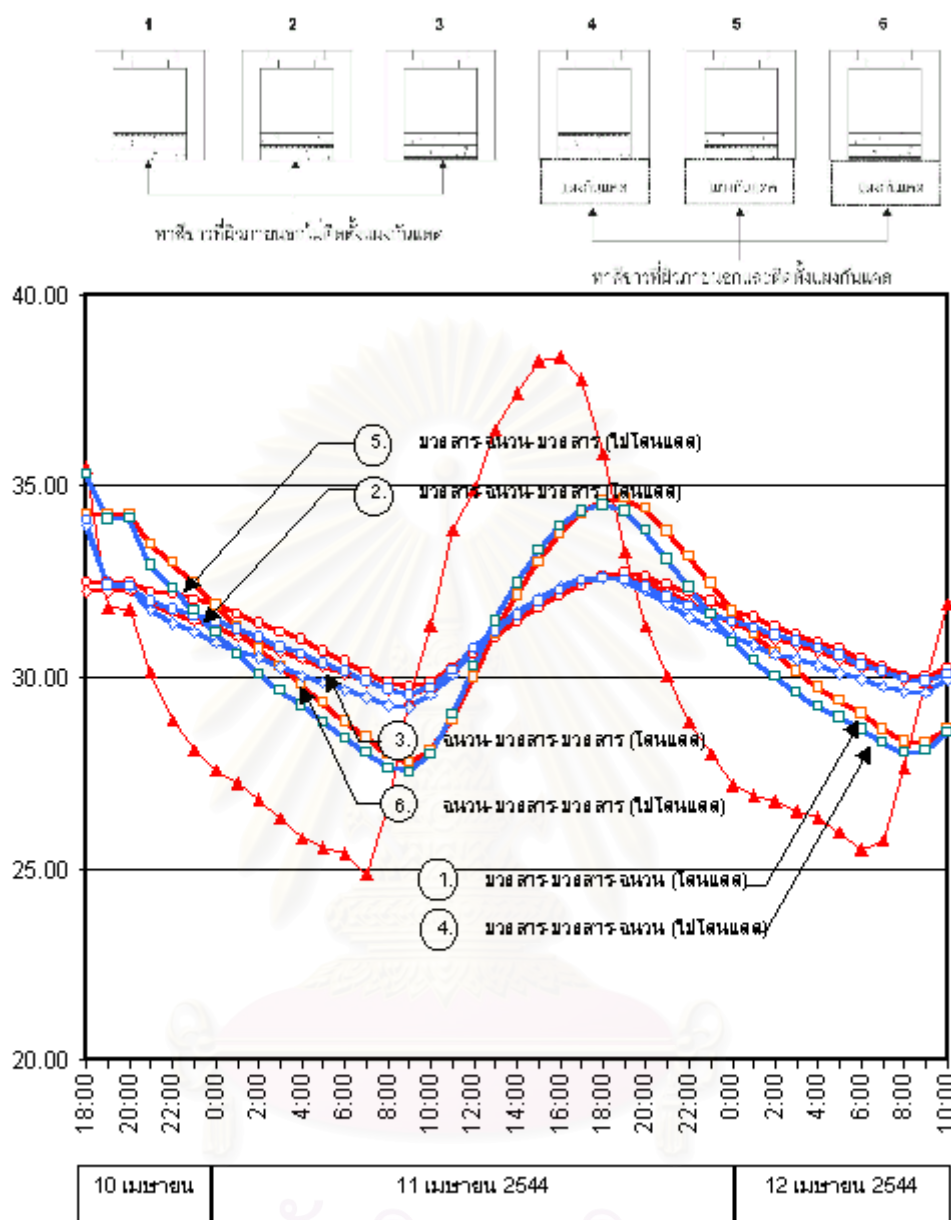


แผนภูมิที่ 4.27 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกและค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในในห้องทดสอบระหว่างวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

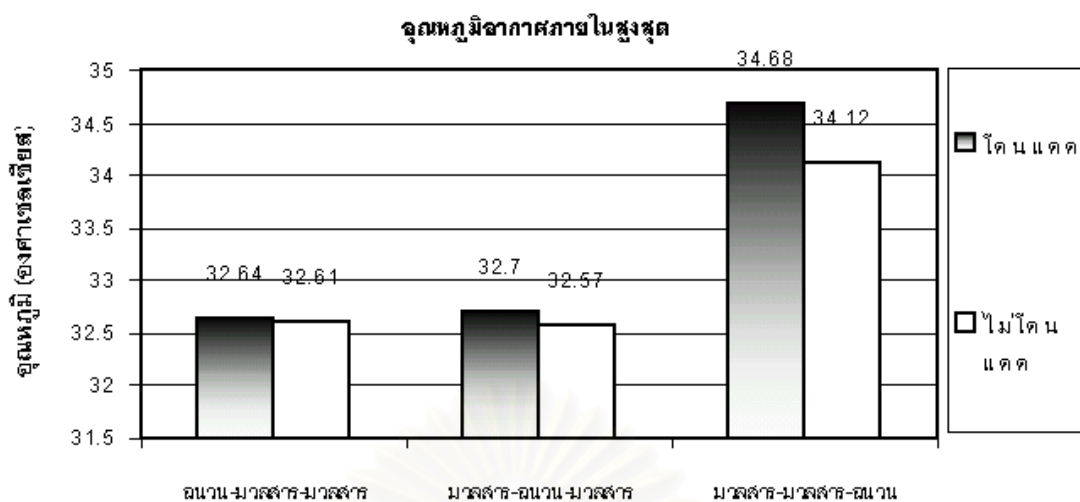
ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าในวัสดุแต่ละประเภทชุดวัสดุทดสอบที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดลองวันใกล้เคียงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายนอกและต่ำกว่าชุดวัสดุที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ชุดวัสดุที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จะมีผลกระทบจากปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็วจากคุณสมบัติการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ของวัสดุเคลือบผิวส่งผลให้ค่า Δt ระหว่างภายนอกและภายในวัสดุทดสอบมีค่าสูงกว่าชุดวัสดุทดสอบที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ชุดวัสดุที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์จึงมีพลังงานที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในห้องทดสอบด้วยอัตราที่สูงกว่าเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศทดลองวันของชุดวัสดุทดสอบดังกล่าวมีค่าสูงกว่าชุดวัสดุที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

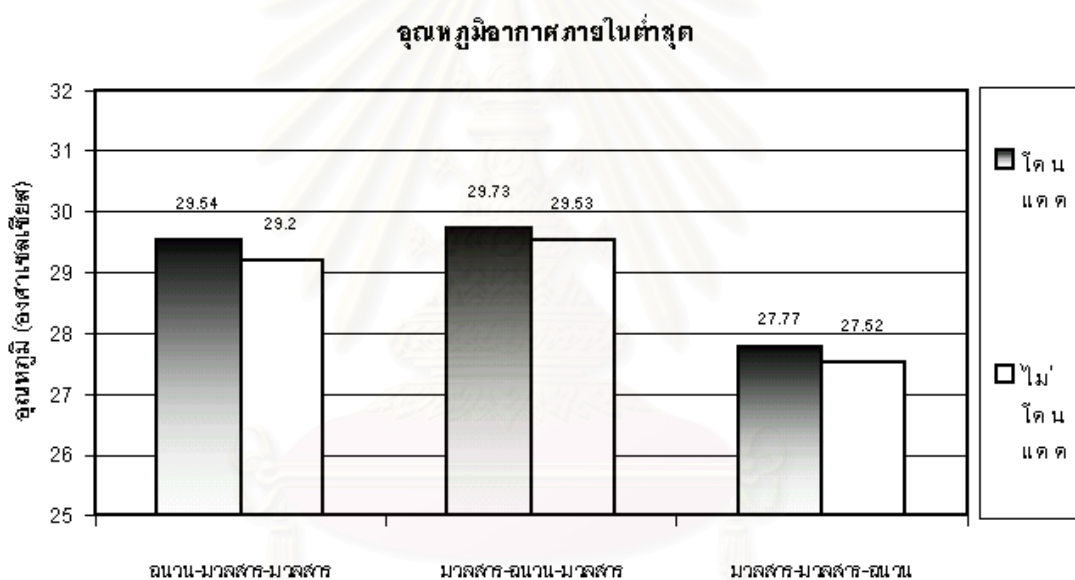
ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายใน



แผนภูมิที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบระหว่างชุดวัสดุที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์



แผนภูมิที่ 4.29 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในสูงสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์



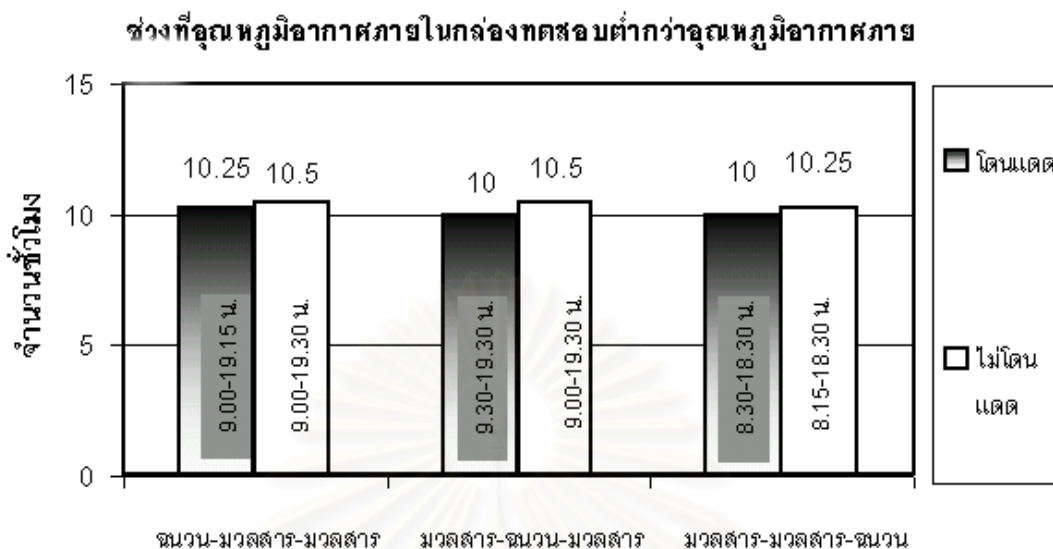
แผนภูมิที่ 4.30 แสดงอุณหภูมิอากาศภายในต่ำสุดของวัสดุทดสอบแต่ละประเภทที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลอุณหภูมิอากาศของวัสดุที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์มีความแตกต่างกันกับข้อมูลของชุดวัสดุที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ วัสดุทั้งหมดที่มีแผงกันแดดจะมีระดับอุณหภูมิอากาศภายในที่ต่ำกว่าวัสดุที่มีการผสมผสานมวลสารในรูปแบบเดียวกันที่ไม่มีแผงกันแดด โดยวัสดุที่มีระดับของอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุดคือวัสดุทดสอบในรูปแบบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เนื่องจากวัสดุฉนวนภายนอกที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงสามารถช่วยลดอิทธิพลจากภายนอกได้เป็นอย่างดี

ในส่วนของงานเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดตลอดวันพบว่าวัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสารเป็นวัสดุที่มีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำที่สุดเมื่อมีการเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิสูงสุด และมีค่าอุณหภูมิอยู่ในระดับกลางเมื่อมีการเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิกอากาศต่ำสุด ผลการทดสอบดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากการที่วัสดุฉนวน-มวลสาร-มวลสารมีมวลสารภายในในปริมาณที่สูงมากกว่าการผสมผสานวัสดุในรูปแบบอื่นๆ เมื่ออุณหภูมิภายนอกอยู่ในระดับสูงมวลสารภายในสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ภายในมวลสารช่วยให้ระดับอุณหภูมิภายในไม่ขึ้นสูงมากนัก ส่วนในเวลา que อุณหภูมิภายนอกต่ำลงมวลสารภายในยังคงคายความร้อนสู่ภายในกล่องทดสอบเป็นผลให้อุณหภูมิอากาศภายในยังคงสูงอยู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ



แผนภูมิที่ 4.31 แสดงช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

จากการทดสอบพบว่าชุดวัสดุที่ได้รับและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์มีความแตกต่างทางด้านช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก วัสดุที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์มีช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากกว่าชุดวัสดุที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ การที่เกิดความแตกต่างทางด้านเวลาระหว่างชุดวัสดุทั้ง 2 เนื่องจากความแตกต่างทางปริมาณพลังงานที่ได้รับ ชุดวัสดุที่ได้รับแสงอาทิตย์มีปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทสู่ภายในด้วยอัตราที่สูงกว่า ความแตกต่างที่เกิดขึ้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับมีความแตกต่างกันระหว่างวัสดุทั้งสองชุด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการป้องกันแสงอาทิตย์ให้กับผนังอาคารจะช่วยให้ระยะเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในเข้าใกล้สภาวะน่าสบายมีค่ามากกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปผลการทดสอบตัวแปรผลกระทบจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

1. วัสดุที่อยู่ในภาวะได้รับและไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ส่งผลต่ออัตราในการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากภายนอกสู่ภายในโดยตรง วัสดุที่มีการเคลือบผิวด้วยวัสดุที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์จะมีระดับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายในตลอดวันอยู่ในระดับที่สูงกว่าวัสดุที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

2. วัสดุที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ทำให้การถ่ายเทความร้อนมีอัตราที่สูงขึ้นเป็นผลให้ค่าความจุความร้อนของวัสดุเต็มอย่างรวดเร็วอุณหภูมิของเนื้อวัสดุที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงจึงมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่รวดเร็วกว่า เนื่องจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุมีประสิทธิภาพที่ต่ำลงจากปริมาณความร้อนภายนอกที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในด้วยอัตราที่สูงกว่า

3. วัสดุทดสอบในรูปแบบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ที่ไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นวัสดุที่มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันต่ำสุดและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดโดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับอุณหภูมิ 33.59 – 30.29 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีช่วงระยะเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกมากกว่าวัสดุทดสอบรูปแบบเดียวกันที่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ การที่วัสดุชนิดนี้เป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนและสามารถช่วยรักษาระดับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในได้ดีกว่าวัสดุทดสอบอีก 5 รูปแบบเนื่องมาจากลำดับในการจัดวัสดุและการใช้ป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม การจัดลำดับวัสดุโดยให้วัสดุฉนวนซึ่งมีค่าความเป็นฉนวนสูงอยู่ภายนอกช่วยให้อิทธิพลภายนอกที่รุนแรงลดระดับลงอย่างมากเมื่อถึงวัสดุชั้นใน มวลสารภายใน (คอนกรีตความหนา 8 นิ้ว) จึงสามารถช่วยหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากค่าความจุความร้อนของมวลสารภายในไม่ต้องรับปริมาณความร้อนที่มากนัก อุณหภูมิของเนื้อวัสดุจึงขึ้นสูงอย่างช้าๆ ในขณะที่วัสดุอีกสองรูปแบบคือวัสดุมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร และวัสดุมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน มวลสารภายนอกได้รับอิทธิพลความร้อนภายนอกที่รุนแรงกว่าโดยตรงมวลสารจึงไม่สามารถทำการหน่วงเหนี่ยวความร้อนในปริมาณมหาศาลได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นผลให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงและรวดเร็ว อุณหภูมิอากาศภายในจึงมีระดับค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ส่วนการกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ให้กับวัสดุช่วยให้อัตราการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์น้อยลงอิทธิพลความร้อนจากภายนอกจึงเข้ามาสู่เนื้อวัสดุชั้นในในปริมาณที่ต่ำช่วยให้มวลสารภายในสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ดีกว่าวัสดุทดสอบอีก 5 รูปแบบที่ได้ทำการทดสอบ

4. การเลือกให้วัสดุประเภทฉนวน-มวลสาร-มวลสารที่มีการป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ จะช่วยทำให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยลงและมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ

ตลอดวันที่ต่ำกว่าวัสดุแบบอื่นๆ เนื่องจากมวลสารภายในสามารถช่วยหนุนเหนี่ยวอุณหภูมิก๊าซภายในไว้ได้จากการมีอุณหภูมิผิวที่ต่ำ ในอาคารที่มีการใช้วัสดุในรูปแบบนี้ในระบบไม่ปรับอากาศควรจะมีการปิดอาคารในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากอุณหภูมิก๊าซภายในจะต่ำกว่าอุณหภูมิก๊าซภายนอก แต่ควรมีการเพิ่มการไหลเวียนของอากาศในเวลากลางคืนเนื่องจากมวลสารภายในยังคงคายความร้อนจากตอนกลางวันอยู่ทำให้อุณหภูมิก๊าซภายในในช่วงกลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิก๊าซภายนอก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 4

การทดสอบที่ 4 มีจุดมุ่งหมายในการทดสอบตัวแปร “รูปแบบในการผสมผสานฉนวนและมวลสารในสภาพการใช้งานในห้องปรับอากาศ” เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัสดุผนังซึ่งมีรูปแบบการผสมผสานมวลสารที่แตกต่างกันและมีการใช้งานในสภาพปรับอากาศ

รูปแบบการผสมผสานมวลสารเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้คอนกรีตความหนา 8 นิ้ว เป็นวัสดุตัวแทนของมวลสารเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีมวลสารอยู่ในเกณฑ์ที่สูงและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ส่วนตัวแทนของวัสดุฉนวนได้แก่ โฟมโพลีสไตรีน ความหนาแน่น 1 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีค่ามวลสารอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากและยังมีเทคนิคการก่อสร้างในปัจจุบันรองรับ

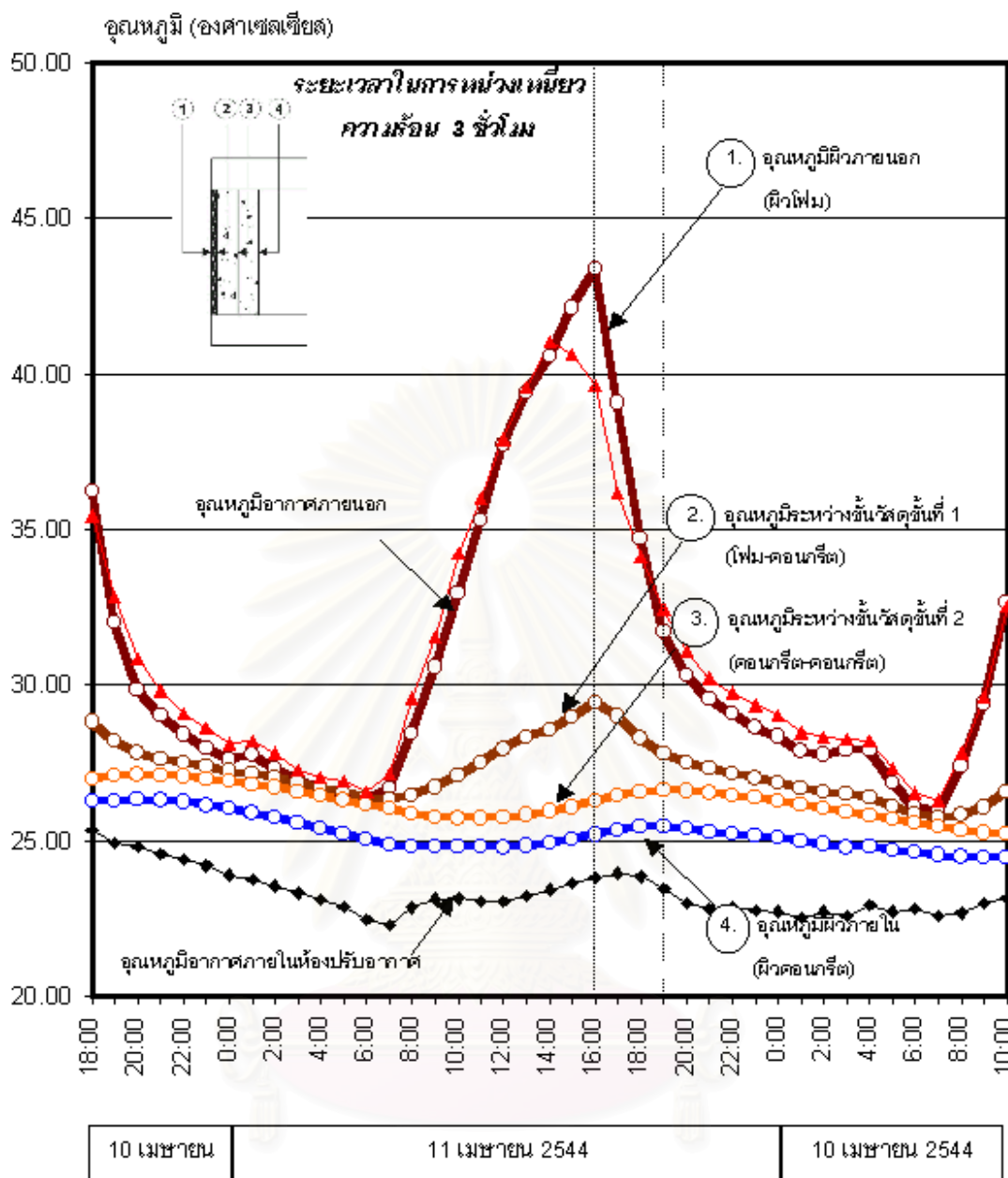
ในการทดสอบได้จัดเตรียมผนังทดสอบภายในห้องปรับอากาศที่ใช้ทำการวิจัยอีก 3 ตำแหน่ง หันด้านทดสอบไปทางทิศตะวันตกเพื่อให้ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุดในช่วงวันเนื่องจากในขณะทำการทดลองอยู่ในช่วงวัน Equinox ในเดือนมีนาคมทำให้ทิศใต้ไม่ได้รับรังสีตรงเกือบตลอดวัน นอกจากนี้ยังได้กำหนดให้มีการติดตั้งผนังทั้ง 3 ในเวลาและสถานที่เดียวกันเพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรที่ไม่ได้ทำการทดสอบให้ส่งผลต่อวัสดุทดสอบอย่างเท่าเทียมกัน

รายละเอียดของกล่องทดสอบทั้ง 3 กล่องมีดังนี้

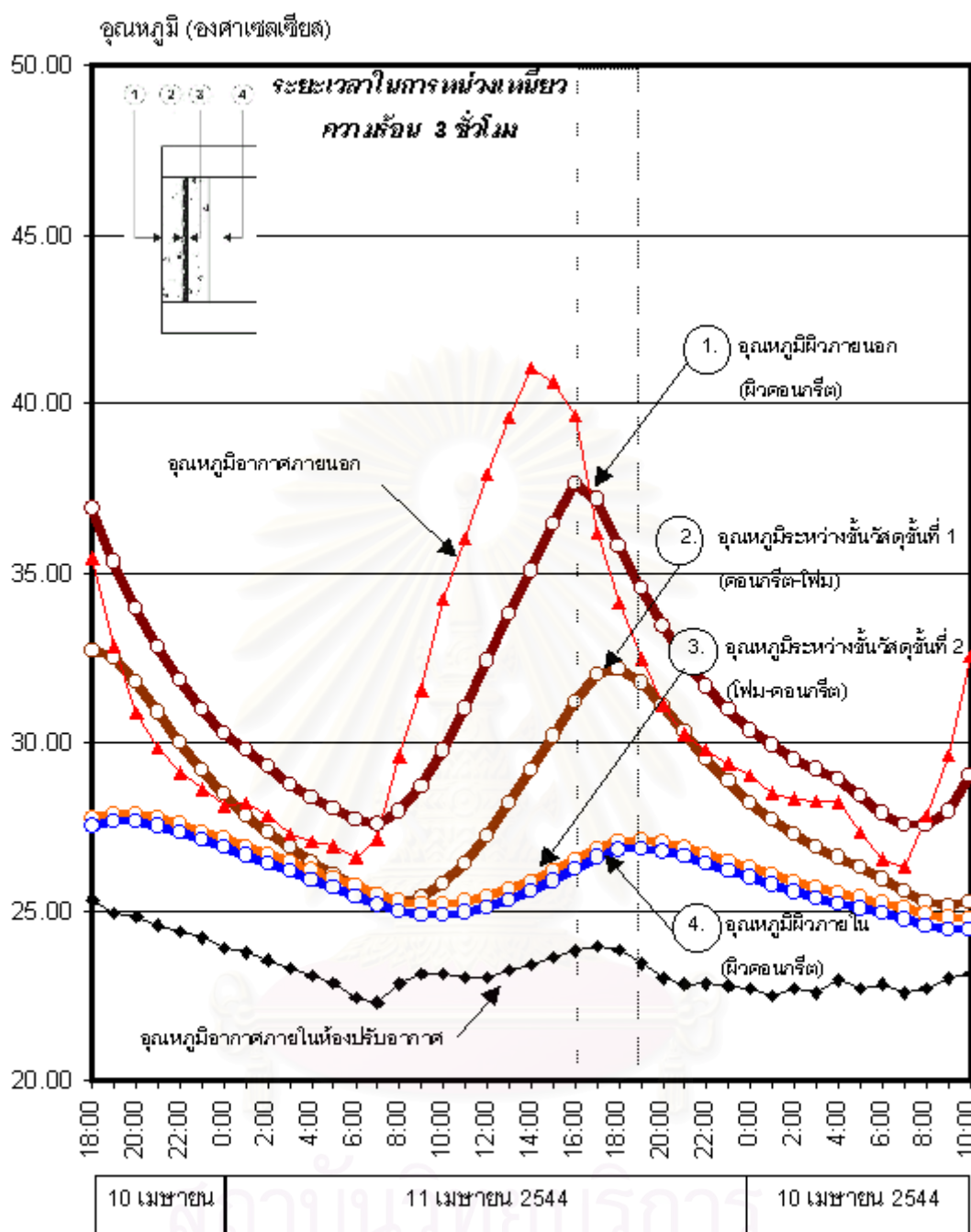
ผนังที่ 1 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวนในสภาพปรับอากาศ

ผนังที่ 2 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสารในสภาพปรับอากาศ

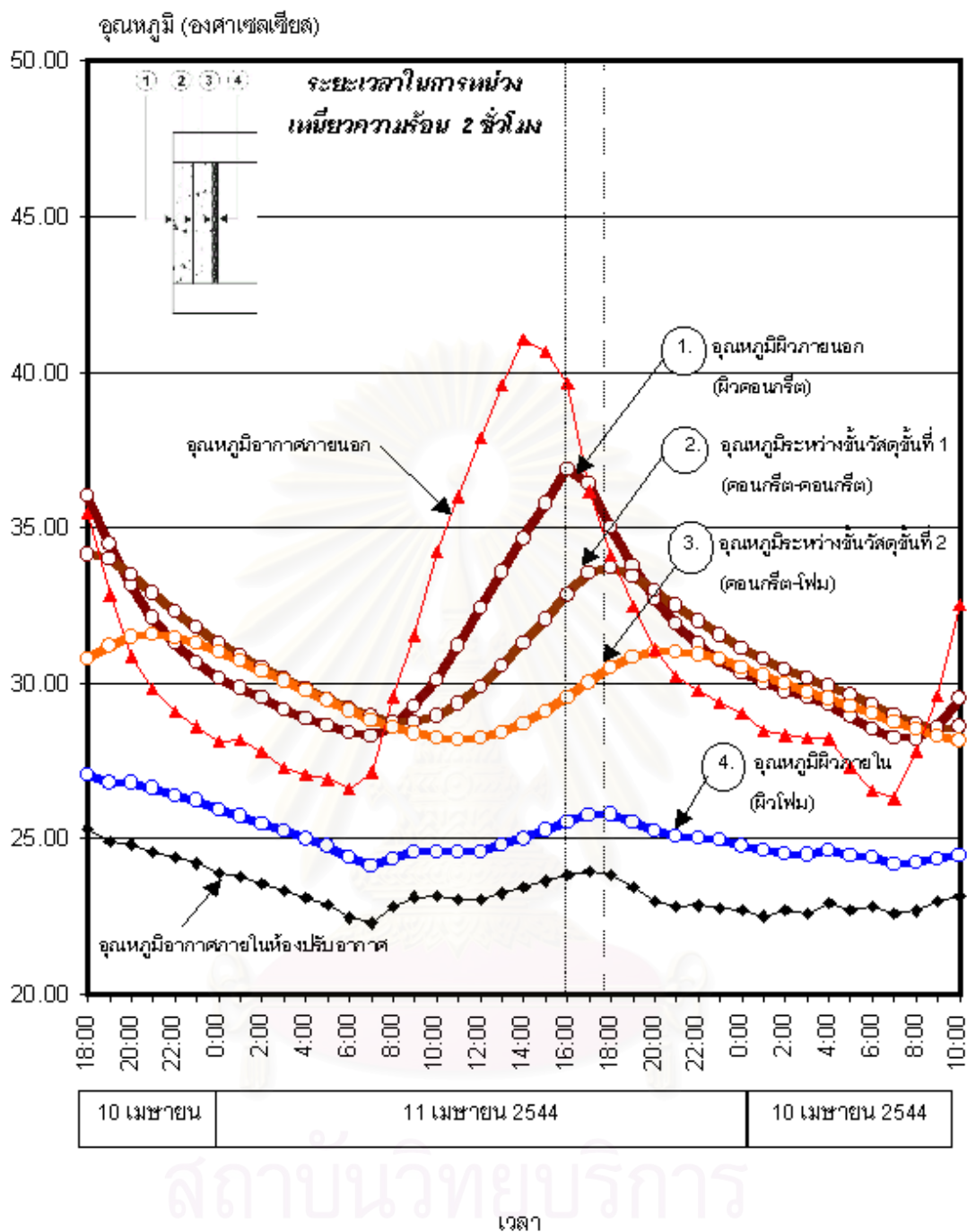
ผนังที่ 3 ทดสอบวัสดุซึ่งผสมผสานในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสารในสภาพปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 4.32 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ในสภาพปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 4.33 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-ฉนวน-มวลสาร ในสภาพปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 4.34 แสดงอุณหภูมิภายในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบสำหรับวัสดุทดสอบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน ในสภาพปรับอากาศ

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 3 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราสูงสุดในวัสดุทดสอบทั้งหมดที่อยู่ในสภาพปรับอากาศ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณพลังงานภายนอกจาก Sol-air temperature ถูกลดลงด้วยวัสดุฉนวนซึ่งอยู่ภายนอกสุด จากนั้นปริมาณพลังงานซึ่งถูกลดลงจึงค่อยผ่านมวลสารภายในซึ่งเป็นคอนกรีตความหนา 8 นิ้ว มวลสารในวัสดุทดสอบจึงสามารถช่วยห้วงเหนี่ยวปริมาณความร้อนดังกล่าวลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระยะเวลาการห้วงเหนี่ยวความร้อนยืดระยะเวลาออกไป

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าระยะเวลาการห้วงเหนี่ยวความร้อนในสภาพที่ไม่มีมีการปรับอากาศ พบว่ามีระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนที่สั้นลง 2 ชั่วโมง การที่ระยะเวลาในการห้วงเหนี่ยวความร้อนของสภาพปรับอากาศสั้นลงจากสภาพไม่ปรับอากาศเนื่องจากการที่พลังงานจากภายนอกมีอัตราในการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในเร็วมากขึ้นจากสภาพไม่ปรับอากาศ ตามสมการ $Q = UA (t_o - t_i)$ เมื่อค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกและภายในสูงขึ้นโดยที่ค่า UA คงที่ จะพบว่าปริมาณพลังงานที่ถ่ายเทเข้ามามีอัตราที่สูงขึ้นส่งผลให้ความจุความร้อนของวัสดุทดสอบเต็ม อุณหภูมิภายในจึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็วกว่าวัสดุทดสอบในสภาพไม่ปรับอากาศ

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสารเป็นค่าที่ต่ำที่สุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุฉนวนที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรุนแรงตามสภาพอากาศภายนอก ค่าตัวหาร θ_o ในสมการ $\lambda = \theta_i / \theta_o$ จึงมีค่าสูงในขณะที่ค่า θ_i เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าต่ำที่สุดในกลุ่มวัสดุทดสอบเช่นเดียวกับวัสดุในสภาพไม่ปรับอากาศ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวโพน) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่สูงมากเนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นโพนโพลีไสตริคที่มีค่าฉนวนจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกทันที ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 42.57 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิจาก Sol-air temperature อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 31.19 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 15.00 น. ถึง 18.00 น. เนื่องจากอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature และใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 18.00 น. ถึง 15.00 น. ในช่วงนี้ผิวโพนภายนอกได้มีการกระจายความร้อนสู่ห้องฟ้าในเวลากลางคืนในช่วงที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air temperature ประกอบกับความเย็นภายในห้องปรับอากาศได้ถูกนำผ่านคอนกรีตออกมาสู่ผิวโพนจึงทำให้ผิวมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศอยู่บ้าง อุณหภูมิในชั้นนี้มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 16.7 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (โพน-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีค่าแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ถึง 13.7 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุฉนวน (โพนโพลีสไตรีน) ได้ช่วยลดอิทธิพลจาก Sol-air temperature ลงอย่างมากเนื่องจากค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุชั้นแรกผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ลดลงและค่อนข้างคงที่แต่ยังคงมีการ swing อยู่บ้างเมื่อเทียบกับอุณหภูมิในชั้นต่อไป อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 26.67 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ตลอดทั้งวันเนื่องจากวัสดุสูญเสียความร้อนให้กับวัสดุในชั้นต่อไปจากความสามารถการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ อุณหภูมิในชั้นนี้ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่ผิวภายนอกได้รับ Sol-air temperature ในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 3.4 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 2.6 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 25.56 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดวัน อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 1.1 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 25.56 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 24.62 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดวัน เนื่องจากได้รับการควบคุมอุณหภูมิจากอากาศภายในห้องปรับอากาศอุณหภูมิตลอดวันจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศในห้องปรับอากาศเล็กน้อยโดยแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-จนวน-มวลสาร

การหน่วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการหน่วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 2 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตรากลางในวัสดุทดสอบทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการที่นำแผ่นคอนกรีตแบ่งออกเป็นความหนา 4 นิ้ว 2 แผ่น และนำไปไว้ที่บริเวณนอกสุด 1 แผ่น ทำให้ค่าความจุความร้อนของแผ่นคอนกรีตที่ช่วยรักษาอุณหภูมิภายในอาคารลดลง ประกอบกับการที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกมีค่าที่สูงกว่าสภาพไม่ปรับอากาศมากทำให้คอนกรีตความหนา 4 นิ้ว ซึ่งอยู่ภายนอกได้รับพลังงานในอัตราที่สูง จึงเปลี่ยนอุณหภูมิไปอย่างรวดเร็ว ปริมาณพลังงานจึงถูกถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีมวลสารภายในด้านหลังวัสดุจนวนไม่มากพอที่จะลดความรุนแรงของพลังงาน อัตราการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบชนิดนี้จึงมีค่าต่ำกว่าวัสดุทดสอบในรูปแบบจนวน-มวลสารมาก-มวลสาร

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-จนวน-มวลสารเป็นค่าที่สูงที่สุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกน้อยกว่าเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้วซึ่งอยู่ภายนอกแต่ยังมีการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าวัสดุมวลสาร-มวลสาร-จนวนที่มีคอนกรีต 8 นิ้วด้านนอก ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_t / \theta_0$ จึงมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ค่า θ_t เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าที่สูงสุดในกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่ต่ำกว่าวัสดุทดสอบจนวน-มวลสาร-มวลสาร เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นคอนกรีตความหนา 4 นิ้ว ที่มีค่ามวลสารจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกไม่รุนแรงมาก ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 36.41 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิจาก Sol-air temperature แต่ยังคงต่ำกว่าวัสดุทดสอบในสภาพไม่ปรับอากาศอยู่บ้างเนื่องจากได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ช้ากว่าเนื่องจากชายคาของห้องทดสอบ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.89 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 16.00 น. ถึง 6.00 น. เนื่องจากวัสดุได้คายความร้อนที่กักเก็บไว้ตอนกลางวันออกมา และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

ภายนอกในช่วง 6.00 น. ถึง 16.00 น. เนื่องจากวัสดุได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในเวลา 14.00 น. ค่าความจุความร้อนของวัสดุจึงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air temperature อุณหภูมิในชั้นนี้มีการ swing ของอุณหภูมิตั้งอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 9.72 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีค่าแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ประมาณ 4 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุมวลสาร (คอนกรีต 4 นิ้ว) มีค่าการนำความร้อนที่สูงจึงช่วยลดอิทธิพลจาก Sol-air temperature ลงได้น้อย ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงและยังคงมีการ swing ในระดับที่มากอยู่ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 28.96 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 1.00 น. เนื่องจากวัสดุคายความร้อนที่สะสมไว้ในตอนกลางวัน และต่ำกว่าในช่วง 1.00 น. ถึง 19.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิและมี timelag เลื่อนออกจากอุณหภูมิอากาศประมาณ 4 ชั่วโมง เนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้ว โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 6.8 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (โฟม-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 6.4 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 25.46 องศาเซลเซียส ใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดวัน อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.2 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับชั้นก่อนหน้าแต่ลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 25.46 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 25.2 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดวัน อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในชั้นนี้สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบเล็กน้อยเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้วภายในไม่เพียงพอที่จะซับปริมาณพลังงานจากอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าได้หมดอุณหภูมิ

จึงสูงขึ้นในช่วงที่วัสดุทดสอบได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และค่อยๆลดลงจนเข้าสู่อุณหภูมิอากาศ
ภายในห้องทดสอบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุทดสอบในรูปแบบ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน

การห้วงเหนี่ยวความร้อน

วัสดุทดสอบมีอัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง (ผิวภายนอก-ผิวภายใน) ซึ่งเป็นอัตราต่ำที่สุดในวัสดุทดสอบทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการที่นำแผ่นคอนกรีตความหนา 8 นิ้ว นำไปไว้ที่บริเวณนอกสุด ทำให้ค่าความจุความร้อนของแผ่นคอนกรีตที่ช่วยรักษาอุณหภูมิภายในอาคารลดลง ประกอบกับการที่ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกมีค่าที่สูงกว่าสภาพไม่ปรับอากาศมากทำให้คอนกรีตความหนา 8 นิ้ว ซึ่งอยู่ภายนอกได้รับพลังงานในอัตราที่สูง จึงเปลี่ยนอุณหภูมิไปอย่างรวดเร็ว ปริมาณพลังงานจึงถูกถ่ายเทเข้ามาภายในอาคารได้เร็วขึ้นเนื่องจากไม่มีมวลสารภายในด้านหลังวัสดุฉนวนพอที่จะลดความร้อนของพลังงาน อัตราการห้วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบชนิดนี้จึงมีค่าต่ำกว่าวัสดุทดสอบในรูปแบบมวลสาร-ฉนวน-มวลสาร

ค่า Decrement factor ของวัสดุทดสอบมวลสาร-ฉนวน-มวลสารเป็นค่าที่เป็นกลางในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวสูงสุดและต่ำสุดภายนอกเกิดจากวัสดุมวลสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพอากาศภายนอกน้อยกว่าเนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 8 นิ้วซึ่งอยู่ภายนอกมากกว่าวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่าตัวหาร θ_0 ในสมการ $\lambda = \theta_1 / \theta_0$ จึงมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ค่า θ_1 เมื่อเทียบกับวัสดุทดสอบอีก 2 ชนิด ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าที่หารเป็น Decrement factor มีค่าที่สูงขึ้นในระดับกลางของกลุ่มวัสดุทดสอบ

การส่งผ่านพลังงานผ่านวัสดุในแต่ละชั้นของวัสดุทดสอบ

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 1 อุณหภูมิผิวภายนอก (ผิวคอนกรีต) อุณหภูมิผิวภายนอกของวัสดุทดสอบชนิดนี้มีช่วงความแตกต่างที่ต่ำกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เนื่องจากวัสดุชั้นนอกสุดเป็นคอนกรีตความหนา 8 นิ้ว ที่มีค่ามวลสารจึงมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพลังงานที่ได้รับจากภายนอกไม่รุนแรงมาก ค่าอุณหภูมิผิวภายนอกจึงขึ้นสูงสุดที่ 36.24 องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าอุณหภูมิจาก Sol-air temperature แต่ยังคงต่ำกว่าวัสดุทดสอบในสภาพไม่ปรับอากาศอยู่บ้างเนื่องจากได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ช้ากว่าเนื่องจากชายคาของห้องทดสอบ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.89 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 7.00 น. เนื่องจากวัสดุได้คายความร้อนที่กักเก็บไว้ตอนกลางวันออกมา และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกในช่วง 7.00 น. ถึง 17.00 น. เนื่องจากวัสดุได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในเวลา 14.00 น. ค่าความจุความร้อนของวัสดุจึงทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงที่ไม่มีพลังงานจาก Sol-air

temperature อุณหภูมิในชั้นนี้มีการ swing ของอุณหภูมิอยู่ในระดับที่สูง โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 8.38 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 2 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 (คอนกรีต-คอนกรีต) อุณหภูมิในชั้นนี้จะมีค่าแตกต่างจากผิวภายนอกในช่วง Peak ประมาณ 3.1 องศาเซลเซียส เนื่องจากวัสดุมวลสาร (คอนกรีต 4 นิ้ว) มีค่าการนำความร้อนที่สูงจึงช่วยลดอิทธิพลจาก Sol-air temperature ลงได้น้อย ผลที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้อุณหภูมิภายในชั้นทดสอบนี้มีปริมาณที่ค่อนข้างสูงและยังคงมีการ swing ในระดับที่มากอยู่ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 30.22 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 18.00 น. ถึง 7.00 น. เนื่องจากวัสดุคายความร้อนที่สะสมไว้ในตอนกลางวัน และต่ำกว่าในช่วง 7.00 น. ถึง 18.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิและมี timelag เลื่อนออกจากอุณหภูมิอากาศประมาณ 4 ชั่วโมง เนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 4 นิ้ว โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 4.87 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 3 อุณหภูมิภายในชั้นที่ 3 (คอนกรีต-โฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีความคงที่มากขึ้นจากอุณหภูมิภายในชั้นที่ 2 ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิชั้นนี้และอุณหภูมิในชั้นก่อนหน้าในขณะที่เกิดการ Peak มีค่าความแตกต่างประมาณ 2.56 องศาเซลเซียส เนื่องจากมวลสารของวัสดุที่มีปริมาณมากขึ้นทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุคงที่มากขึ้นเป็นลำดับ อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในชั้นนี้อยู่ที่ระดับ 28.95 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก ในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 7.00 น. เนื่องจากวัสดุคายความร้อนที่สะสมไว้ในตอนกลางวัน และต่ำกว่าในช่วง 7.00 น. ถึง 20.00 น. ค่อนข้างจะมีการ swing ของอุณหภูมิและมี timelag เลื่อนออกจากอุณหภูมิอากาศประมาณ 7 ชั่วโมง เนื่องจากค่าความจุความร้อนของคอนกรีต 8 นิ้ว โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2.82 องศาเซลเซียส

เซนเซอร์ตำแหน่งที่ 4 อุณหภูมิผิวภายใน (ผิวโฟม) อุณหภูมิในชั้นนี้มีลักษณะค่อนข้างคงที่เนื่องจากอิทธิพลในการลดปริมาณความร้อนของโฟม โดยลดระดับของอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันจาก 28.95 องศาเซลเซียส ลงมาที่ระดับ 24.75 องศาเซลเซียส

ลักษณะอุณหภูมิภายในชั้นนี้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดวัน อุณหภูมิค่อนข้างคงที่โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ที่ 2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในชั้นนี้ใกล้เคียงอุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ จะมีช่วงที่สูงอยู่บ้างเล็กน้อยในช่วง 8.00 น. ถึง 17.00 น.

เล็กน้อยเนื่องจากอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์เป็นผลให้เกิดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในและภายนอกอย่างรุนแรง โฟมโพลีสไตรีนซึ่งเป็นวัสดุฉนวนจึงมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเล็กน้อยโดยจะใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 14.00 น. แต่จะมีค่าความชื้นสูงขึ้นในช่วงหลัง 14.00 น. เนื่องจากวัสดุได้รับผลกระทบจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์โดยตรง และค่อยๆ ลดลงจนเข้าสู่อุณหภูมิอากาศภายในห้องทดสอบ



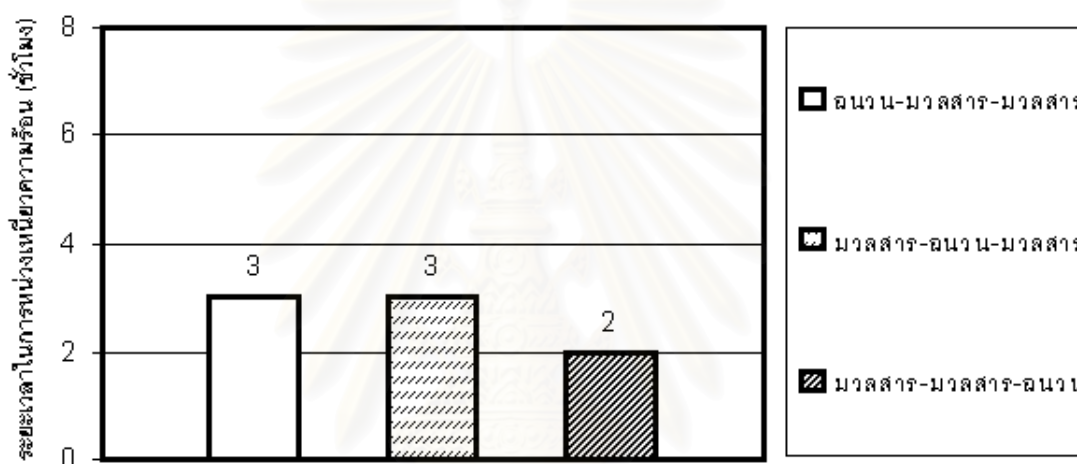
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ผลตัวแปรรูปแบบในการผสมผสานวัสดุในสภาวะปรับอากาศ

การพิจารณาเพื่อหาข้อสรุปของรูปแบบที่ดีที่สุด จากการเปรียบเทียบวัสดุที่ติดตั้งไว้ในสภาวะปรับอากาศ สามารถพิจารณาตามปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ
- ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน

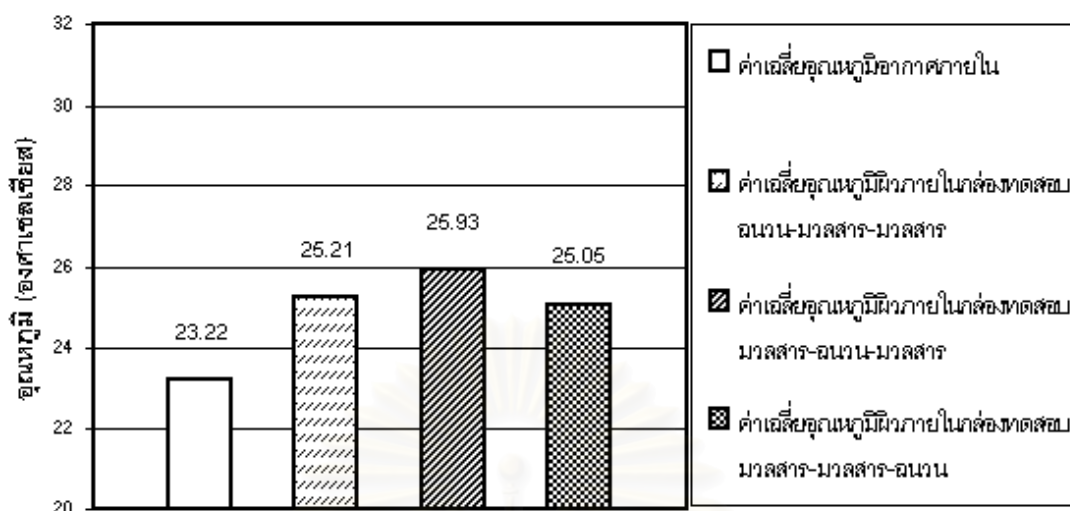
ค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ



แผนภูมิที่ 4.35 แสดงระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทดสอบรูปแบบต่างๆที่อยู่ในสภาวะปรับอากาศ

ผลการทดสอบระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุพบว่าวัสดุผนัง-มวลสาร-มวลสาร และวัสดุมวลสาร-ผนัง-มวลสาร เป็นวัสดุทดสอบที่มีค่าระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด คือ 3 ชั่วโมง โดยระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนลดลงจากวัสดุทดสอบในสภาวะไม่ปรับอากาศซึ่งมีการทดสอบในช่วงเวลาเดียวกัน (วัสดุทดสอบในสภาวะไม่ปรับอากาศในการทดสอบคุณสมบัติการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ 11 เมษายน) โดยมีความแตกต่างถึง 3 ชั่วโมง การที่วัสดุมีค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ลดลงเนื่องจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกและอุณหภูมิอากาศภายในมีค่าสูงมากกว่าสภาวะไม่ปรับอากาศ พลังงานภายนอกจึงผ่านวัสดุด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่ามากเป็นผลให้วัสดุมวลสารไม่สามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนจึงลดลง

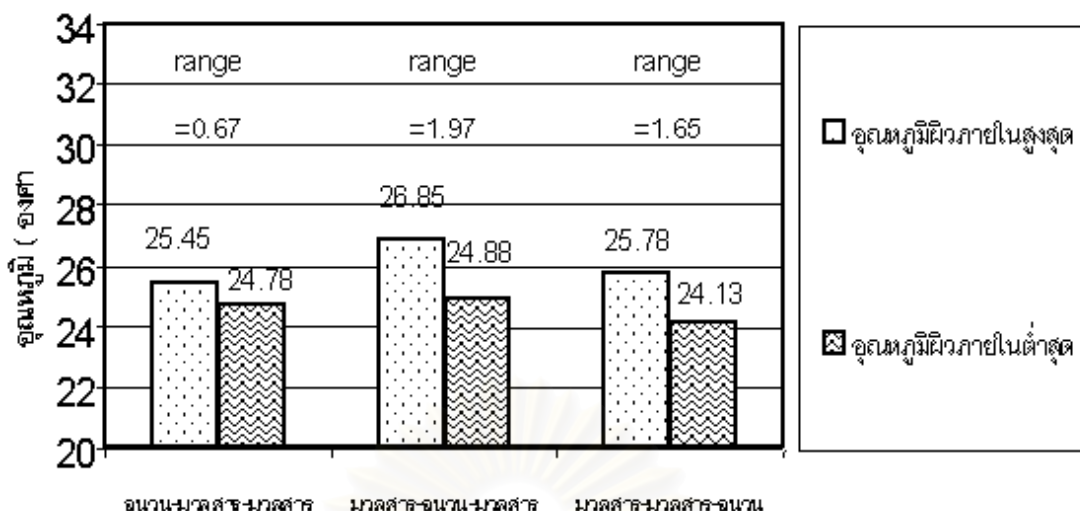
ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศภายใน



แผนภูมิที่ 4.36 แสดงค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศภายใน

ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวภายในวัสดุฉนวน-มวลดสาร-มวลดสารและวัสดุฉนวน-มวลดสาร-ฉนวนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวที่ต่ำที่สุดในวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิด วัสดุฉนวน-มวลดสาร-ฉนวนเป็นวัสดุที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดในกลุ่มทดสอบแต่มีการเปลี่ยนแปลงในระดับที่สูงมากกว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลดสาร-มวลดสาร

ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศสามารถบอกถึงปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการปรับอากาศตลอดวัน วัสดุที่มีอุณหภูมิผิวภายในสูงจะส่งผลถึงปริมาณการใช้พลังงานในการทำความร้อนมากขึ้นจากวัสดุที่มีอุณหภูมิผิวที่ต่ำกว่า ในการทดสอบครั้งนี้วัสดุฉนวน-มวลดสาร-ฉนวนเป็นวัสดุที่มีการใช้ปริมาณพลังงานในการปรับอากาศต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่น เนื่องจากฉนวนภายในมีค่าความเป็นฉนวนสูงและมีปริมาณฉนวนที่น้อยจึงทำให้อุณหภูมิผิวภายในมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วตามปริมาณความร้อนที่เข้ามา ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวภายในมากกว่าวัสดุฉนวน-มวลดสาร-มวลดสาร ซึ่งมีฉนวนภายในเป็นวัสดุฉนวนทำให้อุณหภูมิผิวภายในมีความคงที่มากกว่า



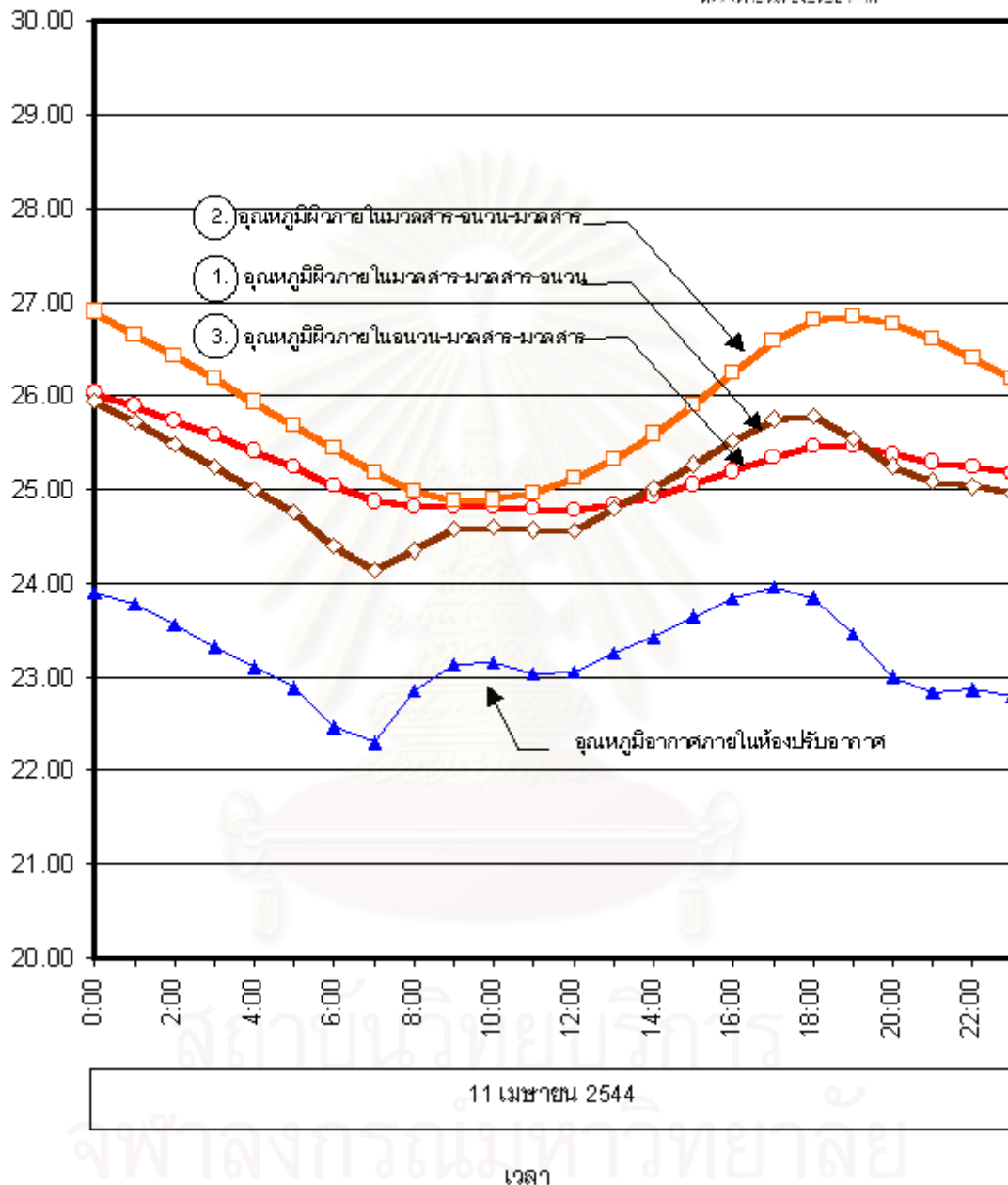
แผนภูมิที่ 4.37 แสดงอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ประเภทในภาวะปรับอากาศ

จากแผนภูมิเบื้องต้นเมื่อเปรียบเทียบช่วงอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในวัสดุแต่ละชนิดพบว่าวัสดุทดสอบฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เป็นวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุ มวลสาร-มวลสาร-ฉนวน เนื่องจากภายในของวัสดุเป็นมวลสาร (คอนกรีต 8 นิ้ว) ที่สามารถช่วยให้ อุณหภูมิผิวภายในมีความคงที่มากกว่า

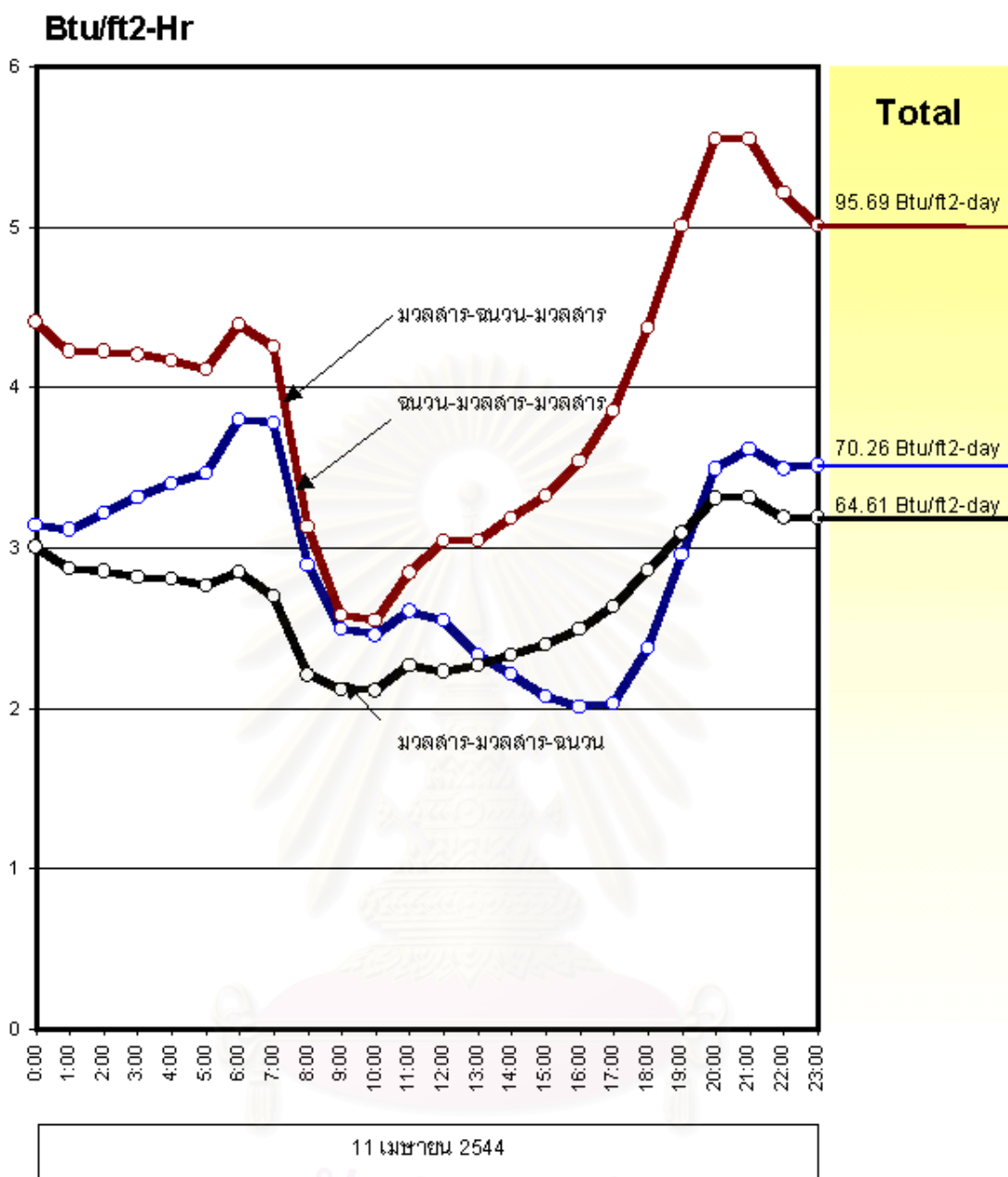
อุณหภูมิที่คงที่มากกว่าของฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ช่วยให้เครื่องปรับอากาศสามารถ ทำงานได้อย่างสม่ำเสมอ และเมื่อถึงเวลากลางคืนในเวลาที่มีการปรับอากาศมีน้อย เครื่องปรับอากาศจะไม่หยุดรีดความชื้นเนื่องจากภายในอาคารยังมีความร้อนจากช่วงกลางวันหลง เหลืออยู่ในมวลสาร เมื่อคำนึงถึงการควบคุมภาวะน่าสบายในอาคารแล้วจะพบว่าวัสดุฉนวน-มวล สาร-มวลสารสามารถช่วยให้เครื่องปรับอากาศควบคุมความชื้นและความร้อนได้ดีกว่าวัสดุฉนวน- มวลสาร-ฉนวนซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวภายในที่รุนแรงกว่า



ภาพประกอบที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในตลอดวันของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดในภาวะปรับอากาศ



แผนภูมิที่ 4.38 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวภายในตลอดวันของวัสดุทดสอบทั้ง 3 ชนิดในภาวะปรับอากาศ



สถานวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เวลา

แผนภูมิที่ 4.39 แสดงการเปรียบเทียบภาระการปรับอากาศตลอดวันของวัสดุทดสอบทั้ง 3 รูปแบบเมื่ออยู่ในภาวะปรับอากาศ

สรุปผลการทดสอบรูปแบบการผสมผสานวัสดุสำหรับภาวะปรับอากาศ

1. สำหรับอาคารที่ต้องการภาวะปรับอากาศ 24 ชั่วโมง การเลือกใช้ฉนวน-มวลสาร-มวลสาร เป็นรูปแบบวัสดุที่เหมาะสม เนื่องจากอุณหภูมิผิวที่ต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อย เครื่องปรับอากาศภายในอาคารจึงสามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอตลอดวันจึงสามารถควบคุม ความร้อนและความชื้นได้ดีกว่าวัสดุทดสอบแบบมวลสาร-มวลสาร-ฉนวน

2. สำหรับอาคารที่มีการเปิดเครื่องปรับอากาศการใช้วัสดุมวลสารภายในที่มีปริมาณน้อย สามารถทำให้เกิดข้อได้เปรียบเนื่องจากฉนวนมีค่าความจุความร้อนที่ต่ำจึงไม่จำเป็นต้องใช้เวลามากนักในการปรับอากาศ

3. รูปแบบที่เหมาะสมสำหรับอาคารปรับอากาศคือการใช้ฉนวนภายนอกเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงจากรังสีดวงอาทิตย์จากนั้นจึงเพิ่มมวลสารภายในเพื่อสร้างความคงที่ให้กับอุณหภูมิผิวภายใน ข้อแตกต่างระหว่างการใช้วัสดุประเภทนี้สำหรับอาคารปรับอากาศและอาคารไม่ปรับอากาศคือการเลือกปริมาณมวลสารที่เหมาะสม สำหรับอาคารปรับอากาศที่มีการเปิดปิดเป็นเวลาปริมาณมวลสารที่มากเกินไปจะทำให้ใช้เวลามากในการทำความเย็น ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและการทดสอบวัสดุที่มีการผสมผสานมวลสารและฉนวนทั้ง 3 รูปแบบ รวมถึงการทดสอบตัวแปรที่เกี่ยวข้องในด้านพลังงานที่ส่งผลต่อวัสดุทั้ง 3 ชนิด สามารถสรุปผลการทดสอบ ได้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 รูปแบบในการผสมผสานวัสดุที่แตกต่างกันส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่มีมวลสารรวมและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเท่ากัน

ในสภาพไม่ปรับอากาศ

- วัสดุที่ได้รับการผสมผสานให้มีฉนวนอยู่ภายนอกและมวลสารอยู่ภายในจะสามารถช่วยให้การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุมวลสารสามารถทำงานได้ดีที่สุดเนื่องจากฉนวนภายนอกสามารถช่วยลดปริมาณพลังงานจากภายนอกให้น้อยลงก่อนที่จะถูกดูดซับโดยมวลสาร แต่จะมีความร้อนสะสมที่มากกว่าเมื่อถึงเวลากลางคืน ดังนั้นแนวทางในการปรับปรุงอาคารโดยใช้วัสดุฉนวนที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงเข้ามาประกอบจึงควรใช้วัสดุฉนวนบริเวณภายนอกอาคารและใช้วัสดุมวลสารที่มีปริมาณพอเหมาะในอาคาร สำหรับอาคารที่มีการใช้งานโดยวัสดุลักษณะนี้ควรมีการปิดอาคารในเวลากลางวันเพื่อให้อุณหภูมิอากาศภายในอาคารต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก และเปิดอาคารในเวลากลางคืนเพื่อระบายความร้อนที่มวลสารภายในสะสมไว้ในช่วงเวลากลางวันออกจากอาคาร
- การผสมผสานวัสดุโดยให้มีฉนวนอยู่ระหว่างวัสดุมวลสาร จะมีพฤติกรรมที่ใกล้เคียงวัสดุฉนวนอยู่ภายนอก แต่ค่าอุณหภูมิอากาศภายในและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศภายในจะสูงกว่า เนื่องจากวัสดุมวลสารภายในมีปริมาณที่ต่ำกว่าส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนให้ต่ำลง นอกจากนี้วัสดุมวลสารที่อยู่ภายนอกจะมีประสิทธิภาพการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำลง เนื่องจากการนำความร้อนที่สูงมากของวัสดุทำให้อุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทันทีที่พบกับสภาพอากาศที่รุนแรงภายนอก

- การผสมผสานวัสดุโดยให้มีฉนวนอยู่ภายในนอกจากวัสดุมวลสารภายนอกมี ประสิทธิภาพในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ต่ำลงแล้ว เมื่อวัสดุที่ผสมมีค่าสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนรวมที่ต่ำถึงระดับหนึ่ง การหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนจะไม่มี ผลต่ออุณหภูมิผิวภายใน แต่อุณหภูมิผิวภายในจะขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนสะสมใน ตัวอาคารจากแหล่งกำเนิดความร้อนต่างๆภายในห้อง
- ปริมาณฉนวนภายนอกส่งผลต่อการป้องกันความร้อนจากสภาพอากาศภายนอกที่ รุนแรงได้เป็นอย่างดี เมื่อมีปริมาณฉนวนภายนอกมากถึงระดับหนึ่งอิทธิพลจากสภาพ อากาศภายนอกจะมีผลกระทบต่ออุณหภูมิอากาศภายในอาคารน้อยมาก
- ปริมาณมวลสารภายในวัสดุส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุตามปริมาณ มวลสาร ปริมาณมวลสารภายในที่มากจะช่วยหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้ดีกว่าและจะ ทำให้อุณหภูมิผิวภายในมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำและคงที่มากกว่า
- วัสดุมวลสาร ฉนวน มวลสาร อาจมีความเหมาะสมเมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมการใช้งาน ของคนในประเทศไทยที่คุ้นเคยกับผนังภายนอกที่มีความแข็งแรง
- ความแตกต่างทางอุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบตำแหน่งในการผสมมวลสาร และฉนวน อาจมีความแตกต่างที่น้อยลงเมื่อเพิ่มความหนาของฉนวนขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาจากภายนอกจะถูกลดลงจนมีค่าที่แตกต่างกัน น้อยมากในวัสดุที่มีการผสมมวลสารและฉนวนในแต่ละรูปแบบ

ในสภาพปรับอากาศ

- เมื่อค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกสูงขึ้นมาก การผสมผสาน วัสดุโดยให้มีการใช้มวลสารภายในที่พอเหมาะจะช่วยให้การหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเท ความร้อนสามารถทำงานได้ดีกว่าและรักษาอุณหภูมิผิวภายในได้ค่อนข้างต่ำและคงที่ นอกจากนี้ยังช่วยให้เครื่องปรับอากาศทำงานอยู่ตลอดวันโดยไม่มี การตัดของอุปกรณ์ ควบคุมอุณหภูมิ เครื่องปรับอากาศภายในจึงสามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ ดีกว่า

- เมื่อค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกสูงขึ้นไปมาก การผสมผสานวัสดุโดยให้มีการใช้ฉนวนภายนอกที่มีค่าความเป็นฉนวนสูงพอจะช่วยให้การหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุภายในสามารถทำงานได้ดีกว่าเนื่องจากฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงจะช่วยลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ภายในได้มากส่งผลให้มวลสารด้านหลังสามารถยี่ระยะเวลาในการหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนได้นานขึ้นกว่าวัสดุทดสอบในรูปแบบอื่น
- มวลสารภายนอกที่เหมาะสมสำหรับอาคารปรับอากาศคือการใช้มวลสารน้อยเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงจากรังสีดวงอาทิตย์
- มวลสารภายในที่เหมาะสมสำหรับอาคารปรับอากาศคือการใช้มวลสารมากภายในเพื่อสร้างความคงที่ให้กับอุณหภูมิผิวภายในที่ต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงน้อย เครื่องปรับอากาศภายในอาคารจะสามารถทำงานได้อย่างสม่ำเสมอตลอดวันโดยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิไม่ตัดจึงสามารถควบคุมความร้อนและความชื้นได้ดีกว่า
- ข้อควรระวังในการใช้งานวัสดุฉนวน-มวลสาร ในอาคารปรับอากาศคือปริมาณมวลสารภายในที่เหมาะสม ปริมาณมวลสารที่มากเกินไปจะทำให้การทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศไปไปอย่างช้าๆทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการปรับอากาศ เนื่องจากค่าความจุความร้อนของมวลสารภายใน และสำหรับอาคารที่มีการปิดเครื่องปรับอากาศและเปิดระบายอากาศในบางเวลาการมีมวลสารปริมาณมากเกินไปจะทำให้อากาศร้อนจากภายนอกที่เข้ามากระทบผิวผนังภายในที่ยังเย็นอยู่เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำที่ผนังภายในอาจทำให้ผนังภายในขึ้นราและเสียหายได้

5.1.2 ปริมาณการดูดซับพลังงานจากพื้นผิวภายนอกจะส่งผลต่ออุณหภูมิผิวภายในได้น้อย เมื่อวัสดุมีคุณสมบัติในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ดีถึงระดับหนึ่งจากการผสมผสานมวลสารและฉนวน

- การได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์และไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางด้านอุณหภูมิอากาศภายในเนื่องจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในมีค่าสูงกว่า พลังงานความร้อนจึงผ่านวัสดุเข้ามาด้วยอัตราเร็วที่มากกว่า
- การเคลือบผิววัสดุด้วยวัสดุที่มีค่าการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันส่งผลให้เกิดความแตกต่างทางด้านอุณหภูมิอากาศภายในมากกว่าการได้รับรังสีและไม่ได้รับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ เนื่องจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายนอกและภายในมีค่าสูงกว่า พลังงานความร้อนจึงผ่านวัสดุเข้ามาด้วยอัตราเร็วที่มากกว่า
- การออกแบบเพื่อสร้างสภาวะการหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ดีควรมีการบังเงาและใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีค่าการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ต่ำเพื่อลดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในและผิวภายนอก การกระทำดังกล่าวจะช่วยให้ประสิทธิภาพในการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุทำงานได้ดีขึ้น

เมื่อต้องการให้อุณหภูมิอากาศภายในมีอุณหภูมิที่ต่ำและคงที่ การเลือกใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีอัตราการดูดซับรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ต่ำ มีการติดตั้งแผงกันแดดที่ดี และมีการเลือกใช้มวลสารที่มีการผสมผสานในรูปแบบฉนวนภายนอก มวลสารภายใน จะเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสม โดยในการใช้งานสำหรับสภาพไม่ปรับอากาศควรมีการปิดอาคารในช่วงเวลากลางวันและเปิดอาคารในช่วงเวลากลางคืนเพื่อระบายความร้อนที่มวลสารภายในสะสมอยู่ ส่วนในสภาพปรับอากาศปริมาณมวลสารภายในเป็นข้อควรระวังในการพิจารณาโดยเฉพาะกับอาคารที่มีการเปิดปิดเครื่องปรับอากาศเป็นเวลา เนื่องจากถ้ามีปริมาณมวลสารภายในมากเกินไป เครื่องปรับอากาศจะกินเวลาในการลดอุณหภูมิภายในเนื่องจากความร้อนที่สะสมอยู่ในเนื้อวัสดุ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากเวลาและอุปกรณ์ในการวิจัยมีจำกัด จึงไม่สามารถทดสอบปริมาณมวลสารที่เหมาะสม ทั้งปริมาณฉนวนและมวลสาร เพื่อหาจุดคุ้มค่าในการผสมผสานมวลสารทั้งสองชนิดในรูปแบบการผสมผสานฉนวน-มวลสาร-มวลสาร ทั้งในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศได้ทัน จึงควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อหารูปแบบและเทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับวัสดุชนิดนี้ต่อไป
2. จากการทดสอบคุณสมบัติอากาศภายในมีข้อควรระวังในการใช้กล่องทดสอบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายใน วัสดุทดสอบที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่ากล่องทดสอบจะส่งผลให้การตีความหมายเพื่อการเปรียบเทียบเป็นไปได้ลำบาก จึงควรมีการคิดอุปกรณ์การวิจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบการผสมผสานมวลสารต่อไป
3. การใช้วัสดุทดสอบมวลสารเนื้อเดียวเป็นแผ่นใหญ่ทำให้เกิดอันตรายสูงในขณะทดสอบ การแยกวัสดุชนิดนี้ออกเป็นแผ่นที่บางลงน่าจะช่วยให้การทดสอบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งยังสามารถทำการทดสอบปริมาณมวลสารที่เหมาะสมได้อีกด้วยโดยไม่ต้องหล่อวัสดุจำนวนมาก แต่ในการแยกวัสดุเป็นแผ่นบางควรหาเทคนิคในการหล่อที่จะทำให้วัสดุเมื่อนำมาประกบกันมีผิวที่สามารถประกบกันได้สนิทซึ่งจะทำให้ไม่มีช่องว่างอากาศระหว่างชั้นวัสดุจึงจะสามารถวัดค่าอุณหภูมิภายในเนื้อวัสดุได้ถูกต้อง

รายการอ้างอิง

ภาษาอังกฤษ

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 1997

ASHARE Handbook of Fundamentals. I-P Edition. (n.p.), 1997

Carrow, R. Energy systems. New York : McGraw-Hill, 1999.

Olgay, V. Design with climate. Newyork : Van Nostrand Reinhold, 1992.

Pratt, A.W. Heat transmission. Newyork : Wiley, 1981.

Santamouris, M. and Asimakopoulos, D. Passive cooling of buildings. London : James & James (Science Publishers), 1996.

Stein, B. and Reynolds, J.S. Mechanical and Electrical Equipment of Building. 8th ed.
Newyork : John Wiley & Sons, 1992.

Department of Energy . Minimum Energy Dwelling workbook.,Virginia, Burt, Hill ,Kosar,
Rittelmann and Associates,1978.

Lechner, N. Heating, Cooling, Lighting. John Wiley&Sons, New York.1991.

Robertson, D. The Performances of adobe and other thermal mass materials in
residential buildings.,Passive Solar Journal ,1986.

Shaviv, E. on the Determination of the optimum thermal mass in the Mediterranean
Climate, Energy and /Building Temperate /climates, 6th International PLEA
conference, Porto, Portugal, Eds. E.de Oliveira Fernandes and S. Yannas,
Pergamon Press, 1988.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาไทย

วันเอก กิจสมใจ. ปัจจัยที่มีผลต่ออุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคาร.วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2539

สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบ บ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า.

กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุนทร บุญญาธิการ. การเลือกวัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบอาคารประหยัดพลังงาน,เอกสาร

ประกอบการอบรม หลักสูตร ข้อกำหนดมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์
ไฟฟ้าในอาคารควบคุมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาและส่งเสริม
พลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2539.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิริ เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2516 กรุงเทพมหานคร สำเร็จปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2539 และได้เข้ารับการศึกษาคือต่อในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาเทคโนโลยีอาคาร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย