การพัฒนาวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

นายพลพัฒน์ นิลอุบล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS FROM AGRICULTURAL RESIDUES

Mr. Polpat Nilubon

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture
Department of Architecture
Faculty of Architecture
Chulalongkorn Year 2009
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
โดย	นายพลพัฒน์ นิลอุบล
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต จุลาสัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ฐานิศวร์ เจริญพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรจน์ เศรษฐบุตร)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.จญาดา บุญยเกียรติ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลพัฒน์ นิลอุบล : การพัฒนาวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
(THE DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS FROM AGRICULTURAL RESIDUES)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ, 80 หน้า.

อาคารส่วนใหญ่ในเขตร้อนชื้นจะมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนบริเวณฝ้าเพดานเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการพัฒนาฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารและลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต และคุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขนาด ความกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร เน้นการใช้ฟางข้าวและมะพร้าวสับเป็นวัตถุดิบ โดยแผ่นฉนวนฝ้าเพดานที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ความหนาที่แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 15, 20 และ 30 มิลลิเมตร จากการศึกษา พบว่า อัตราส่วนของปริมาณน้ำหนักฟางข้าว, มะพร้าวสับ และกาวผง คือ 3 : 1 : 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 พบว่าแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีศักยภาพในการผลิตเป็นฉนวนความร้อน โดยมีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.0460 - 0.0603 วัตต์/ เมตร เคลวิน และพบว่าความหนาและปริมาณความชื้นของแผ่นฉนวนมีผลต่อค่าการนำความร้อน จากการศึกษาวิจัยงานวิจัยชิ้นนี้สรุปว่า แนวโน้มในการพัฒนาแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีแนวโน้มความเป็นไปได้สูง เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและสามารถใช้งานได้จริง หากแต่ยังต้องพัฒนาคุณสมบัติทางด้านการทนไฟ และ ด้านการกันความชื้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..สถาปัตยกรรมศาสตร์.. ลายมือชื่อนิสิต.....พลพัฒน์ นิลอุบล.....
สาขาวิชา.....สถาปัตยกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
ปีการศึกษา .....2552.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5174144425 : MAJOR ARCHITECTURE
KEYWORD : AGRICULTURAL RESIDUES / RICE STRAW / CEILING INSULATION BOARDS / HOT PRESSING / COCONUT

POLPAT NILUBON : THE DEVELOPMENT OF BUILDING MATERIALS FROM AGRICULTURAL RESIDUES. THESIS ADVISOR: VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR: ASST. PROF. CHAWALIT NITAYA,Ph.D. , 80 pp.

Most of the buildings in tropical climate zones are equipped with thermal insulation ceiling board to keep the temperature in the building at an appropriate level. Since Thailand is an agriculture-based country, there are also a lot of excess agricultural residues produced each year. Accordingly, this research proposes the development of ceiling insulation board produced from agricultural residues, which will result in a reduction of heat entering the building and a decrease in the quantity of agricultural material residues. The research aimed at studying the production process and insulation properties of the 300 mm. wide x 300 mm. long board made from agricultural residues, especially rice straw and chopped coconut shell. The ceiling insulators produced are flat boards of different thicknesses: 15 mm., 20 mm. and 30 mm.

It was found that the appropriate ratio of the weight of rice straw, chopped coconut shell and glue powder for making ceiling insulation board from agricultural residues is 3:1:1. Regarding thermal properties tested under the ASTM C 177 standard, it was discovered that the ceiling insulation board produced from agricultural residues can be used as a heat insulator since its heat conduction is measured at 0.0460 – 0.0603 watts per kelvin per meter. Also, it was found that the thickness and humidity of the board had an effect on its heat conduction.

From the study, it can be concluded that there is a high potential in developing insulation board from agricultural residues because of its low manufacturing cost and practicality. However, there is a need to improve its fire and humidity resistance.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department :... Architecture ... Student's Signature.....
Field of Study :....Architecture....Advisor's Signature.....
Academic Year :....2009.....Co-Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต นิตยะ ที่เป็นทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่สามารถให้คำปรึกษาได้ทุกเรื่องทุกปัญหา ให้ความรู้ แนวความคิด และปรัชญาสู่ความสำเร็จทั้งการเรียนและการดำเนินชีวิต ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐานิศวร์ เจริญพงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ขอบกราบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร และ อาจารย์ ดร.จญาดา บุญยเกียรต ที่ได้ให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ พี่แว่น พี่ต้น และพี่จอยห้องภาค ที่แนะนำวิธีใช้เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองต่าง ๆ รวมถึงพี่แก๊ป ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลข้อมูลและทำทุกอย่างให้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่อ้ม แอน และญาติ ๆ ทุกคนที่ให้ความเป็นห่วงและเป็นทุกอย่างให้ผมคนนี้ประสบความสำเร็จ ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่สาขาเทคโนโลยีฯ และสาขาอื่นๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและเสียงหัวเราะด้วยกันตลอด 2 ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูปภาพ..... ญ
สารบัญแผนภูมิ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา..... 3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4
1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย..... 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร..... 6
2.1.1 ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร..... 6
2.1.2 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์..... 7
2.1.3 คุณสมบัติความเป็นฉนวน..... 8
2.1.4 คาการถ่ายเทความร้อน..... 10
2.1.5 การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน..... 12
2.1.6 ภาระความร้อน..... 13
2.2 ความร้อนที่เกิดจากภายนอกอาคาร 13
2.2.1 การป้องกันความร้อนทางหลังคา..... 13
2.2.2 ชนิดของฝ้าเพดานที่ใช้สำหรับบ้านพักอาศัย..... 15
2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับฉนวนความร้อน..... 17
2.3.1 ความหมายของฉนวนความร้อน..... 17
2.3.2 ประเภทของฉนวนความร้อน..... 19
2.3.3 สมบัติความเป็นฉนวนความร้อน..... 20
2.3.4 ระบบฉนวนความร้อนและการใช้งาน..... 23
2.3.5 การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร..... 23
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 25
2.4.1 อิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน.. 25
2.4.2 แนวทางการปรับปรุงผนังอาคารเดิมเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร.. 26

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุ..... 27
3.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล..... 30
3.3 วิธีการผลิตและการติดตั้งแผ่นวัสดุประกอบอาคาร..... 32
3.4 การเก็บข้อมูล..... 40
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 42

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการศึกษาสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ 45
4.2 การเปรียบเทียบ สมบัติของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ที่ผลิตได้กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์..... 47
4.3 ผลการศึกษาทดลองและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่างโดยการจำลองสภาพอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 49
4.4 สรุปรายละเอียดต้นทุนในการผลิต และวัสดุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ..... 61

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 65
5.2 การประยุกต์ใช้ในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุฝ้าเพดาน..... 66
5.2.1 ด้านประหยัดพลังงาน..... 67
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 69
5.4 สรุป..... 70
5.5 การนำไปสู่การประยุกต์ใช้จริง..... 71

รายการอ้างอิง..... 72
ภาคผนวก..... 75
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	แสดงชนิดวัสดุและค่าการนำความร้อนที่ได้ จากการทบทวนวรรณกรรม……	2
ตารางที่ 2.1	การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดของวัสดุฉนวน…….....	21
ตารางที่ 2.2	สมบัติทางกายภาพ ความร้อนวัสดุ และฉนวนอาคาร.....	22
ตารางที่ 3.1	แสดงอุปกรณ์ในการผลิตแผ่นวัสดุ ขนาด 30x30 ซม.....	28
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบคุณสมบัติความเป็นฉนวน……..……...	46
ตารางที่ 4.2	คุณสมบัติความเป็นฉนวนของแผ่นผ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ.....	47
ตารางที่ 4.3	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ภายในอาคารตลอดปี(1).....	50
ตารางที่ 4.4	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี(Base case).....	50
ตารางที่ 4.5	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี(Option1).....	52
ตารางที่ 4.6	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี.....	52
ตารางที่ 4.7	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ภายในอาคารตลอดปี(2).....	54
ตารางที่ 4.8	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี(Option2).....	54
ตารางที่ 4.9	แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ.....	56
ตารางที่ 4.10	แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี(Option3).....	56
ตารางที่ 4.11	แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี.....	58
ตารางที่ 4.12	แสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี.....	58
ตารางที่ 4.13	สรุปต้นทุนการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ต่อ หนึ่งแผ่น ขนาด 60 x 60 ซม. หนา 15 มม.....	61
ตารางที่ 4.14	รายละเอียดวัสดุทั้งหมดในการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ขนาด 60 x 60 ซม. หนา 15 มม.....	62
ตารางที่ 4.15	เปรียบเทียบราคาแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ กับวัสดุตามท้องตลาดในรูปแบบระบบโครงเคร่า (T-Bar).....	63
ตารางที่ 5.1	แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี.....	69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	แสดงความร้อนที่เข้าสู่อาคาร	7
รูปที่ 2.2	กราฟแสดงระดับความเป็นฉนวนกับค่าความต้านทานความร้อน	14
รูปที่ 2.3	การนำความร้อนผ่านแผ่นราบ	18
รูปที่ 2.4	รูปแบบการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน	19
รูปที่ 3.1	เครื่องวัดอัตราการถ่ายเทความร้อน ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	30
รูปที่ 3.2	เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ยี่ห้อ Ohaus รุ่น Adventurer	31
รูปที่ 3.3	คอมพิวเตอร์ แมคบุคโปร ใช้โปรแกรม Visual DOE ประมวลผลการทดลอง	32
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการผสมปูนยิปซั่มกับน้ำยาผสมยิปซั่มเพื่อทำเป็นแผ่นประกบกับวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	32
รูปที่ 3.5	ขั้นตอนการเทปูนยิปซั่มลงบนแบบแม่พิมพ์เพื่อทำเป็นแผ่นประกบกับวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	33
รูปที่ 3.6	ขั้นตอนการผสมฟางข้าวกับมะพร้าวสับเพื่อทำเป็นแผ่นวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	33
รูปที่ 3.7	ขั้นตอนกันเตรียมลวดตาไก่และบล็อคไม้แบบ	34
รูปที่ 3.8	ขั้นตอนการผลิตแผ่นวัสดุด้วยวิธีการอัด ขนาด 30x30 ซม	34
รูปที่ 3.9	ขั้นตอนการขัดและเก็บรายละเอียดของแผ่นวัสดุ ขนาด 30x30 ซม	35
รูปที่ 3.10	แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ขนาด 30 ซม. x 30 ซม	35
รูปที่ 3.11	แสดงผลการขึ้นรูปในอัตราส่วนต่าง เช่น 2 : 1 : 1, 4 : 1 : 1 และ 5 : 1 : 1	36
รูปที่ 3.12	ขั้นตอนการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	37
รูปที่ 3.13	การวางแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมกับมะพร้าวสับบนฝ้า T-Bar ขนาด 60x60 ซม	38
รูปที่ 3.14	การเจาะแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมกับมะพร้าวสับ เพื่อติดบนโครงสร้างฝ้าเพดานขนาด 60x60 ซม	39
รูปที่ 3.15	โครงสร้างโครงเคร่าบนฝ้าเพดาน (T-Bar) สำหรับวางแผ่นยิปซั่ม	40
รูปที่ 3.16	รูปตัดฝ้าเพดานของแผ่นยิปซั่มบอร์ด และรูปแผ่นยิปซั่มบอร์ด	40
รูปที่ 3.17	รูปตัดฝ้าเพดาน ระหว่างฉนวนใยแก้วกับแผ่นยิปซั่มบอร์ด และรูปภาพฉนวนใยแก้วตราช้าง	41
รูปที่ 3.18	รูปตัดฝ้าเพดานของแผ่นฉนวนจากฟางข้าว และรูปแผ่นฉนวนจากฟางข้าว	41
รูปที่ 3.19	รูปตัดฝ้าเพดานของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	41
รูปที่ 3.20	แสดงผังอาคารที่นำมาทดลอง ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพอากาศ	42
รูปที่ 4.1	แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ขนาด 30 ซม. x 30 ซม.หนา 15, 20, 30 มม	44

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง
รูปที่ 4.3 วันที่ 15 ธ.ค. 2552..... 45
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อน (R) ของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ 46
รูปที่ 4.5 แสดงผังอาคารที่นำมาทดลอง ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพอากาศ..... 49
รูปที่ 4.6 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.3)..... 51
รูปที่ 4.7 กราฟแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.4)..... 51
รูปที่ 4.8 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.5)..... 53
รูปที่ 4.9 กราฟแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.6)..... 53
รูปที่ 4.10 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.7)..... 55
รูปที่ 4.11 กราฟแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.8)..... 55
รูปที่ 4.12 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.9)..... 57
รูปที่ 4.13 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)..... 59
รูปที่ 4.14 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)..... 60
กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)..... 60
รูปที่ 5.1 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี..... 66
รูปที่ 5.2 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี..... 67
รูปที่ 5.3 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)..... 68
รูปที่ 6.1 ตารางแสดงการคำนวนการหาค่าความต้านทานความร้อนขนาดหนา 1.5 ซม..... 77
รูปที่ 6.2 ตารางแสดงการคำนวนการหาค่าความต้านทานความร้อนขนาดหนา 2 ซม..... 78
รูปที่ 6.3 ตารางแสดงการคำนวนการหาค่าความต้านทานความร้อนขนาดหนา 3 ซม..... 79
รูปที่ 6.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบวัสดุต่างๆ..... 80
รูปที่ 6.5 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ..... 81
รูปที่ 6.6 ตารางแสดงการคำนวนการหาค่าความต้านทานความร้อนทั้ง 3 ขนาด..... 82

สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1.1 แสดงระเบียบวิธีวิจัย…….……..……..…… 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากวิกฤตการณ์ภาวะโลกร้อนในปัจจุบันส่งผลให้ประเทศไทยมีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ดังนั้นอาคารโดยทั่วไปจึงมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนบริเวณฝ้าเพดานเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม หากแต่ในงบประมาณที่มีจำกัดในการก่อสร้างทำให้สถาปนิกและเจ้าของอาคารนิยมใช้วัสดุอย่างประหยัด และมักจะไม่มีการติดตั้งฉนวนเพื่อกันความร้อนอันส่งผลสืบเนื่องต่อปัญหาการใช้พลังงานในภาพรวมของประเทศ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในแต่ละปีประมาณ 10-30x 10^6 ตัน[1] จากปัญหาการใช้ทรัพยากรและปัญหาทางด้านการใช้พลังงาน งานวิจัยนี้ จึงเสนอให้มีการพัฒนาแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งเป็นส่วนของพืชที่เหลือทิ้งอยู่ภายหลังจากการเก็บเกี่ยวและการแปรรูปผลผลิตพืชทางการเกษตร เพื่อลดการใช้ทรัพยากรและเพิ่มศักยภาพของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต คุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เน้นการใช้ฟางข้าวและมะพร้าวสับเป็นวัตถุดิบ และความเป็นไปได้ในการผลิตของแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อควบคุมให้มีความเป็นฉนวนสูงต้นทุนต่ำและมีอัตราส่วนเหมาะสมในการขึ้นรูป และสามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้จริง

กระบวนการผลิตที่นำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นแผ่น จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า ในอดีตได้มีการผลิตโดยใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ ซึ่งกระบวนการผลิตได้นำเอาเครื่องอัดไฮดรอลิคมาใช้[2] ประชาชนทั่วไปที่ขาดทุนทรัพย์ไม่สามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากมีราคาสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกประยุกต์ใช้กระบวนการผลิตแผ่นที่ประชาชนทั่วไปสามารถทำได้เอง โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรขนาดใหญ่ ราคาแพง อีกทั้งยังมีการศึกษาและพัฒนาวัสดุประกอบอาคารที่ผ่านมาโดยเฉพาะแผ่นฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลากหลายประเภท ดังตารางที่1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[1] กิตติศักดิ์ บัวศรี, “การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว,” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2544),หน้า 2.

[2] สโรชา เจริญวัย, “แผ่นฉนวนความร้อนจากใยมะพร้าวและเปลือกทุเรียน,” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2544),หน้า 57.

ตารางที่1 แสดงชนิดวัสดุและค่าการนำความร้อนที่ได้ จากการทบทวนวรรณกรรม

ชนิดวัสดุ	ค่าการนำความร้อน (k) (วัตต์/ เมตร เคลวิน)	ความหนา (มิลลิเมตร)
แผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว [3]	0.056 - 0.095	9
แผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย [4]	0.072 - 0.092	10
แผ่นฉนวนความร้อนจากใยมะพร้าวและเปลือกทุเรียน [5]	0.0642	9
แผ่นฉนวนความร้อนจากซังข้าวโพด [6]	0.063 - 0.123	9.35
แผ่นฉนวนความร้อนจากต้นมันสำปะหลัง [6]	0.059 - 0.105	9.51

จากตารางที่1 พบว่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีค่าการนำความร้อนดีที่สุด คือ ฟางข้าว โดยมีค่าการนำความอยู่ระหว่าง 0.056-0.095 วัตต์/ เมตร เคลวิน รองลงมา คือ ใยมะพร้าว มีค่าการนำความร้อน เฉลี่ยเท่ากับ 0.0642 วัตต์/ เมตร เคลวิน ข้อดีของงานวิจัยที่ผ่านมา คือ ช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับฉนวนที่มีอยู่ในท้องตลาด ส่วนข้อเสีย คือ วัสดุที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไม่สามารถกันแมลงหรือกันไฟได้ดีเทียบเท่ากับฉนวนที่มีอยู่ในท้องตลาด อาทิ ฉนวนใยแก้ว ดังนั้นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การนำเส้นใยมาใช้ และการนำชิ้นวัสดุหรือลำต้นมาใช้ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงเสนอให้มีการนำเอาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาสองชนิด ในรูปแบบผสมผสาน คือ ฟางข้าวโดยมีลักษณะเป็นเส้นใย และมะพร้าวสับ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของลำต้นมาเป็นวัตถุดิบ ในลักษณะเป็นแผ่นฝ้าเพดานของอาคารเพื่อทดแทนวัสดุอื่นๆ อาทิ ไม้อัด แผ่นยิปซั่ม อีกทั้งใช้เป็นฉนวนกันความร้อนเพื่อลดอุณหภูมิภายในอาคาร จากการศึกษางานวิจัยชิ้นนี้สรุปว่า แนวโน้มในการพัฒนาฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีแนวโน้มความเป็นไปได้สูง เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและสามารถใช้งานได้จริง หากแต่ยังต้องพัฒนาคุณสมบัติทางด้านการทนไฟ และ ด้านการกันความชื้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[3] กิตติศักดิ์ บัวศรี,การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว, หน้า 17.

[4] ประยูร สุรินทร์, “การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย,” (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2544),หน้า 22.

[5] สโรชา เจริญวัย,แผ่นฉนวนความร้อนจากใยมะพร้าวและเปลือกทุเรียน, หน้า 20.

[6] ธนัญชัย ปคุณวรกิจ. “ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร,” (โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,2549),หน้า 7.

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติเชิงความร้อน เชิงกายภาพและเชิงกล ของฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้และต้นทุนวัสดุ ของวัสดุประกอบอาคารที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อควบคุมให้มีราคาถูก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาถึงแนวโน้นการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและ คุณภาพของวัสดุประกอบอาคารโดยเน้นการศึกษาเรื่องประสิทธิ์ภาพความเป็นฉนวนและทำการศึกษาเกณฑ์เบื้องต้นที่เกี่ยวข้องอื่น ได้แก่ ค่ามาตราฐานการป้องกันไฟ, ค่ามาตราฐานในการรับแรงและกันแมลง

1.3.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพ ค่าการรับแรงของวัสดุประกอบอาคาร ค่ามาตราฐานการป้องกันไฟและการป้องกันแมลง และในส่วนของการวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะจำกัดขอบเขตเฉพาะการวิเคราะห์ความคุ้มทุนเบื้องต้น ได้แก่ การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางด้านการลงทุน (Investment Cost Analysis) และผลการอนุรักษ์พลังงานจากการใช้ฉนวนกันความร้อน (Energy Saving Cost Analysis) แต่จะไม่รวมถึงการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการ ใช้งานและการดูแลรักษา (Operation and Maintenance Cost Analysis) และการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายแบบองค์รวม (Life-Cycle Cost Analysis)

1.3.3 ในการพัฒนาวัสดุประกอบอาคารต้นแบบนั้น มุ่งเน้นให้มีแนวโน้มที่จะผลิตได้จริงเพื่อตอบสนองกับความต้องการในท้องตลาดระดับล่าง ทั้งวัสดุและกระบวนการผลิต จะต้องเป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติทั้งหมดและมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ถูก ได้มาตรฐานสากล

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1.4.1 วัสดุ

1.4.1.1 ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลเอกสารทางวิชาการ (Literature review) และวิธีการผลิตวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.4.1.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเป็นวัสดุประกอบอาคาร

1.4.1.3 ศึกษากระบวนการผลิตวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.4.1.4 ศึกษาชนิดและปริมาณอัตราส่วนผสมของสารยึดติด

1.4.1.5 ออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและจัดสร้างอุปกรณ์การทดลอง

1.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

1.4.2.1 ทำการอัดขึ้นรูปวัสดุประกอบอาคาร

1.4.2.2 ทดสอบสมบัติค่าการนำความร้อน

1.4.2.3 ทดสอบสมบัติเชิงความร้อน และเชิงกายภาพ ของวัสดุประกอบอาคาร

1.4.2.4 ทดสอบคุณสมบัติการป้องกันไฟและแมลง

1.4.2.5 เปรียบเทียบสมบัติเชิงความร้อน เชิงกายภาพ และเชิงกล ของวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

1.4.3 ความคุ้มทุน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

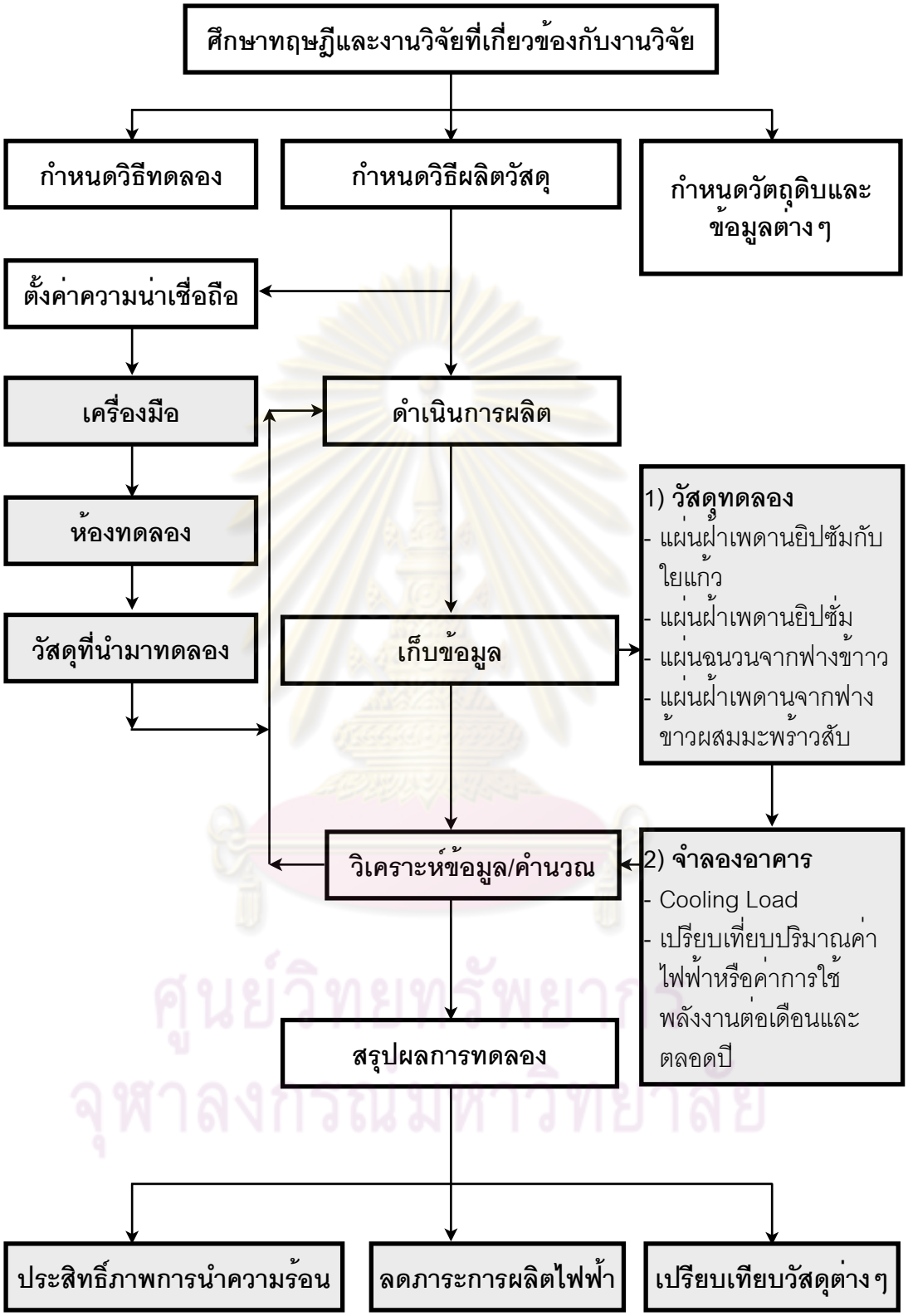
1.5.1 ได้วัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

1.5.2 เป็นการพัฒนาการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน ให้มีประสิทธิ์ภาพในเชิงความร้อน เชิงกายภาพและเชิงกล

1.5.3 เป็นการพัฒนาการผลิตวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และราคาถูกเหมาะกับท้องตลาดระดับล่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอผลการวิจัย



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงระเบียบวิธีวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้เป็นฝ้าเพดานของอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น ต้องมีการศึกษาและเข้าใจเพิ่มเติมเกี่ยวกับ ฉนวนความร้อน ประเภทของฉนวน คุณสมบัติของฉนวนความร้อน ระบบฉนวนความร้อนและการใช้งาน การยึดติดกาวและส่วนประกอบของกาว ประเภทของฝ้าเพดาน ระบบและวิธีติดตั้งของฝ้าเพดาน แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในการปรับอากาศที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร

ความร้อนที่อยู่ภายในอาคารมาจากแหล่งกำเนิดความร้อน 2 ส่วน หลัก ได้แก่ ความร้อนจากภายนอกและความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง โดยทั่วไปส่วนมากแล้ว ความร้อนรวมในอาคารจะมาจากภายนอกมากกว่าและเป็นความร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ โดยการส่งผ่านความร้อนจะมาจากตัวกลางหลายชนิดมาสู่อาคาร และความร้อนเหล่านั้นก็จะส่งผ่านทางเปลือกอาคารสู่ภายในอีกขั้นหนึ่ง ซึ่งในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนสู่อาคารจะมีการกล่าวถึงประเด็นหัวข้อที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร
- อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์
- คุณสมบัติความเป็นฉนวน
- การถ่ายเทความร้อน
- การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน
- ภาระความร้อนและระบบปรับอากาศ

2.1.1 ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร ประกอบด้วย

1) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายในอาคาร (Internal Heat Gain : Qi)

เป็นความร้อนที่อาจเกิดได้ทั้งจากคน หรือมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในอาคาร เช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้า ตู้เย็น เป็นต้น

2) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากภายนอกอาคาร (External Heat Gain)

เป็นความร้อนที่จะเกิดจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ ดังนี้

2.1) Conduction Heat Gain / Loss (Qc) :

การนำความร้อน ซึ่งอาจเกิดได้ทั้งการนำความร้อนเข้ามาภายในอาคารหรือการสูญเสียความร้อนสู่ภายนอกโดยตัวนำความร้อนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร โดยความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเสมอ

2.2) Solar Radiation (Qs) :

การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ในกรณีของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก

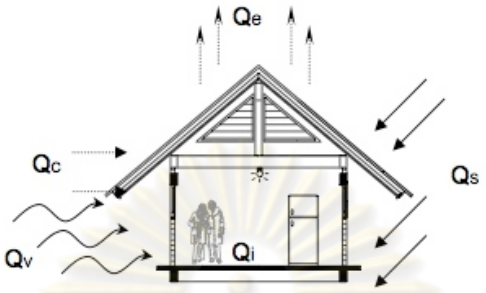
2.3) Ventilation Heat Gain / Loss (Qv) :

ความร้อนที่มาจากการระบายอากาศ จะมีลักษณะคล้ายกับการนำความร้อนแต่จะมี

ตัวกลางในการพาความร้อนมาโดยอากาศ ซึ่งจะมีความเกี่ยวข้องกับทิศทางและความเร็วของกระแสลมด้วย

2.4) Evaporative Heat Loss (Qe) :

การระเหยหรือความร้อนที่กลายเป็นไอและในขณะที่เกิดการระเหยจำเป็นจะต้องใช้พลังงาน(ความร้อน)ในการเปลี่ยนสถานะ ทำให้สามารถช่วยลดความร้อนในบริเวณนั้นได้



รูปที่ 2.1 แสดงความร้อนที่เข้าสู่อาคาร

2.1.2 **อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์**

ปัจจัยในอากาศเป็นส่วนร่วมของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันทางอุตุนิยมวิทยาซึ่งเป็นการยากที่จะแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันเพียงแค่อุณหภูมิของอากาศได้การออกแบบให้สภาวะภายในอาคารมีความสมดุลทางบรรยากาศจึงต้องวิเคราะห์ถึงความสำคัญที่เกี่ยวเนื่องกันของปัจจัยทั้งหมดในอากาศซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีส่วนร่วมในสภาวะน่าสบายดังกล่าวคือ อุณหภูมิอากาศ การแผ่รังสีความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ และกระแสลม

การเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของอุณหภูมิประจำปีรวมทั้งการเหนี่ยวนำให้เกิดการพัดของกระแสลมขึ้นอยู่กับปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ซึ่งเกิดเนื่องจากการโคจรผ่านโลกแตกต่างกันไปตามฤดูกาล ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวกับอุณหภูมิการแผ่รังสี การโคจรของดวงอาทิตย์และกระแสลม จึงเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ

<u>อุณหภูมิอากาศ</u>

ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรายวันขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้า ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส รังสีความร้อนสามารถผ่านชั้นบรรยากาศได้สะดวกกว่าวันที่ฟ้าครึ้ม ทำให้วันที่ฟ้าใสจะร้อนกว่าโดยเฉพาะในฤดูร้อนจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่าปกติ แต่วันฟ้าโปร่งในฤดูหนาวจะหนาวไม่มากนักเนื่องจากดวงอาทิตย์โคจรห่างออกไป

<u>การแผ่รังสีความร้อน</u>

ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนและแสงสว่างให้กับโลก ซึ่งรังสีความร้อนเข้ามาถึงผิวโลกประมาณ 420 Btu /ft_2 /hr หรือเท่ากับ 1.94 Cal /cm_2 /min ทั้งนี้โลกได้รับรังสีความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะเป็นมาก เนื่องจากมีบรรยากาศโลกห่อหุ้มไว้ส่วนหนึ่งของรังสีถูกดูดซึมไว้ในบรรยากาศ บางส่วนกระจายออกเพราะกระทบกับโมเลกุลของบรรยากาศ ส่วนหนึ่งพื้นดินจะรับไว้และเก็บในรูปของความร้อนและค่อยๆคายออกมาสู่อากาศผิวดินยิ่งผิวโลกที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าไรรังสีความร้อนที่ได้รับก็จะเพิ่มขึ้นตามความสูง

การถ่ายเทรังสีความร้อน

การถ่ายเทรังสีความร้อนมีอยู่หลายลักษณะตามชนิดของต้นกำเนิดและลักษณะการถ่ายเท คือ

1. คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
2. คลื่นรังสีส้นแผ่กระจาย
3. คลื่นรังสีส้นสะท้อนจากพื้นดิน และสิ่งใกล้เคียง
4. คลื่นรังสียาวจากพื้นดิน หรือสิ่งใกล้เคียงที่ร้อน
5. คลื่นรังสียาวที่อาคารแผ่กลับให้บรรยากาศ

คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์กับคลื่นรังสีแผ่กระจายรวมกันเรียกว่า คลื่นรังสีรวม หรือ การแผ่รังสีรวม (Total Radiation) ซึ่งมีความสำคัญในการพิจารณาเรื่องการได้รับความร้อนทาง ด้านต่างๆของอาคาร วิเคราะห์ในเรื่องทิศทางการวางอาคาร รูปร่างสัดส่วนของอาคารในเขต ร้อน การควบคุมอุณหภูมิของอาคาร เทคนิคการก่อสร้างอาคารในเขตร้อน เป็นต้น

การแผ่รังสีสะท้อนจากสิ่งที่อยู่ใกล้เคียง ปกติพื้นที่แนวนอนได้รับรังสีเป็น 2 เท่าของพื้นที่แนวตั้ง ในช่วงเวลาที่เกิดความร้อนวิกฤต (Overheated Period) เช่นช่วง 14.00 – 16.00 น. ฉะนั้น อาคารข้างเคียง ส่วนของอาคารหรือระดับพื้นแนวนอนที่มีผิววัสดุบางอย่างที่จะสะท้อนความ ร้อนจำนวนมากที่เข้ามาในอาคารโดยง่าย การออกแบบอาคารโดยมีดาดฟ้าคอนกรีตเสริมเหล็ก ขนาดใหญ่จะสะท้อนแสงและส่งผ่านความร้อนเข้าในห้องชั้นบน จึงควรหลีกเลี่ยงให้มาก และควร มีการวิเคราะห์ที่ตั้งโครงการให้สัมพันธ์กับทิศทางแดดลมซึ่งจะสัมพันธ์ไปถึงการวางตำ แหน่งห้องต่างๆ ของอาคารและรวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบอาคารด้วย

2.1.3 **คุณสมบัติความเป็นฉนวน**

เมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติความเป็นฉนวน หรือวัสดุที่ถือว่ามีความเป็นฉนวนที่ดีนั้น ระดับของ ความเป็นฉนวนจะต้องพิจารณาจากคุณสมบัติในทางทฤษฎี 3 ข้อหลัก ดังนี้

- ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Resistivity)
- ความสามารถในการนำความร้อน (Conductivity)
- ความจุความร้อน (Thermal Capacity)

ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Resistivity)

ค่าการต้านทานความร้อน หรือ ค่า “R-Value” จะเป็นค่าที่บอกถึงอัตราส่วนระหว่างความ หนาของวัสดุตามแนวที่ความร้อนไหลผ่านกับความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุ กรณีที่ วัตถุซ้อนกันหลายชั้น ค่าความต้านทานความร้อนรวมจะเท่ากับผลบวกของค่าความต้านทาน ความร้อนของวัสดุที่กำหนดแต่ละชั้นรวมกัน และค่าการต้านทานความร้อนจะมีความสัมพันธ์กับ ค่าการนำความร้อนแบบเป็นส่วนกลับกัน กล่าวคือ ถ้าค่าการต้านทานความร้อนสูง วัสดุนั้นก็จะมี ค่านำความร้อนต่ำค่าการต้านทานความร้อน หรือ ค่า “R-Value” สามารถหาคำนวณได้จาก

$$R = 1 / C = \Delta X / K$$

เมื่อ R = ค่าการต้านทานความร้อน (Resistivity - m^2K / Watt)
C = ค่าความจุความร้อน (Thermal Capacity - W / m^2K or J / kg.K)
X = ความหนาของชิ้นวัสดุที่นำมาพิจารณา
K = ค่าการนำความร้อน (Conductivity - W / m^2K)

การนำความร้อน (Conductivity)

การนำความร้อน หรือ ค่า “K–Value ” สามารถบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุเพียงชนิดเดียว โดยวัดค่าในรูปของอัตราปริมาณความร้อนไหลต่อหน่วยเวลาจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ไหลผ่านและหน่วยวัดอุณหภูมิวัดเป็น Wm/m^2K = W/m.K (หรือ W/m_oC) โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อน (K – Value) ของวัสดุแต่ละชนิดจะแตกต่างกันมาก เช่น ฉนวนใยแก้วมีค่า 0.03 W/m.K ของทองแดงมีค่า 384 W/m.K

แต่ในการศึกษาการถ่ายเทความร้อนของเปลือกอาคารจริง การคิดค่าการนำความร้อนของเปลือกอาคารย่อมแตกต่างกันไปตามความหนา และกลุ่มวัสดุที่ประกอบเข้ามาเป็นผนังแต่ละชั้น รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟิล์มอากาศทั้งภายนอกและภายในอาคารด้วย ในการศึกษาค่าการนำความร้อนรวมของวัสดุเปลือกอาคารจึงจำเป็นต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม หรือ ค่า U เข้ามาใช้ในการคำนวณ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวมสามารถคำนวณย้อนกลับจากค่า k ได้ดังต่อไปนี้ [1]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \frac{x_3}{k_3} + \ldots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{h_i}}$$

เมื่อ U = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนรวม มีหน่วยเป็น Btu/h-ft^2-^oF (W/m^2-K)
h_o = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศภายนอก มีหน่วยเป็น Btu/h-ft^2-^oF หรือ(W/m^2-K)
h_I = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศภายใน มีหน่วยเป็น Btu/h-ft^2-^oF หรือ (W/m^2-K)
x_n = ความหนาของวัสดุในชั้นที่ n มีหน่วยเป็น นิ้ว หรือ (เมตร)
k_n = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชั้นที่ n มีหน่วยเป็น Btu-in/h-ft^2-^oF (W/m-K)

[1] สโรชา เจริญวัย, “แผ่นฉนวนความร้อนจากใยมะพร้าวและเปลือกทุเรียน,” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2544),หน้า 16.

ความจุความร้อน (Thermal Capacity) [2]

ความจุความร้อนของสสาร จะเท่ากับผลคูณของมวลสารกับความจุความร้อนจำเพาะ ซึ่งความจุความร้อนจำเพาะของสสาร(Specific Heat Capacity) เป็นค่าที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและอุณหภูมิ เนื่องจากความจุความร้อนจำเพาะของสสารเป็นปริมาณพลังงานความร้อนที่ทำให้สสารที่มีมวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา โดยมีหน่วยวัดเป็น Cal/g-^{o}C หรือ J/kg.K หรือบางกรณีใช้เป็น Wh/kg.K ตัวอย่างค่าความจุความร้อนของวัสดุจำพวกอิฐคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 800 – 1000 J/kg.K น้ำมีค่าเท่ากับ 4176 J/kg.K และอากาศแห้งมีค่าเท่ากับ 1005 J/kg.K เป็นต้น

ค่าความจุความร้อนของวัสดุ จะไม่สามารถบอกได้โดยตรงว่าควรจะมีค่ามากหรือน้อย จึงจะดี เพราะถ้าความจุความร้อนน้อยการส่งผ่านความร้อนสู่ภายในจะมากและส่งผ่านได้เร็ว ซึ่งจะเหมาะกับส่วนที่มีการใช้งานเฉพาะกลางคืน แต่ในทางกลับกันการที่สามารถเก็บความร้อนไว้ในตัวเองได้มาก ความร้อนที่ถูกส่งผ่านต่อมายังในอาคารก็จะน้อยลงหรือส่งผ่านได้ช้าลง (Time Lag)ซึ่งเหมาะกับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะกลางวัน จะเห็นว่าการส่งผ่านความร้อนเนื่องจากค่าความจุ ความร้อนของวัสดุมีความเกี่ยวข้องกับช่วงเวลาที่จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม

2.1.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (Thermal Transfer)

เป็นค่าที่ใช้แสดงความร้อนทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งอาจเรียกอีกอย่างว่าค่า "Q" สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน , พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด และ ค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

$$Q = U.A.\triangle T$$

เมื่อ Q = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (W / m^{2o}C)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

A = พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด (m^2)

T = ค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (^{o}C)

การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร สามารถแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน เพื่อให้สะดวกต่อการกำหนดค่าคือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV)และเมื่อนำทั้งสองส่วนมารวมกันก็จะได้เป็นค่าการ ถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารทั้งหมด

---

[2] กิตติศักดิ์ บัวศรี, "การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว," (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2544),หน้า 10.

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV)

การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง คือ ส่วนของผนังอาคารทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นผนังทึบหรือผนังโปร่งแสงเช่น ช่องประตูหรือหน้าต่าง ซึ่งในปัจจุบันมีข้อกำหนดให้อาคารที่สร้างใหม่จะต้องมีค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังไม่มากกว่า45W/m^2 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง คำนวณได้จาก

เมื่อ A_1 = พื้นที่ผนังส่วนที่ 1 (m^2)

ฉะนั้น $OTTV_{รวม} = \dfrac{A_1 . OTTV_1 + A_2 . OTTV_2 + ... + A_i . OTTV_i}{A_1 + A_2 + ... + A_i}$

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) [3]

ปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารทางหลังคาจะเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับผนังโดยแปรไปกับคุณสมบัติเชิงความร้อนของวัสดุหลังคาและฝ้าเพดาน สีและความหนาแน่นของมวลหลังคา สำหรับวัสดุมุงหลังคาที่นิยมก่อสร้างกันทั่วไปในปัจจุบันจะมีค่าพลังงานความร้อนต่อตารางเมตรสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ 25 วัตต์ต่อตารางเมตร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคา คำนวณได้จาก

$$RTTV_i = U_r (1–SRR)\, Td_{eq} + U_m (SRR)T + SC.SRR.SF$$

เมื่อ A_1 = พื้นที่ของหลังคาส่วนที่ 1 (m^2)

ฉะนั้น $RTTV_{รวม} = \dfrac{A_1 . RTTV_1 + A_2 . RTTV_2 + ... + A_i . RTTV_i}{A_1 + A_2 + ... + A_i}$

โดยที่ U_W = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังส่วนทึบ ($W / m^{2o}C$)

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ผนังที่มีช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านนั้น

[3] กิตติศักดิ์ บัวศรี,การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว, หน้า 14.

$$WWR = \frac{\text{พื้นที่ช่องแสง}}{\text{พื้นที่ผนังทึบด้านนั้น}}$$

Td_{eq} = ค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมผลคูณของการดูดกลืนรังสีของผนังส่วนทึบ (^oC)

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังส่วนโปร่งแสง (W / $m^{2o}C$)

ΔT = ค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร (^oC)

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของช่องรับแสง

SF = Solar Factor ค่าตัวประกอบรังสีดวงอาทิตย์ (W / m^2)

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบ (W / $m^{2o}C$)

SRR = อัตราส่วนพื้นที่ของช่องรับแสงธรรมชาติต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนนั้น

U_m = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนโปร่งแสง (W / $m^{2o}C$)

2.1.5 การเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน[4]

ในการออกแบบหรือเลือกใช้วัสดุเพื่อการประหยัดพลังงาน ในส่วนที่เป็นเปลือกอาคารต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานภายในอาคาร ซึ่งมีผลกระทบต่อการพิจารณาเลือกใช้วัสดุในส่วนนั้นๆด้วย เพราะการควบคุมสภาวะภายในอาคารไม่ว่าจะโดยการใช้เครื่องปรับอากาศหรือใช้ระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ เป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ผู้ออกแบบจำเป็นต้องนำมาพิจารณา ซึ่งระบบควบคุมสภาวะภายในอาคาร อาจจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบหลัก คือ

1) ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

2) มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

อาคารที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ หมายถึง อาคารที่ใช้ระบบระบายอากาศโดยธรรมชาติ ไม่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคารจะมีความสัมพันธ์กับสภาวะภายนอกมาก จึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับอาคารในช่วงเวลาต่างๆเมื่อเลือกใช้วัสดุต่างชนิดกัน เพราะวัสดุผนังที่มีมวลสารแตกต่างกัน จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอาคารในแต่ละช่วงเวลา ถ้าเป็นวัสดุที่มีมวลสารมาก เช่น ผนังก่ออิฐฉาบปูนหรือผนังคอนกรีต จะทำให้อุณหภูมิภายในมีการเปลี่ยนแปลงไม่รุนแรง เมื่อเปรียบเทียบกับผนังที่มีมวลสารน้อยเพราะมวลสารของผนังจะทำหน้าที่สะสมความร้อนไว้ในช่วงเวลาหนึ่งก่อนจะกระจายสู่ภายในอาคาร เกิดการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag) ทำให้ในเวลากลางวันที่ภายนอกมีอากาศร้อนจัด แต่อุณหภูมิภายในจะไม่สูงมากนัก ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกับการที่อุณหภูมิภายใน “โบสถ์ไทยโบราณ” เย็นสบายในเวลากลางวัน ดังนั้นลักษณะของผนังหรือเปลือกอาคารที่มีความเหมาะสม กับการใช้งานในอาคาร ที่ไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศภายในอาคาร คือ

---

[4] นายณัฐภณ วัชรประทีป, “การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น,” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2550),หน้า 18.

- มีความหนาหรือมีมวลสารมาก
- สามารถป้องกันความร้อนได้ดี (มีค่าการต้านทานความร้อน R-Valueสูง)
- มีช่วงการหน่วงเวลาในการส่งผ่านความร้อนกว้าง
- ไม่ดูดซับความร้อนและความชื้น
- มีความจุความร้อน (Thermal Capacity) ต่ำ

เนื่องจากภูมิอากาศของกรุงเทพมหานครมีอุณหภูมิสูงเกือบตลอดทั้งปีทำให้เกิดปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบ คือ มีความร้อนปริมาณมากเข้ามาภายในอาคารซึ่งจากการศึกษาพบว่า การที่จะนำเอาความเย็นในช่วงเวลากลางคืนมาใช้ในช่วงเวลากลางวันโดยอาศัยการหน่วงเวลาของวัสดุนั้นทำได้ยากมาก เพราะความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนมีไม่มากพอ ฉะนั้นการลดปริมาณความร้อนให้เข้ามาภายในอาคารให้น้อยที่สุดจะเป็นการช่วยในการปรับสภาวะภายในอาคารได้ดีที่สุด

2.1.6 ภาระความร้อน (Heat Load) และระบบปรับอากาศ

ภาระความร้อนมักจะแบ่งเป็นประเภทตามสถานที่ที่ได้รับความร้อน คือ ภาระความร้อนห้อง (Room Heat Load) และภาระความร้อนอุปกรณ์ (Apparatus Heat Load) ภาระความร้อนห้อง เช่น ความร้อนสัมผัส (H_S) และความร้อนแฝง (H_L) เป็นปริมาณความร้อนที่อากาศจากเครื่องทำความเย็นได้รับเพื่อที่จะให้ได้อุณหภูมิภายในห้องตามที่ต้องการ ประกอบด้วย

- ความร้อนที่เข้ามาภายในห้องจากภายนอก
- ความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในห้อง

ภาระความร้อนอุปกรณ์ คือ ปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศได้รับเพื่อที่จะให้อากาศที่เป่าออกไปจากเครื่องมีอุณหภูมิและความชื้นตามที่กำหนด

- ภาระความร้อนห้อง
- ภาระความร้อนจากอากาศใหม่
- ภาระความร้อนจากกำลังที่ใช้ขับพัดลมและอื่นๆ
- ภาระความร้อนที่รั่วไหลเข้ามาทางท่อลมและอื่นๆ

ภาระความร้อนห้อง และภาระความร้อนอุปกรณ์ มักจะแบ่งแยกออกเป็นความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ความร้อนแฝงเป็นความร้อนของการระเหยของน้ำมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหย (kg/h) x 597.3 (kcal/kg)

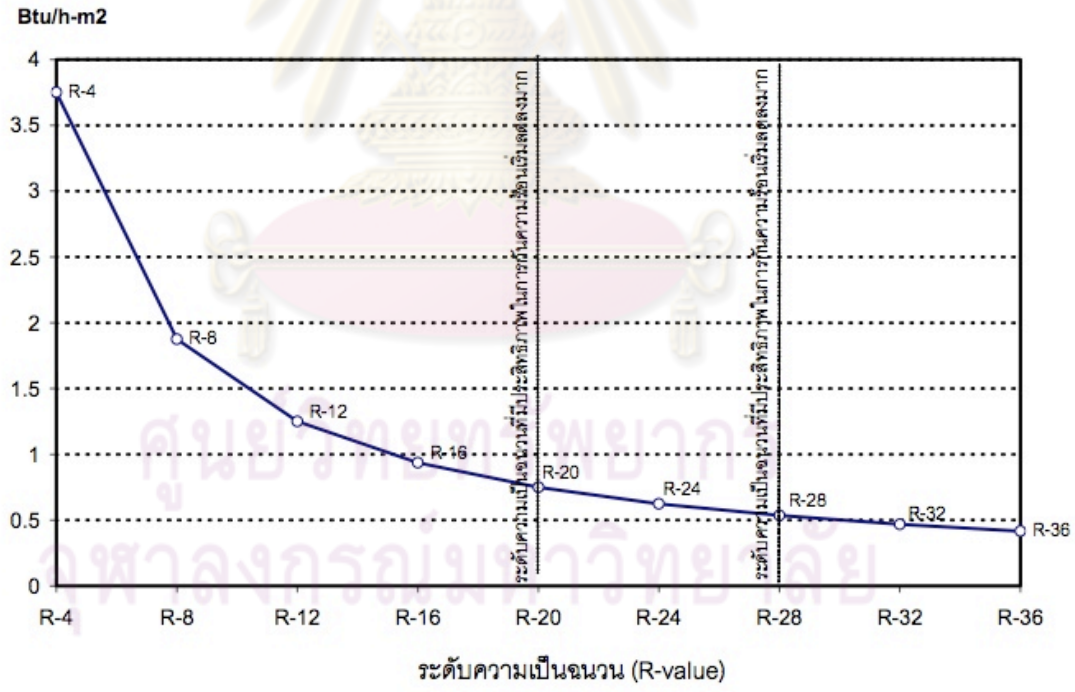
2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร

2.2.1 การป้องกันความร้อนทางหลังคา

หลังคาเป็นพื้นที่ที่มีระดับใกล้เคียงแนวนอนจึงมีผลให้มีปริมาณการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์สูง กว่าพื้นที่ในแนวระนาบตั้ง เช่น ผนังอาคาร นอกจากนี้ หลังคายังเป็นส่วนบนสุดของอาคารซึ่งทำหน้าที่ป้องกันแสงอาทิตย์ให้กับอาคารทั้งหลัง หลังคาจึงเป็นส่วนที่มีความร้อนสูงที่สุดในองค์ประกอบทั้งหมดของอาคาร หลังคาที่มีสีเข้ม เช่น สีน้ำตาลแดงหรือสีน้ำเงินเข้ม อาจมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงถึง 60 องศาเซลเซียสในช่วงที่มีแดดจัด

การป้องกันความร้อนจากหลังคาจึงเป็นจุดวิกฤตในการป้องกันความร้อนที่จะแพร่ผ่านเข้าสู่ภายในอาคารเนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอก การป้องกันความร้อนจากหลังคาที่เหมาะสมอาจทำได้โดย

- การตัดแบ่งพื้นที่ใต้หลังคาและส่วนภายในอาคารด้วยฉนวนกันความร้อน การตัดแบ่งพื้นที่ระหว่างพื้นที่ใต้หลังคาที่มีความร้อนสูง และส่วนภายในอาคารที่ต้องการ ให้มีความร้อนแพร่ผ่านเข้ามาให้น้อยที่สุด จำเป็นจะต้องใช้วัสดุฉนวนที่มีความสามารถในการกันความร้อนสูงมากสำหรับประเทศไทย และต้องมีการเลือกใช้ระบบฝ้าเพดานที่มีรอยรั่วน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการรั่วซึมจากอากาศร้อนในส่วนพื้นที่ใต้หลังคาที่อาจรั่วซึมเข้ามาภายในอาคาร ฉนวนจะทำหน้าที่ลดความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาให้แพร่เข้าสู่ภายในอาคารน้อยที่สุด ถ้าประมาณว่าขอบเขตสูงสุดของเขตสบายอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 27 องศาเซลเซียสตามแผนภูมิไบโอไคลเมติก ส่วนอุณหภูมิของพื้นที่ใต้ฝ้าเพดานอาจอยู่ที่ประมาณ 40-45 องศาเซลเซียสในช่วงที่มีความร้อนสูง (ค่าอุณหภูมิ ใต้ฝ้านี้เป็นค่าประมาณกับหลังคาประเภทมวลสาร เช่น หลังคากระเบื้องต่างๆ ค่านี้อาจสูงมากขึ้นถ้า เป็นหลังคาที่มีมวลสารน้อยและบาง เช่น หลังคาเหล็ก หลังคาสังกะสี ฯลฯ) จะพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในที่ต้องการและค่าอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานมีความแตกต่างประมาณ 13-18 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับฉนวนที่มีค่า R-value แตกต่างกันจะมีการถ่ายเทความร้อนดังนี้ [5]



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงระดับความเป็นฉนวนกับค่าความต้านทานความร้อน

[5] นายณัฐภณ วัชรประทีป,การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น, หน้า 20.

จากการศึกษาจะพบว่าความมีประสิทธิภาพจะตกลงอย่างมากตั้งแต่ช่วง R-20 ถึง R-28 และหลังจากนี้จะเป็นส่วนที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนไม่คุ้มค่ากับระดับการเพิ่มฉนวน ดังนั้นการใช้ฉนวนสำหรับหลังคาตามสมมุติฐานนี้อาจใช้ได้ตั้งแต่ระดับความเป็นฉนวนที่ R-20 ไปจนถึง R-28 สำหรับการตัดแบ่งพื้นที่ใต้หลังคาออกจากพื้นที่ภายในอาคาร

- การระบายอากาศร้อนภายใต้หลังคา การระบายอากาศร้อนที่สะสมใต้หลังคาออกไปเป็นอีกทางเลือกที่จะช่วยลดความร้อนออกจากพื้นที่ใต้หลังคาได้ อย่างไรก็ดี วิธีการดังกล่าวยังมีข้อติดขัดอยู่ที่ความสามารถในการระบายความร้อนออกจากพื้นที่ด้วยการไหลเวียนอากาศตามธรรมชาติ เนื่องจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ต้องการให้ภายในอาคารและค่าอุณหภูมิอากาศใต้หลังคาที่มีความร้อนสูงมีค่าความแตกต่างกันมาก ความเร็วลมที่จะระบายความร้อนออกไปจะมีค่าสูงมากกว่าที่จะมีอยู่ตาม สภาพแวดล้อมในธรรมชาติ การระบายอากาศร้อนเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอในการป้องกันความร้อนจากหลังคา และจำเป็นจะต้องใช้ฉนวนเข้ามาป้องกันความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาเพิ่มเติม

2.2.2 ชนิดของฝ้าเพดานที่ใช้สำหรับบ้านพักอาศัย[6]

วัสดุแผ่นเรียบนิยมใช้กันมากกับส่วนที่เป็นฝ้าเพดานภายในและภายนอกบ้าน ฝ้า ชายคา รวมไปถึงเพดานโรงรถ ลักษณะเป็นแผ่นแข็งขนาดใหญ่ ผิวเรียบ เมื่อก่อนรู้จักและใช้ฝ้าเพดานแผ่นเรียบที่เรียกว่า กระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ แต่เนื่องจากสารใยหินมีผลกระทบต่อร่างกาย วัสดุแผ่นเรียบในปัจจุบัน จึงหันไปใช้วัตถุดิบประเภทเยื่อไม้หรือเส้นใยเซลลูโลสจากพืชมาใช้ในการผลิตแทน มีคุณสมบัติทนต่อความร้อน ความชื้น ไม่โก่งงอ ไม่ติดไป ปลวก มอดไม่กิน ติดตั้งง่าย มีราคาถูก เช่น แผ่นไม้อัดอเนกประสงค์ วีว่าบอร์ด แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด อีเทอร์แพน คอนวูดบอร์ด ทีซีเอส รวมไปถึงแผ่นไฟเบอรีซีเมนต์ เฌอร่า เป็นต้น

2.2.2.1 แผ่นยิปซัมบอร์ด (Gypsum board)

แผ่นยิปซัมบอร์ดนิยมใช้กันมากเช่นกัน ใช้ได้ทั้งเป็นฝ้าเพดานภายนอกและภายในบ้าน มีส่วนผสมของผงยิปซัมซึ่งเป็นฉนวนกันร้อนที่ดี ทนไฟและป้องกันเสียงได้ สามารถตกแต่งและปิดรอยต่อได้เรียบเนียน สวยงาม โดยประเภทของยิปซัมบอร์ดแบ่งออกได้เป็น ยิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดาใช้สำหรับติดตั้งฝ้าเพดานภายในบ้านทั่วไปใช้ชนิดความหนา 9 มิลลิเมตร ยิปซัมบอร์ดชนิดทนความชื้น เพิ่มคุณสมบัติในการทนความชื้นโดยผสมสารป้องกันการดูดความชื้นเข้าไปในเนื้อยิปซัม ใช้สำหรับงานฝ้าเพดานห้องน้ำ ในครัว รวมไปถึงพื้นที่ภายนอก เช่นส่วนเฉลียงบ้าน เป็นต้น ยิปซัมบอร์ดชนิดทนความร้อนเป็นยิปซัมที่ติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยด์ไว้ด้านหลังเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันการส่งผ่านความร้อนซึ่งสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ถึง 95 % เหมาะสำหรับติดตั้งในห้องที่ติดกับหลังคาหรือห้องใต้ชั้นดาดฟ้า ยิปซัมบอร์ดชนิดทนไฟ มีการเสริมความแข็งแรงโดยการเพิ่มส่วนผสมของเส้นใยชนิดพิเศษ ออกแบบให้ทนไฟได้นาน 1-4ชั่วโมง มักใช้ในส่วนห้องครัว ทางหนีไฟ หรือใช้กับบ้านโครงสร้างเหล็ก แผ่นยิปซัมลดเสียงสะท้อน มีการฉลุลวดลายต่างๆลงที่ตัวแผ่นทั้งรูวงกลม รูสี่เหลี่ยมและลายเส้น บุด้วยแผ่นกลาซ แมท (Glass Matt) ด้านหลัง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง ลดเสียงสะท้อนและเสียงก้องได้เป็นอย่างดี ใช้กับห้องโฮมเธียเตอร์ ห้องประชุม หรือห้องทำงาน เป็นต้น

---

[6] ธนัญชัย ปคุณวรกิจ. “ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร,” (โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,2549),หน้า 12-14.

การติดตั้งแผ่นยิปซัมบอร์ดสำหรับใช้เป็นฝ้าเพดาน

มีทั้งยึดกับโครงเคร่าโลหะแบบไร้รอยต่อระหว่างแผ่น (ฉาบรอยต่อให้เรียบแล้วทาสี)ซึ่งทำให้ฝ้าเพดานดูเรียบสวยเป็นผืนเดียวกันและแบบชนิดแยกเป็นแผ่นวางบนโครงเคร่าแบบแขวนหรือที่เรียกว่า ฝ้าที- บาร์ ซึ่งสะดวกในการประกอบใส่และถอดออก ฝ้าแบบที- บาร์ มักไม่นิยมใช้ภายในบ้านพักอาศัย เพราะมีเส้นสายของโครงเคร่าแลดูไม่สวยงาม อาจพบมีการใช้ในส่วนของห้องหรือบริเวณที่ต้องการเปิดขึ้นไปตรวจดูความเรียบร้อยเหนือฝ้าเพดานเช่น ห้องน้ำ-ห้องส้วม หรือห้องควบคุมไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.2.2 ฝ้าระแนงไม้จริง

ฝ้าระแนงไม้จริงใช้กับพื้นที่ภายนอกบ้านที่ต้องการความสวยงามสีสันเป็นธรรมชาติ โดยใช้ระแนงไม้ขนาดหน้ากว้างประมาณ 2-4นิ้วนำมาเรียงต่อกัน เว้นช่องห่างประมาณ 5-8 มิลลิเมตร เพื่อใช้ระบายอากาศ หรืออาจเรียงชิดกันโดยวิธีเข้าลิ้นรางเซาะร่องให้ดูเรียบร้อยสวยงามก็ได้ แต่ควรใช้ระแนงไม้ที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 3/4 นิ้ว เพื่อป้องกันการบิดตัวแยกออกจากกัน อย่างไรก็ตาม การนำไม้ระแนงมาใช้เป็นฝ้าเพดานในส่วนของชายคาบ้านซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสะสมความร้อนจากหลังคามาก ทำให้ไม้เกิดการโก่งงอหรือบิดได้ จึงควรมีการเว้นร่องระบายอากาศระหว่างแผ่น หรือหากยึดแบบเข้าลิ้นรางก็ควรเจาะช่องระบายอากาศที่ฝ้าชายคาไม้เป็นระยะๆ ไว้ด้วยเสมอ ทั้งนี้ร่องระบายอากาศดังกล่าวควรติดมุ้งลวดตาข่ายกันแมลงไว้ด้านในด้วย เพื่อไม่ให้สัตว์และแมลงต่างๆ เข้าไปอยู่อาศัย อันเป็นต้นเหตุของการสะสมสิ่งสกปรกและเชื้อโรคต่างๆ

2.2.2.3 ฝ้าเพดานอลูมิเนียม

ฝ้าเพดานอลูมิเนียม มีลักษณะการยึดติดโดยนำเอาชิ้นส่วนอลูมิเนียมสำเร็จรูปมาวางเรียงต่อกันคล้ายกับฝ้าเพดานไม้หรือแบบแผงเหมือนฝ้าที-บาร์ ยึดโดยเคร่าอลูมิเนียม เนื่องจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีขนาดที่เป็นมาตรฐานทำให้การยึดติดดูเรียบร้อย เลือกสีได้ตามต้องการ อายุการใช้งานยาวนาน ใช้ได้ทั้งภายนอกและภายใน ไม่ติดไฟแต่ไม่ทนความร้อน แม้จะได้งานเรียบร้อยแต่แลดูแข็งกระด้างจึงไม่พบว่ามีการใช้กับบ้านพักอาศัยเท่าใดนัก

2.2.2.4 ฝ้าระแนงไวนิล

ฝ้าระแนงไวนิลเกิดจากการพัฒนาวัสดุประเภทพีวีซีคุณภาพสูง(ชนิดเดียวกับที่ใช้ทำประตูหน้าต่างไวนิล) นำมาขึ้นรูปทำเป็นแผ่นคล้ายกับฝ้าชนิดอลูมิเนียม ใช้เป็นฝ้าระแนงในส่วนของชายคา มีความทนทาน สีไม่ซีดจาง ไม่บิดงอ แลดูเรียบร้อยสวยงาม แต่มีราคาสูงกว่าฝ้าชนิดอื่นๆ ยี่ห้อที่พบในท้องตลาด เช่น ฝ้าระแนงไวนิล Amigo เป็นต้น

2.2.2.5 ฝ้าระแนงไม้เทียม

ฝ้าระแนงไม้เทียม เป็นฝ้าเพดานที่มีกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับวัสดุแผ่นเรียบ เพียงแต่นำมาประยุกต์รูปแบบทำลวดลายและขนาดให้เหมือนระแนงไม้จริง โดยแก้ปัญหาเรื่องการบิดงอของไม้ ปลวกไม่กิน ไม่ติดไฟ ติดตั้งง่ายและประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้มาก ฝ้าระแนงไม้เทียมที่พบมากและนิยมใช้กันในปัจจุบัน เช่น ฝ้าระแนงไม้เฌอร่าที่มีทั้งผิวเรียบและแบบลวดลาย,ไม้ระแนงคอนวูด มีทั้งแบบตัดชิ้นหน้ากว้าง 3" และชนิดแผ่นเซาะร่อง ขนาด 4x8 ฟุต,ไม้ระแนงตราช้างขนาดหน้ากว้าง 3" และแผ่นฝ้าตราช้างที่ออกแบบชนิดแผ่นใหญ่ขนาด60x60,60x120 และ120x240 เซนติเมตร มีทั้งแบบลายไม้ , ลายไม้ระบายอากาศ,และรุ่นแคปซูลระบายอากาศ โดยมีรูปแบบเฉพาะไม่เหมือนใคร เป็นต้น

การติดตั้ง

ฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดที่ติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องเรียบได้ระดับ และมีความสูงของฝ้าเพดานตามระบุไว้ในรูปแบบ การตัดแผ่นยิปซั่มให้ทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

การติดตั้งแผ่นยิปซั่มฟอยล์บอร์ด ให้ติดด้านที่เป็นฟอยล์ขึ้นด้านหลังคาและรอยต่อของฝ้าเพดานให้ฉาบรอยต่อโดยช่างผู้ชำนาญงานโดยเฉพาะ ใช้อุปกรณ์ฉาบปูน เช่นปูนปลาสเตอร์ และเทปของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งจะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตทุกประการ

2.3 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับฉนวนความร้อน[7]

2.3.1ความหมายของฉนวนความร้อน

ฉนวนความร้อน หมายถึง วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของวัสดุใด ๆ หรือการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) ระหว่างวัตถุสามารถเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของวัตถุทั้งสองมีความแตกต่างกันการนำความร้อนเป็นกระบวนการ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอะตอมในกรณีของโลหะการนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ การสั่นของโมเลกุลข้างเคียงคิดว่าจะเป็นสาเหตุให้เกิดการนำความร้อน ส่วนในก๊าซการนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นระหว่างโมเลกุล จากการทดลองพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนตรงกับผลต่างของอุณหภูมิคร่อมผิววัตถุ (ด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำ) และพื้นที่ผิวที่ความร้อนไหลผ่าน (ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน) แต่จะเป็นสัดส่วนกลับกับความหนาของวัตถุนั้นการนำความร้อนของแผ่นราบ และสามารถคำนวนได้ โดยใช้สมการ

$$Q = \frac{K.A\,(T_1-T_2)}{X}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่านเทต่อ 1 วินาที มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

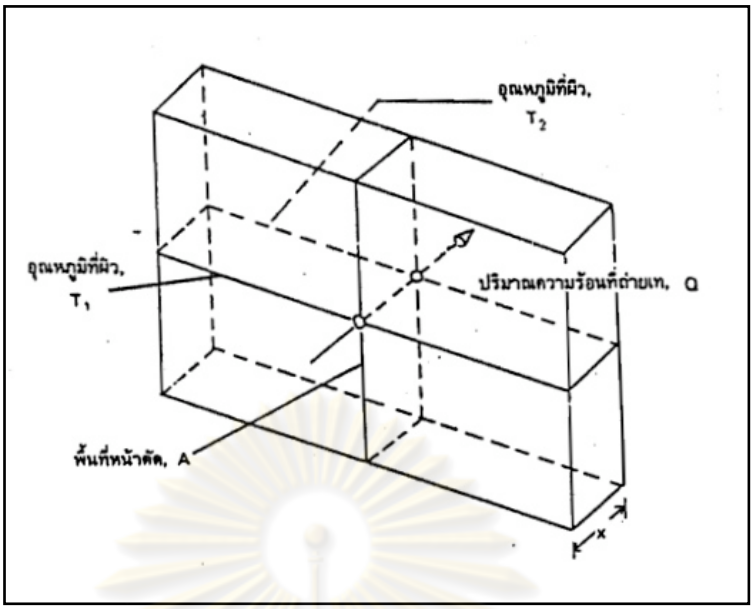
K คือ สภาพการนำความร้อน มีหน่วยเป็น วัตต์/เมตรต่อองศาเคลวิล(W/m.K)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

T_1, T_2 คือ อุณหภูมิสูงและต่ำที่ผิวแต่ละด้านตามลำดับ มีหน่วยเป็น องศาเคลวิล(K)

X คือ ความหนาของแผ่นราบมีหน่วยเป็น เมตร (m)

[7] กิตติศักดิ์ บัวศรี,การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว, หน้า 17-22.



รูปที่ 2.3 การนำความร้อนผ่านแผ่นราบ

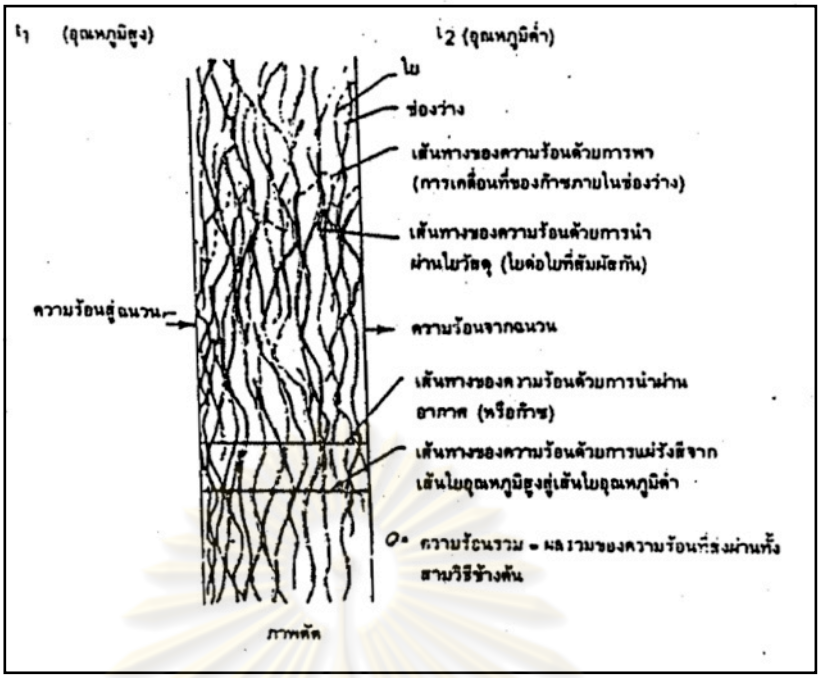
2.3.1.1 ฉนวนความร้อนสำหรับอาคารสิ่งก่อสร้าง

ฉนวนความร้อนนับว่าเป็นส่วนที่จำเป็นในอาคารสิ่งก่อสร้างสมัยใหม่ โดยจะทำหน้าที่หลายอย่างด้วยกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อราคาค่าก่อสร้าง และค่าใช้จ่ายในระหว่างใช้งานด้วย ในที่นี้ความจำเป็นของฉนวนไม่เพียงแต่กับพื้นห้อง ผนัง และเพดานของตัวอาคาร แต่จะรวมถึงระบบเชิงกลในอาคารด้วย อย่างเช่น ระบบทำความเย็น และระบบปรับอากาศ โดยปกติแล้วฉนวนความร้อนนับเป็นโครงสร้างเดียวเท่านั้นที่สถาปนิกส่วนใหญ่มักละเลย ไม่ตระหนักถึงความสำคัญของฉนวนความร้อนว่าจะเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้การใช้งานอาคารสิ่งก่อสร้างนั้นๆมีการประหยัดพลังงาน

การใช้งานฉนวนความร้อนที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมกับพื้นห้อง ผนังและหลังคา โดยทั่วไปสามารถลดภาระความร้อนและความเย็น ซึ่งมีผลลดขนาดอุปกรณ์ทำความร้อนหรือความเย็น จากการที่ฉนวนความร้อนช่วยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในสภาวะที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก จึงทำให้ผู้อยู่อาศัยในอาคาร มีความสะดวกสบายมากกว่าด้วย

2.3.1.2 การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน

การติดตั้งฉนวนความร้อน คือ การเก็บรักษาพลังงานไม่ให้มีการถ่ายเทออกไปหรือเข้ามาภายในบริเวณที่ต้องการ คือฉนวนความร้อนต้องยับยั้งหรือขัดขวางการถ่ายเทความร้อนให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นทั้งสามรูปแบบฉนวนโดยส่วนใหญ่มีลักษณะรูปร่างเป็นของแข็ง และคาดว่าฉนวนจะถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน ความเป็นจริงกลไกการถ่ายเทความร้อนในฉนวนไม่ได้เกิดขึ้น เฉพาะการนำความร้อนเท่านั้น การพาความร้อนและการแผ่รังสีก็เกิดขึ้นด้วย จึงมักใช้คำว่า สภาพการนำความร้อนปรากฏ (apparent thermal conductivity)



รูปที่ 2.4 รูปแบบการไหลของความร้อนผ่านมวลของฉนวน

พิจารณากลไกการถ่ายเทความร้อนภายในฉนวนดังรูปที่ 2.4 จากรูปผิวทางด้านซ้ายมือของฉนวนมีอุณหภูมิสูงกว่าผิวทางด้านขวามือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีความร้อนไหลผ่านทางขวามือไปทางซ้ายมือ ซึ่งความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่บรรจุเต็มไปด้วยช่องอากาศหรือก๊าซจากการฟอร์มตัวขึ้นตามสภาพเส้นใย หรือเซลล์ของวัสดุฉนวนจะมีอัตราการไหลที่ช้าลงโดยช่องอากาศหรือก๊าซเหล่านี้หาก มีขนาดที่เล็กอย่างพอเหมาะจะทำให้การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาจากด้านหนึ่งของเซลล์สู่อีกด้านหนึ่งมีปริมาณน้อยลง และทำให้เส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านส่วนที่เป็นของแข็งต้องเป็นเส้นทางที่ยาวและคดเคี้ยวเพื่อกำจัดการนำความร้อน

2.3.2 ประเภทของฉนวนความร้อน[8]

การจำแนกประเภทของฉนวนความร้อนสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้หรือกำหนดขึ้น เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปอ้างอิง วิธีการแบ่งฉนวนความร้อน (Thermal Insulation) ออกเป็น 2 ปรเภทใหญ่ๆ คือ 1) ฉนวนมวลสาร 2) ฉนวนสะท้อนความร้อน นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของฉนวนตามชนิดของวัสดุพื้นฐาน (basic materials) ที่ใช้ในการผลิตได้ 4 ประเภท ดังนี้

2.3.2.1 วัสดุประเภทใยแร่ (Mineral fibrous material) เช่น ใยหิน (rock wool) ขี้โลหะที่ได้จากการถลุงโลหะ (Slag) ใยแก้ว (glass fiber or glass wool)

2.3.2.2 วัสดุประเภทเส้นใยธรรมชาติ (Organic fibrous material) เช่น ไม้(wood) ชานอ้อย (cane) ฝ้าย (cotton) ขนสัตว์ (hair) เส้นใยเซลลูโลส (cellulose) ใยสังเคราะห์ (synthetic fiber)

---

[8] นายณัฐภณ วัชรประทีป,การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น, หน้า 24.

2.3.2.3 วัสดุประเภทเซลล์ธรรมชาติ (Organic cellular material) เช่น ไม้ก๊อก โฟมยาง พอลีสไตรีน พอลียูรีเทน

2.3.2.4 วัสดุประเภทเซลล์แร่ (Mineral cellular material) เช่น แคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate) เพอร์ไลท์ (perlite) เวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) โฟมคอนกรีต (foamed concrete)

2.3.3 **สมบัติความเป็นฉนวนความร้อน**[9]

การเลือกใช้งานฉนวนให้เหมาะสมกับงาน ควรเลือกใช้ตามลักษณะสมบัติ (characteristics) ที่สำคัญของส่วนประกอบหลักที่เป็นวัสดุสำหรับทำหน้าที่กันความร้อน โดยแบ่งฉนวนความร้อนออกได้เป็น 6 ชนิด

2.3.3.1 ชนิดพื้นฐานสมบัติ

ชนิดพื้นฐานสมบัติของฉนวนความร้อนหาได้จากองค์ประกอบของฉนวนเป็นหลัก อย่างไรก็ตามในการประยุกต์ใช้งานจะเป็นการผสมผสานกันของฉนวนเข้าด้วยกันดังนี้

(1) ชนิดฉนวนชั้นอากาศหรือฟิล์มอากาศ ประกอบเป็นพื้นผิวเดียวอย่างง่ายหรืออาจเป็นผิวพื้นหลายๆชั้น ซึ่งมีอากาศอยู่ระหว่างชั้นของพื้นผิว ความต้านทานความร้อนจะเกิดจากชั้นของพื้นผิวเอง และชั้นของอากาศเองในลักษณะการนำความร้อน หรือพาความร้อนคร่อมระหว่างชั้นอากาศ

(2) ชนิดวัสดุฉนวนแบบเส้นใย (Fibrous material) ประกอบด้วย เส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆจำนวนมาก วัสดุเส้นใยเหล่านี้อาจเป็นสารอินทรีย์ เช่น เส้นใยของพืชต่างๆหรือเป็นเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยแร่ ใยขี้โลหะ ใยอะลูมินาซิลิกา ใยแร่ใยหิน ใยคาร์บอน เป็นต้น

(3) ชนิดวัสดุฉนวนแบบช่องหรือเซลล์ (Cellular material) ประกอบด้วยเซลล์เล็กๆที่ผนังของเซลล์แต่ละเซลล์จะผนึกติดกัน ผลิตจากวัสดุจำพวกแก้ว พลาสติก หรือยาง ตัวอย่างของฉนวนพวกนี้ได้แก่ โฟมชนิดยืดหยุ่น โฟมพอลิสไตรีน โฟมพอลิยูรีเทน เป็นต้น

(4) ชนิดวัสดุฉนวนแบบเป็นโพรงหรือช่องว่าง (Granule) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นโพรง หรือกลวง โพรงเหล่านี้ติดต่อระหว่างกันและกันได้ จึงทำให้แตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้อาจเป็น แมกนีเซียม แคลเซียม ซิลิเกต ดังนั้นความร้อนจึงสามารถถ่ายเทผ่านโพรงอากาศนี้ได้

(5) ชนิดวัสดุฉนวนแบบเป็นเกล็ดหรือแผ่นเล็กๆ (Flake) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กอนุภาคเหล่านี้อาจถูกเทเข้าไปในโพรงอากาศ หรือทำให้เกาะตัวกันเข้าเป็นรูปทรงฉนวนที่แข็งลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด ฉนวนแบบเกล็ดที่รู้จักกันทั่วไป ได้แก่ เพอร์ไลท์(perlite)และเวอร์มิคูไลท์ (permiculite)

(6) ชนิดวัสดุฉนวนแบบเป็นแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี (Sheet) ทำจากวัสดุที่มีสภาพการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือมีสภาพการแผ่รังสีต่ำ การใช้งานฉนวนแบบแผ่นบางนี้ ส่วนใหญ่จะใช้วัสดุหลายชนิดประกอบกันเป็นระบบมากกว่าใช้วัสดุเพียงชนิดเดียว การใช้งานฉนวนแบแผ่นที่มีประสิทธิภาพจะต้องใช้ร่วมกับฉนวนแบบที่มีช่องว่างอากาศที่มีสภาวะอากาศอยู่นิ่ง เพื่อลดการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนและการพาความร้อน

---

[9] นายณัฐภณ วัชรประทีป,การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น, หน้า 26.

2.3.3.2 การเปรียบเทียบวัสดุฉนวน

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดของวัสดุฉนวน[10]

วัสดุฉนวน	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อจำกัด
-ใยแก้ว	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ราคาต่ำในรูปของเส้นใยอัดแผ่นแบบคลุม แบบลูสฟิลล์ สำหรับฉนวนหุ้มท่อ -ไม่เป็นพิษและการดูซึมน้ำต่ำ มีเสถียรภาพดี	-วัตถุฉาบใยอัดแผ่นอาจติดไฟและตัวประสานอาจลุกไหม้ -สมรรถนะทางความร้อนถ้าไม่ใช้เปลือกหุ้มกันแทรกซึมของอากาศ -มีราคาปานกลางถึงสูงในรูปแบบแผ่นแข็ง	-ต้องการเปลือกหุ้มกั้นไอน้ำเนื่องจากการซึมผ่านของไอน้ำสูง -ใช้ตัวประสานหรือวัตถุสำหรับฉาบจำกัด -อุณหภูมิเพียงปานกลาง
-พอลีสไตรีนโฟม	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -อาจใช้ตัวผนึกและการดูดซึมน้ำต่ำ -เสถียรภาพไม่เป็นพิษ	-ราคาปานกลาง -ติดไฟ -อุณหภูมิใช้งานต่ำ	-อุณหภูมิใช้งานสูงสุดจำกัดเพียง 82 องศาเซลเซียส
-พอลียูรีเทน/พอลิไอโซไซยานูเรตโฟม	-สภาพการนำความร้อนต่ำสุด -ใช้เป็นตัวผนึกและกันซึมได้ -การดูดซึมน้ำต่ำ	-ราคาปานกลางถึงสูง -ต้องการเปลือกหุ้มกันไฟเมื่อติดตั้งในอาคารบังคับ	-ต้องการอุปกรณ์บรรจุทางกายภาพ
-ฟีโนลิคโฟม	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ไม่ติดไฟและการดูดซึมน้ำต่ำ -มีราคาต่ำ	-ไวต่อแสงอุตราไวโอเลต -การซึมของน้ำสูง	-อุณหภูมิใช้งานสูงสุดจำกัดเพียง 135 องศาเซลเซียส

[10] นายณัฐภณ วัชรประทีป,การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุผนังเม็ดโฟมคอนกรีตมาประยุกต์ใช้เป็นเปลือกอาคารสำหรับบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น, หน้า 29-35.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียและข้อจำกัดของวัสดุฉนวน(ต่อ)[10]

วัสดุฉนวน	ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อจำกัด
- ใยเซลลูโลส	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ราคาต่ำถึงปานกลาง และไม่เป็นพิษ	-ติดไฟได้แต่ความสามารถในการสันดาปลดลงเมื่อใช้สารหน่วงไฟไหม้ -สภาพการซึมเข้าไปได้ของน้ำสูง -อาจยุบตัวตามอายุ	-สารหน่วงไฟไหม้ที่ใช้อาจเกิดการกัดกร่อนเหล็กกล้า อลูมิเนียม และทองแดง -ไม่เหมาะกับการใช้งานในอาคารสาธารณะ
-โฟมแบบยืดหยุ่น(ยาง)	-สภาพการนำความร้อนต่ำ -ราคาต่ำ ติดตั้งและผนึกง่าย -การซึมเข้าไปของไอน้ำต่ำ -เสถียรภาพและไม่เป็นพิษ	-ติดไฟได้และระดับการเกิดควันสูงเมื่อลุกไหม้ -ไวต่อแสงอุตราไวโอเลต	-อุณหภูมิใช้งานสูงสุดจำกัดเพียง 105องศาเซลเซียส -เป็นวัสดุติดไฟมีข้อบังคับใช้งานภายในอาคาร
-เซลลูลาร์กลาส	-ไม่ติดไฟและความชื้นไม่สามารถแทรกซึมได้ -ทนแรงกดได้สูงและไม่เป็นพิษเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูง	-สภาพการนำความร้อนปานกลางและมีราคาแพง	-เกิดวัฏจักรแข็งตัวแล้วละลายของน้ำที่มีอยู่ในช่องฉนวน

2.3.3.3 สมบัติทางกายภาพ ความร้อนของวัสดุ และฉนวนอาคาร

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพ ความร้อนวัสดุ และฉนวนอาคาร

ประเภทวัสดุ	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
แผ่นยิมซัมบอร์ด	801	0.16
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นต่ำ	593	0.08
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง	801	0.14
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นสูง	1001	0.17
แผ่นชิ้นไม้อัดใช้รองรับ	641	0.31
ไม้อัด	545	0.14
แผ่นหุ้มความหนาแน่นปานกลาง	352	0.06
แผ่นหุ้มความหนาแน่นปกติ	288	0.05
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นสูงภายใต้อุณหภูมิใช้งาน	881	0.12
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นสูงภายใต้อุณหภูมิมาตรฐาน	1009	0.14
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นปานกลาง	801	0.09

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.4 ระบบฉนวนความร้อนและการใช้งาน

ระบบฉนวนความร้อนและการใช้งานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ คือ ระบบฉนวน อาคาร ระบบฉนวนอุปกรณ์เชิงกล และระบบฉนวนในการประยุกต์ใช้งาน มีดังนี้

2.3.4.1 ระบบฉนวนอาคาร (Building systems) คือ ระบบฉนวนที่ติดตั้งภายในหรืออาคารที่ปิดมิดชิด ประกอบด้วย ฉนวนที่ใช้งานกับผนัง เพดาน หลังคา พื้น และฐานรากอาคาร ความร้อนที่สูญเสียหรือได้รับมาผ่านอาคาร โดยปกติมีการนำความร้อนมากกว่าตัวอาคารที่หุ้มฉนวนเอง และฉนวนที่หุ้มอาจจัดวางระหว่างชิ้นส่วนโครงสร้าง หรือผิวด้านในหรือด้านนอกของชิ้นส่วนเหล่านี้

2.3.4.2 ระบบอุปกรณ์เชิงกล (Machanical systems) คือ ระบบฉนวนที่ใช้งานกับระบบท่อปรับอากาศทั้งการทำความเย็นและความร้อน ระบบท่อน้ำเย็น และน้ำร้อน ถังเก็บภาชนะต่างๆ และอุปกรณ์ทางกลอื่นๆ และระบบฉนวนจะยึดหลักพื้นฐานที่อุณหภูมิการใช้งานฉนวนที่เหมาะสมกับงานที่ใช้หุ้มหรือบุในแต่ละลักษณะงาน เนื่องจากความสามารถในการใช้งานฉนวนแต่ละชนิดมีข้อจำกัดโดยทั่วไปที่อุณหภูมิสูงสุดหรือต่ำสุดตามสภาพของฉนวน ซึ่งหากใช้งานเกินข้อจำกัดของอุณหภูมิ โครงสร้างฉนวนจะไม่เสถียรหรือไม่มีสภาพเป็นฉนวนอีกต่อไป

2.3.4.3 ระบบฉนวนในการประยุกต์ใช้งาน คือ เป็นระบบที่นอกเหนือจากระบบทั้งสองที่กล่าวข้างต้นอันได้แก่ สิ่งอำนวยความสะดวกในการเก็บรักษา ความเย็น ห้องปรับสภาพแวดล้อม และงานเรือ เป็นต้น

2.3.5 การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร

ในการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การเลือกใช้วัสดุที่สามารถกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร สิ่งที่จะต้องทราบและทำความเข้าใจในเบื้องต้นสำหรับการเลือกใช้ฉนวน คือ วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถกำหนดเกณฑ์ เบื้องต้นของสมบัติฉนวนที่ต้องการได้ การเลือกใช้ฉนวนมีข้อพิจารณาดังนี้

2.3.5.1 รูปแบบทางกายภาพ (Physical forms)

รูปแบบทางกายภาพของฉนวนมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้งานได้ตามต้องการ เช่น ฉนวนแบบคลุม แบบแผ่น แบบพ่น แบบฉีด เป็นต้น การเลือกใช้ฉนวนจะต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งานและตำแหน่งที่ติดตั้ง และยังต้องพิจารณาปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย ความแข็งแรงคงทนร่วมด้วย

2.3.5.2 ความหนาแน่นและความจุความร้อน (Bulk density and Heat capacity)

ความหนาแน่นและความจุความร้อน เป็นสมบัติซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ฉนวนที่มีคุณภาพดีจะมีค่าความหนาแน่นและค่าความจุความร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น ซึ่งฉนวนแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันออกไป ในทางปฏิบัติจะได้จากผู้ผลิต

2.3.5.3 อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม (Suitability for service temperature)

อุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม เป็นข้อพิจารณาที่สำคัญในการเลือกใช้ฉนวน เนื่องจากฉนวนแต่ละชนิดจะมีข้อจำกัดด้านอุณหภูมิในการใช้งานที่แตกต่างกัน หากเลือกใช้ไม่เหมาะสมอาจเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวนได้ การแบ่งระดับของอุณหภูมิในการใช้งานของฉนวน ทำได้ดังนี้ 1) ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -270 ถึง 100 องศาเซลเซียส ได้แก่ กลาสโฟม (Glass foam) เซลลูโลส (cellulose foam) เป็นต้น 2) ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 100 ถึง 500 องศาเซลเซียส ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกต กลาสโฟม ใยแร่ ฟอยล์ เป็นต้น

3)ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 500 องศาเซลเซียส ได้แก่ ฉนวนสารพวกอนินทรีย์ประเภทคาร์บอนหรือโลหะ เช่น ฟอยล์ เซรามิก(ceramics foam) ใยเซรามิก (ceramics fiber) ใยคาร์บอน (carbon fiber) เป็นต้น

2.3.5.4 การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal expansion)

การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนของฉนวนอาจทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเลือกใช้ฉนวนจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ซึ่งอาจพิจารณาได้จากอุณหภูมิของการใช้งานที่เหมาะสม โดยเลือกใช้ฉนวนที่มีอุณหภูมิใช้งานตรงตามความต้องการ เพื่อให้การใช้งานฉนวนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนาน

2.3.5.5 ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Thermal resistivity)

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฉนวนดูได้จากค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance, R-Value) โดยฉนวนที่มีค่าความต้านทานความร้อนสูงจะกันความร้อนได้ดี ตัวอย่างฉนวนที่กันความร้อนได้ดีมาก เช่น โฟมพอลียูรีเทนและโฟมพอลีสไตรีน แต่ในการเลือกใช้ฉนวนเพื่อกันความร้อนสำหรับอาคารจะต้องพิจารณาสมบัติอื่นๆ ในการใช้งานร่วมด้วย

2.3.5.6 ความต้านทานต่อความชื้น (Resistance to water penetration)

ความต้านทานต่อความชื้น ของการใช้ฉนวนสำหรับอาคารโดยเฉพาะอาคารที่มีการปรับอากาศ เพราะหากเกิดความชื้นในฉนวนจะทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพหรือสูญเสียสมบัติความเป็นฉนวนไป การใช้ฉนวนที่เหมาะสมสำหรับอาคาร จึงสามารถช่วยป้องกันความชื้นให้กับอาคารได้ด้วย หากฉนวนที่ใช้ไม่มีการกันความชื้น ควรป้องกันความชื้นให้กับฉนวน โดยการใช้วัสดุสำหรับกันความชื้น เช่น แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นพอลิเอทีลีน แผ่นพีวีซี เป็นต้น ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดมีสมบัติกันความชื้นได้แตกต่างกัน

2.3.5.7 ความต้านทานต่อแรงอัด (Resistance to compaction)

ความต้านทานต่อแรงอัด เป็นสมบัติที่ใช้สำหรับพิจารณาเลือกใช้ฉนวนเพื่อให้เกิดความคงทนแข็งแรง และมีอายุการใช้งานยาวนาน โดยเฉพาะฉนวน ในส่วนที่ต้องรับแรงอัดสูง เช่น ฉนวนพื้น ฉนวนที่ขอบประตู หน้าต่าง ฉนวนท่อและอุปกรณ์ เป็นต้น ฉนวนที่ต้องรับแรงอัดสูงอาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย ดังนั้นการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงความต้านทานต่อแรงอัดด้วย ฉนวนที่มีสมบัติต้านทานต่อแรงอัดสูงได้แก่ ฉนวนประเภทโฟม และพอลิเมอร์บางชนิด เป็นต้น

2.3.5.8 ความแข็งแรงทางกล (Machanical strength)

ความแข็งแรงทางกลของฉนวน หมายถึง ความสามารถของฉนวนในการทนทานต่อแรงต่างๆ หลายรูปแบบ คือ การรับน้ำหนักและแรงอัด ความต้านทานต่อแรงดึงและแรงเฉือน ทนต่อการกระแทกและการสั่นสะเทือน ทนต่อแรงบิด ความสามารถของฉนวนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ความหนาแน่น ขนาดของเซลล์ ขนาดและการจัดเรียงตัวของเส้นใยของฉนวน ชนิดและปริมาณของตัวประสาน ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในการใช้งานด้วย

2.3.5.9 อันตรายจากไฟไหม้ (Fire hazard)

อันตรายจากไฟไหม้ ที่สำคัญสำหรับการใช้ฉนวนภายในอาคาร เพราะฉนวนที่กันความร้อนได้ดี มีสมบัติการกันไฟไหม้ไม่ดี สำหรับบางส่วนของอาคารที่มีอุปกรณ์ความร้อนการกันไฟไหม้เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

2.3.5.10 ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to vermin and Fungus)

ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อราเป็นสมบัติที่สำคัญในการเลือกใช้ฉนวนสภาพความชื้นสูงเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพได้ง่าย ทำให้ความเป็นฉนวนต่ำลงเป็นแหล่งเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยเฉพาะฉนวนพวกสารอินทรีย์ เช่น เส้นใยเซลลูโลส เป็นแหล่งอาหารและที่อยู่ของแมลงบางชนิด อาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย

2.3.5.11 การกันเสียง (Acoustical resistance)

การกันเสียงสำหรับบางส่วนของอาคารที่ต้องการลดการรบกวนจากเสียง จำเป็นต้องเลือกใช้ฉนวนที่มีสมบัติการกันเสียงที่ดี ซึ่งได้แก่ ฉนวนที่มีความเป็นรูพรุน หรือฉนวนที่มีช่องว่างอากาศมาก

2.3.5.12 การปลอดจากกลิ่น (Freedom form odour)

การปลอดจากกลิ่นที่สำคัญต่อการใช้งานฉนวน โดยเฉพาะการใช้งานฉนวนที่ติดตั้งภายในอาคาร ฉนวนที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบ หากเกิดการเสื่อมสภาพหรือเกิดการเผาไหม้จะได้รับการสูดดมไอของสารเคมี

2.3.5.13 ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมี(Corrosion and Chemical resistance)

ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมีของฉนวนเป็นสมบัติหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการใช้งาน การเสื่อมสภาพของฉนวนด้วยสารเคมีและสภาพอากาศ จะทำให้ฉนวนมีประสิทธิภาพลดต่ำลง

2.3.5.14 การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษาเป็นสิ่งที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายภายหลังการติดตั้งฉนวน ซึ่งจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 อิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน[11]

เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการกำหนดตำแหน่งของมวลสารและฉนวนทั้งในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ โดยแบ่งการวิจัยเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่

1) การศึกษาเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการจัดวางฉนวนและมวลสาร
2) การทดสอบพฤติกรรมการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการใช้งานในสภาพปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ
3) การทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อน

ในขั้นตอนแรกได้ทำการติดตั้งฉนวนด้านนอกแผ่นคตอนกรีตกึ่งกลางแผ่นคอนกรีตและด้านในแผ่นคอนกรีต ผลการทดสอบพบว่า ตำแหน่งของฉนวนและมวลสารที่เหมาะสมคือการใช้วัสดุฉนวนด้านนอกเพื่อลดอิทธิพลที่รุนแรงจากสภาพอากาศภายนอกและใช้วัสดุ

---

[11] รุ่งโรจน์ วงศ์มหาศิร, “อิทธิพลการหน่วงเหนี่ยวความร้อนจากการผสมมวลสารและฉนวนเข้าด้วยกัน,” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2543)

มวลสารที่มีค่าความจุความร้อนไว้ด้านในเพื่อหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ผ่านวัสดุฉนวนเข้าสู่ภายในอาคาร

ในขั้นตอนที่ 2 ผลจากการทดสอบการใช้งานในสภาพปรับอากาศและสภาพไม่ปรับอากาศพบว่า ควรใช้การติดตั้งฉนวนภายนอก และใช้มวลสารด้านในทั้ง 2 กรณีแต่มีข้อระวังในการเลือกใช้มวลสารภายในของระบบปรับอากาศ เนื่องจากมวลสารปริมาณมาก ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมภายในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

ในขั้นตอนที่ 3 การทดสอบตัวแปรจากอิทธิพลภายนอกที่ส่งผลต่อการหน่วงเหนี่ยวความร้อนพบว่าการใช้วัสดุเคลือบผิวที่มีการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกันส่งผลให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิภายในต่ำกว่าที่ไม่มีการบังแสงดวงอาทิตย์

ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การติดตั้งแนวภายนอก และใช้มวลสารภายในมีความเหมาะสมทั้งการใช้งานในสภาพปรับอากาศและสภาพไม่ปรับอากาศโดยที่อาคารที่ไม่ปรับอากาศควรใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนภายนอกและใช้มวลสารปริมาณมากภายในอาคารเพื่อให้อุณหภูมิเข้าใกล้สภาวะน่าสบายในเวลากลางวัน อาคารที่ปรับอากาศควรใช้ผนังที่มีการติดตั้งฉนวนภายนอก และใช้มวลสารปริมาณน้อยภายในอาคารเพื่อให้เครื่องปรับอากาศสิ้นเปลืองพลังงานในการลดความร้อนสะสมภายในมวลสารเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศ

2.4.2 แนวทางการปรับปรุงผนังอาคารเดิมเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร[12]

เป็นการวิจัยที่ทำการปรับปรุงผนังอาคารเดิมโดยการใช้ร่วมกับฉนวนกันความร้อนโดยทีผนังทดสอบ 2 ชนิดคือผนังก่ออิฐฉาบปูนและผนังมวลเบาเพื่อศึกษารูปแบบในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่ความหนาต่าง ๆ กับผนังทดสอบทั้ง 2 ชนิด ทั้ง 4 ทิศของอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ พร้อมทั้งหาความหนาที่เหมาะสมและทำการเลือกรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานโดยพิจารณาจากตัวแปรด้านอุณหภูมิ ประกอบกับการคำนวณ ระยะเวลาคืนทุนและจ่ายค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานขั้นตอนในการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1. ทำการเลือกความหนาของหนาของฉนวนกันความร้อนตังแต่ 1.3 นิ้วที่มีความเหมาะสมในการปรับปรุงผนังของอาคารปรับอากาศใน 4 ทิศหลักโดยทำการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกอาคารของผนังเดิม 2 ทำการเลือกรูปแบบที่มีความเป็นไปได้ในการใช้งานระหว่างการ ติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายในและภายนอกอาคาร

ผลการวิจัยพบว่า (1). การติดตั้งฉนวนกันความร้อนสามารถลดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดของวันลงได้ซึ่งทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันค่อนข้างคงที่และความสามารถในการลดความร้อนของฉนวน 1.3 นิ้วเมื่อเทียบกับผนังอาคารเดิมเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ 85 เปอร์เซ็นต์ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนประกอบกับค่าใช้จ่าตลอดอายุการใช้งานพบว่า การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อนติดตั้งภายในและภายนอกที่ความหนา 3 นิ้ว ทั้ง 4 ทิศทางมีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด และสามารถลดอัตราค่าไฟฟ้าสูงสุดได้ดีกว่า (2).การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานกับอาคารที่มีการปรับอากาศในช่วงเวลาต่างๆ มากกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายใน

---

[12] กัญน์ พิเชษฐศิลป, “แนวทางการปรับปรุงผนังอาคารเดิมเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร,” (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2545)

เนื่องจากมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิผิวภายในสูงสุดและต่ำสุดมีค่าน้อย (อุณหภูมิเกือบคงที่ตลอดวัน) และมีระยะเวลาหน่วงเหนี่ยวความร้อนที่ยาวนานกว่าคือ การติดฉนวนภายในหน่วงเหนี่ยว ความร้อนได้ 4 ชั่วโมง และติดตั้งฉนวนภายนอกหน่วงเหนี่ยวความร้อนได้ 5 ชั่วโมงส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านเข้ามาลดลงนอกจากนี้ การติดตั้งฉนวนกันความร้อนภายนอกอาคารยังสามารถป้องกันการเกิดสะพานความร้อน และความชื้น จึงไม่มีผลต่อ การเกิดการควบแน่นในผนัง ไม่ทำให้สูญเสียพื้นที่ ใช้งานในอาคาร และเป็นการลดค่าภาระในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้

สรุป

จากการศึกษาพบว่า

1) อาคารไม่ปรับอากาศและใช้งานในช่วงเวลากลางวันเหมาะสมกับการใช้ฉนวนมวลสารที่มีความหนามาก โดยเฉพาะส่วนหลังคาของอาคาร เพื่อเพิ่มค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน ทำให้อุณหภูมิภายในต่ำกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางวัน แม้อุณหภูมิภายในจะไม่อยู่ในเขตสบายแต่สามารถใช้การพัดพาของอากาศเพื่อปรับอุณหภูมิให้เข้าสู่เขตสบายได้

2) อาคารไม่ปรับอากาศที่มีการใช้งานในช่วงเวลากลางคืนหรือการใช้งานตลอดทั้งวันไม่เหมาะสมกับการใช้ฉนวนมวลสารบริเวณหลังคาและผนังมาก เนื่องจากจะมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าภายนอกในช่วงเวลากลางคืน

อาคารที่ปรับอากาศไม่ตลอด 24 ชั่วโมง ไม่เหมาะสมกับการใช้ฉนวนมวลสารบริเวณฝ้าเพดานมาก เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะใช้พลังงานในการลดความร้อนสะสมในส่วนของผนังเป็นปริมาณมากเพื่อจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การออกแบบและติดตั้งเครื่องมือการผลิตอย่างง่าย ชาวบ้านสามารถเรียนรู้และทำได้ด้วยตนเอง วัสดุประกอบอาคารที่สร้างขึ้นเหมาะสำหรับอาคารบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น โดยทำการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือบันทึกข้อมูลจากอาคารทดลองจริงและการเก็บข้อมูลด้วยการคำนวณค่าการใช้พลังงานต่าง ๆ ในรูปแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพอากาศและอาคารบ้านพักอาศัย พร้อมทั้งนำข้อมูลมาประมวลผล เพื่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานและเปรียบเทียบการใช้พลังงานอีกทั้งความสามารถในการเป็นฉนวนของวัสดุที่มีอยู่ในท้องตลาดกับวัสดุที่สร้างขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุ
3.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล แบ่งเป็น 2 ประเภท
    3.2.1 เครื่องมือทางวิศวกรรม (Hardware)
    3.2.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software)
3.3 วิธีการผลิตและการติดตั้งแผ่นวัสดุประกอบอาคาร
3.4 การเก็บข้อมูล
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุ โดยมีวัสดุหลักดังต่อไปนี้

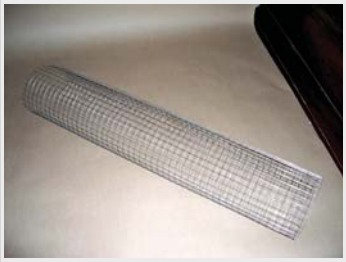
3.1.1 ฟางข้าว
3.1.2 มะพร้าวสับ
3.1.3 กาวผง (เป็นตัวผสาน)
3.1.4 ผงปูนยิปซั่ม
3.1.5 บล็อคอัดแผ่นวัสดุอย่างง่าย
3.1.6 น้ำยาผสมปูนยิปซั่ม
3.1.7 ลวดตาไก่

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ในการผลิตแผ่นวัสดุ ขนาด 30x30 ซม.

1. ฟางข้าว 1 เข็ง ราคา 20 บาท	2. มะพร้าวสับ 1 กระสอบ ราคา 20 บาท	3. กางผง 1 กระป๋อง ราคา 145 บาท

ศูนย์วิทยทรัพยากร

ตารางที่ 3.1 **(ต่อ)** แสดงอุปกรณ์ในการผลิตแผ่นวัสดุ ขนาด 30x30 ซม.

		
4. แผ่นเหล็ก หนักแผ่นละ 4 กก.	5. ลวดตาไก่ 1 ม. ราคา 30 บาท	6. น้ำยาผสมปูนยิปซั่ม 1 กระป๋อง ราคา 285 บาท
7. บล็อคอัดแผ่นวัสดุทำจากไม้แบบ	8. ผงปูนยิปซั่ม 1 ถุง ราคา 18 บาท	9. วาสลีน ทาบล็อคไม้แบบเพื่อกันไม่ให้วัสดุติดกับบล็อคไม้แบบ
10. ไม้คนและถ้วยตวงส่วนผสม สำหรับผงปูนยิปซั่ม	11. ถังน้ำ เพื่อผสมฟางข้าวกับมะพร้าวสับ	12. ถังพลาสติก ไว้สำหรับตัดฟางข้าว
13. ถ้วยตวง สำหรับผสมส่วนต่างๆ	14. กระดาษทรายและแปรงปัดฝุ่น	15. กรรไกร สำหรับตัดฟางข้าว

3.2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล

เครื่องมือและอุปกรณ์แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือทางวิศวกรรม (Hardware) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software)

3.2.1 เครื่องมือทางวิศวกรรม (Hardware)

3.2.1.1 เครื่องวัดการนำความร้อน B480 ผลิตโดยบริษัท พี.เอ. ฮิลตัน จำกัด ใช้วัดการนำความร้อนที่สภาวะคงที่ ตามมาตรฐานอังกฤษ โดยวิธีการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนจากด้านบนสู่ด้านล่างของวัตถุ ซึ่งภายในเครื่องจะมีแผ่นร้อนวางอยู่บนสุดชั้นต่อมาเป็นชั้นของวัตถุวางบนเครื่องวัดการไหลของความร้อน (Heat Flowmeter Reading : HFM) ส่วนล่างสุดเป็นแผ่นเย็น

รูปที่ 3.1 เครื่องวัดอัตราการถ่ายเทความร้อน ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการทดสอบนั้นจะต้องป้องกันความชื้นไม่ให้เข้ามาหรือระเหยออกไป ดังนั้น แผ่นวัสดุจะถูกฉาบด้วยปูนยิปซั่มทั้งสองด้าน แล้วจึงนำเข้าเครื่องวัดอัตรการถ่ายเทความร้อน ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากการติดตั้งแผ่นวัสดุที่ใช้ทดสอบ ขนาด 30x30 ซม. แล้วจึงทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่แผ่นร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส และค่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นร้อนกับแผ่นเย็นที่ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่าแผ่นเย็นจะมีอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และอีกนัยหนึ่ง คือ ยิ่งผลต่างอุณหภูมิมากเท่าไร ระยะเวลาในการทดสอบจะเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น เช่นเดียวกับความหนาที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการวัดค่าการนำความร้อนควรจะใช้เวลาในการทดสอบน้อยที่สุด (2-6 ชม.) เพราะอุณหภูมิในเครื่องวัดการนำความร้อนอาจทำให้วัสดุที่ทดสอบมีคุณสมบัติเปลี่ยนไป

3.2.1.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ยี่ห้อ Ohaus รุ่น Adventurer ใช้หาความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และการหาความชื้น

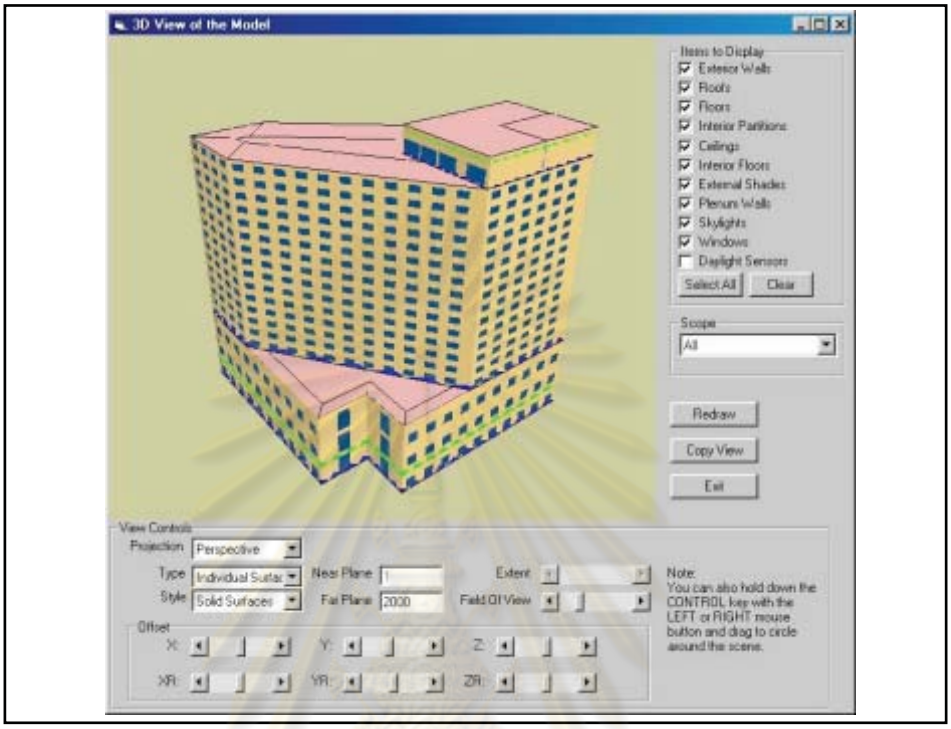
รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ยี่ห้อ Ohaus รุ่น Adventurer

3.2.1.3 กาวยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ หรือกาวผง เป็นกาวสำหรับทำไม้อัด (Plywood) หรือแผ่นชิ้นไม้อัด (Particleboard and MDF Board) มีคุณสมบัติเรื่องความหนืดมีผลต่อความแข็งแรง ซึ่งต้องมีความพอดีไม่มากหรือน้อยเกินไป การเก็บรักษาควรอยู่ในที่ร่มอุณหภูมิ 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software)

3.3.2.1 คอมพิวเตอร์ใช้เก็บข้อมูลและประมวลผล โดยใช้ MacBook Pro, Intel Core 2 Duo, Memory 4 GB โปรแกรมที่ใช้คือ Visual DOE



รูปที่ 3.3 คอมพิวเตอร์ แมคบุคโปร ใช้โปรแกรม Visual DOE ประมวลผลการทดลอง

3.3 วิธีการผลิตและการติดตั้งแผ่นวัสดุประกอบอาคาร

แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับจำนวน 3 แผ่น ที่ระดับความหนา 15, 20 และ 30 มม. ความหนาแน่น 450 กก./ ลบ.ม. ขนาด 30x30 ซม. ซึ่งได้ทำการผลิตที่บ้านของนิสิต โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

3.3.1 วิธีการผลิตแผ่นวัสดุประกอบอาคาร

3.3.1.1 เตรียมอุปกรณ์ 3 ชนิด คือ ผงปูนยิปซั่ม น้ำยาผสมปูนยิปซั่ม และถ้วยตวงกับผสม จากนั้นนำผงปูนยิปซั่มเทผสมกับน้ำยาผสมปูนยิปซั่มเพื่อไม่ให้เกิดฝุ่นในเวลาแห้ง ในอัตราส่วน 1 : 1 ผสมเข้าด้วยกัน คนด้วยแผ่นไม้อย่างช้าๆ เป็นเวลา 5 - 10 นาที โดยไม่ใช้เกิดฟองอากาศ เพราะฟองอากาศจะทำให้ผิววัสดุไม่เรียบเกิดเป็นรอยขลุขละ ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการผสมปูนยิปซั่มกับน้ำยาผสมยิปซั่มเพื่อทำเป็นแผ่นประกบกับวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

3.3.1.2 นำปูนยิปซั่มที่ผสมเสร็จแล้วเทลงในแบบที่เตรียมไว้ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.5 ค่อยๆ ฉาบลงในแบบอย่างช้าๆ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง ประมาณ 1 - 2 ชม. จำนวน 2 แผ่น แล้วจึงนำออกจากแบบพิมพ์ ทิ้งไว้กลางแดดให้แห้งอีกรอบจนกว่าจะเตรียมการผสมฟางข้าวกับมะพร้าวสับเสร็จ

รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเทปูนยิปซั่มลงบนแบบแม่พิมพ์เพื่อทำเป็นแผ่นประกบกับวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

3.3.1.3 นำฟางข้าวมาตัดให้มีขนาด ความยาวประมาณ 10 - 15 เซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนดังนี้ คือ ฟางข้าว, มะพร้าวสับ และกาวผง เท่ากับ 3 : 1 : 1 ผสมให้เข้ากัน (รูปที่3.6) นำลงในบล็อคแม่พิมพ์ จากการศึกษา ในอัตราส่วนต่างๆ เช่น 2 : 1 : 1, 3 : 1 : 1, 4 : 1 : 1 และ 5 : 1 : 1 พบว่า อัตราส่วนของฟางข้าว, มะพร้าวสับ และกาวผง คือ 3 : 1 : 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการผสมฟางข้าวกับมะพร้าวสับเพื่อทำเป็นแผ่นวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

3.3.1.4 หลังจากผสมฟางข้าวกับมะพร้าวสับเสร็จแล้วทิ้งไว้ซักพักแล้วหันกลับมาตัดลวดตาไก่ให้มีขนาด 30 x 30 ซม. ดังรูปที่ 3.7 ตามขั้นตอน เพื่อเตรียมเอาไปใส่ในแกนกลางของแผ่นวัสดุ เพื่อช่วยในการรับแรง จากนั้นนำวาสลีนมาทาให้ทั่วบล็อคไม้แบบที่ทำไว้

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนกันเตรียมลวดตาไก่และบล็อคไม้แบบ

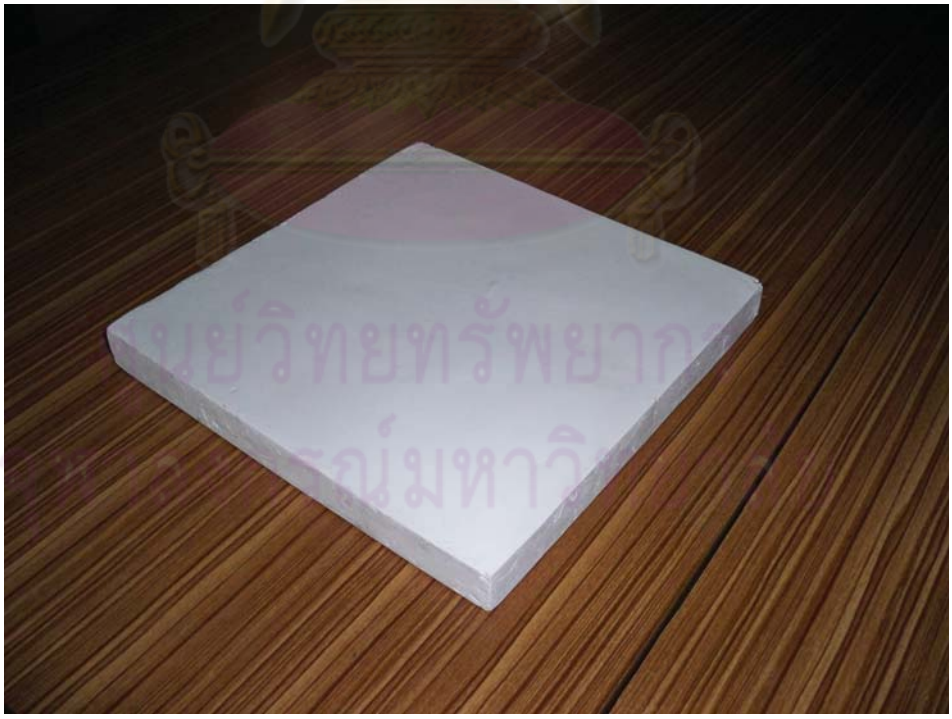
3.3.1.5 นำวัสดุที่เตรียมไว้ทั้งหมด เช่น แผ่นปูนยิปซั่ม 2 แผ่น, ฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ และลวดตาไก่ มาใส่ลงในบล็อคไม้แบบ ขนาด 30 x 30 ซม. แล้วอัดด้วยแผ่นเหล็กหนัก 32 กก. ทิ้งไว้ประมาณ 24 ซม. หรือ 1 วัน หลังจากครบหนึ่งวันจึงนำออกจากบล็อคไม้ ดังรูปที่ 3.8 ตามลำดับ

รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการผลิตแผ่นวัสดุด้วยวิธีการอัด ขนาด 30x30 ซม.

3.3.1.6 แล้วจึงทำการอัดแผ่นวัสดุด้วยแท่งเหล็กน้ำหนัก 32 กม. ทิ้งไว้ให้แห้งตามธรรมชาติประมาณ 24 ชม.หรือ 1 วัน จากนั้นนำออกจากบล็อคแม่พิมพ์ นำไปขัดให้เรียบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 100 และ 1000 ดังรูปที่ 3.9 เก็บขอบดูรายละเอียดให้เรียบร้อยเป็นอันเสร็จ ดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการขัดและเก็บรายละเอียดของแผ่นวัสดุ ขนาด 30x30 ซม.

3.3.1.7 วัสดุแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมกับมะพร้าวสับขนาด 30 x 30 ซม. หนา 30 มม. เป็นวัสดุเพื่อนำไปทดสอบในเครื่องวัดอัตรการถ่ายเทความร้อน ณ ห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ขนาด 30 ซม. x 30 ซม.

3.3.2 **อัตราส่วนในการผลิตแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**

จากการศึกษาอัตราส่วนของการผสมวัตถุดิบ โดยมีวัตถุดิบ ดังนี้ ฟางข้าว, มะพร้าวสับ และกาวผง มีอัตราส่วนที่นำมาใช้ขึ้นรูปต่างๆ เช่น 2 : 1 : 1, 3 : 1 : 1, 4 : 1 : 1 และ 5 : 1 : 1 พบว่า อัตราส่วนของฟางข้าว, มะพร้าวสับ และกาวผง คือ 3 : 1 : 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เนื่องจากอัตราส่วนต่างๆ ที่นำมาทดลองใช้นั้น ทำให้แผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรไม่สามารถขึ้นรูปได้ เปราะ และมีการแตกร้าวได้ง่ายในเวลาที่แผ่นฉนวนแข็งตัว (รูปที่3.11)

รูปที่ 3.11 แสดงผลการขึ้นรูปในอัตราส่วนต่าง เช่น 2 : 1 : 1, 4 : 1 : 1 และ 5 : 1 : 1

แผนภูมิแสดงขั้นตอนการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับโดยการอัดด้วยแรง

รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

ลักษณะทางกายภาพของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ขนาด 30 x 30 ซม. ที่ได้นั้น มีความเหมือนกับวัสดุพื้นฐานของท้องตลาดแต่แตกต่างตรงที่สามารถกัน ความชื้น, กันไฟ และกันแมลงได้ แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ความหนาแน่น 450 กก./ ลบ.ม. หนา 10 15 และ 20 มม. ขนาด 60 x 60 ซม. หนัก 0.90, 1.20 และ 1.60 กก.

3.3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพของแผ่นวัสดุประกอบอาคาร

หลังจากที่ทำการผลิต พบว่า แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ความหนา 15 มม.มีความแข็งแรงเทียบเท่ากับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดตราช้างแบบธรรมดาเนื่องจากมีลวดตาไก่เป็นแกนกลางจึงทำให้แผ่นวัสดุมีความแข็งแรง สามารถนำไปวางบนโครงสร้าง T-Bar ได้โดยที่แผ่นวัสดุไม่เกิดการโกงงอและสามารถเจาะและติดเข้ากับโครงสร้างได้โดยไม่แตกร้าว ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13 ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลนั้นมีวิธีการดังนี้

3.3.3.1 การหาค่าความหนาแน่นใช้มาตรฐาน JISA 5905 โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 100x100 มม. ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิตอล วัดความหนา ความกว้างและความยาว ลึกจากปลายรอบ 25 มม. ซึ่งค่าที่วัดได้ปรากฏในภาคผนวก ข จากนั้นจึงคำนวณความหนาแน่นจากสมการ

$$D = (m / v) \times 10^6$$

เมื่อ D คือ ค่าความหนาแน่น (กก./ ลบ.ม.)

m คือ น้ำหนัก (กรัม)

V คือ ปริมาตร (ลบ.ม.)

3.3.2.2 การหาค่าความชื้น ใช้มาตรฐาน JISA 5905 โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 100x100 มม. ชั่งน้ำหนักก่อนอบและน้ำหนักหลังอบ เพื่อแทนค่าในสมการ

$$MC = \{(m_1 - m_0) / m_0\} \times 100$$

เมื่อ MC คือ ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

m_0 คือ น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

m_1 คือ น้ำหนักหลังอบ (กรัม)

รูปที่ 3.13 การวางแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมกับมะพร้าวสับบนฝ้า T-Bar ขนาด 60x60 ซม.

รูปที่ 3.14 การเจาะแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมกับมะพร้าวสับ เพื่อติดบนโครงสร้างฝ้าเพดาน ขนาด 60x60 ซม.

3.3.2.2 การหาค่าประสิทธิ์ภาพการนำความร้อน ใช้มาตรฐาน JISA 5905 โดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 30 x 30 ซม. แล้วนำเข้าเครื่อง Thermal Conductivity Equation เพื่อแทนค่าในสมการ

$$\lambda = \frac{\int_s x\left[(k_1 + (k_2 x \bar{T})) + \left((k_3 + (k_4 x \bar{T})) x HFM\right) + \left((k_5 + (k_6 x \bar{T})) x HFM^2\right)\right]}{dT}$$

Calibration Constants - Without Silicone Rubber Mats :

$k_1 = -7.5078$ $k_4 = 0.0068$

$k_2 = 0.2272$ $k_5 = 0.0303$

$k_3 = 3.3226$ $k_6 = -0.0003$

Where λ = Thermal Conductivity (W/mK)

$\int_s$ = Thickness of Specimen (metres)

$dT = T_1 - T_2$ (°C)

$\bar{T} = \frac{T_1 + T_2}{2}$ (°C)

HFM = Heat Flowmeter Reading (mV)

3.4 การเก็บข้อมูล

3.4.1 เก็บข้อมูลจากการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าความต้านทานความร้อน และนำมาคำนวนหาค่าการนำความร้อน

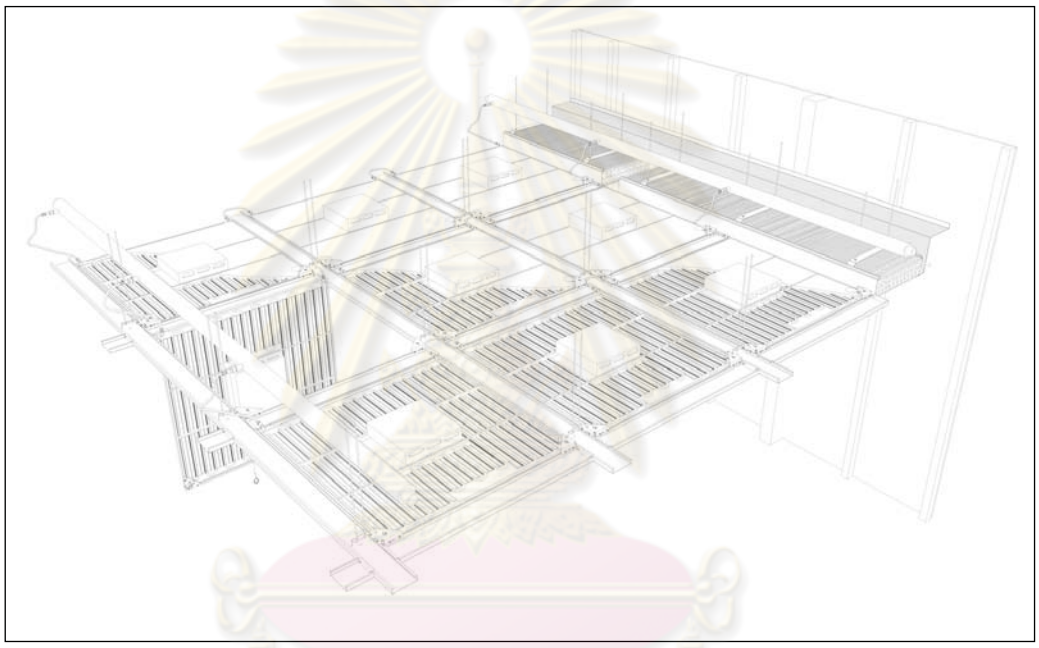
3.4.2 เก็บข้อมูลจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพอากาศตลอดทั้งปี ของฝ้าเพดานทั้ง 4 รูปแบบ ดังนี้ และมีรูปแบบการวางฝ้าเพดานด้วยโครงสร้างดังรูปที่ 3.14

3.4.2.1 แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว

3.4.2.2 แผ่นยิปซั่มบอร์ด + ใยแก้ว

3.4.2.3 แผ่นฉนวนจากฟางข้าว

3.4.2.4 แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

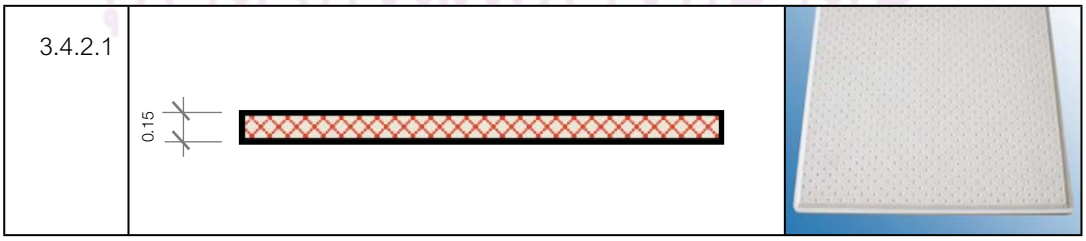


รูปที่ 3.15 โครงสร้างโครงเคร่าบนฝ้าเพดาน (T-Bar) สำหรับว่างแผ่นยิปซั่ม

มีรูปแบบของวัสดุดังนี้

3.4.2.1 แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว

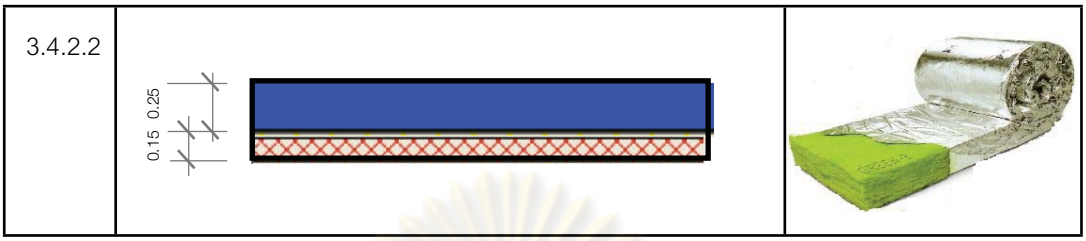
แผ่นยิปซั่มบอร์ด ความหนาแน่น 885 กก./ลบ.ม. หนา 15 มม.



รูปที่ 3.16 รูปตัดฝ้าเพดานของแผ่นยิปซั่มบอร์ด และรูปแผ่นยิปซั่มบอร์ด

3.4.2.2 แผ่นยิปซั่มบอร์ด + ใยแก้ว

ฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 16 กก./ลบ.ม. หนา 2.5 ซม. กับแผ่นยิปซั่มบอร์ด ความหนาแน่น 885 กก./ลบ.ม. หนา 15 มม.



รูปที่ 3.17 รูปตัดฝ้าเพดาน ระหว่างฉนวนใยแก้วกับแผ่นยิปซั่มบอร์ด และรูปภาพฉนวนใยแก้วตราช้าง

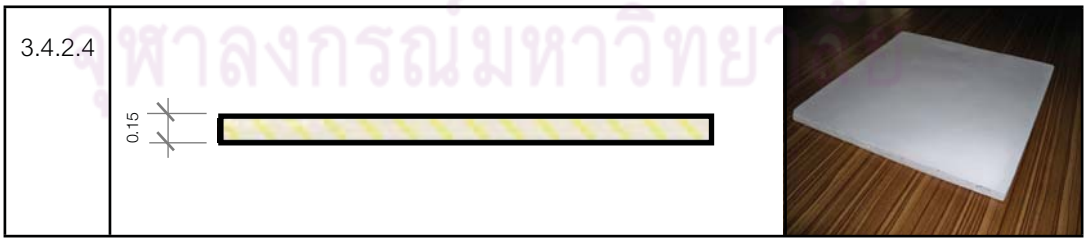
3.4.2.3 แผ่นฉนวนจากฟางข้าว

แผ่นฉนวนจากฟางข้าว ความหนาแน่น 600-700 กก./ลบ.ม. หนา 10 มม.

รูปที่ 3.18 รูปตัดฝ้าเพดานของแผ่นฉนวนจากฟางข้าว และรูปแผ่นฉนวนจากฟางข้าว

3.4.2.4 แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ความหนาแน่น 450 กก./ลบ.ม. หนา 15, 20 และ 30 มม.



รูปที่ 3.19 รูปตัดฝ้าเพดานของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.20 แสดงผังอาคารที่นำมาทดลอง ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพอากาศ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบข้อมูลและวัสดุดังกล่าวกับอาคารบ้านพักอาศัย 1 ชั้น 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ พื้นที่ใช้สอยรวม 90 ตร.ม. โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นหนา 0.10 ม. ทาสีอ่อน หลังคากระเบื้องคอนกรีตขนาดมาตรฐาน โครงสร้างเหล็กพร้อมฝ้าในรูปแบบต่างๆ พร้อมช่องกระจกใสหนา 6 มม. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 ม. พร้อมปูกระเบื้องเซรามิกเคลือบ สมาชิกภายในบ้านทั้งหมด 4 คน โดยหันหน้าบ้านไปทางทิศใต้ ดังรูป 3.20 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินผลการทดลองและวิเคราะห์หาข้อสรุปต่อไป

เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและประยุกต์ใช้วัสดุฝ้าเพดานให้เหมาะสมกับอาคารบ้านพักอาศัยในภูมิอากาศร้อนชื้น เพื่อการประหยัดพลังงานและลดปัญหาภาวะโลกร้อน

3.5.1 พิจารณาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้าน ค่าความต้านทานความร้อน ค่าการนำความร้อนโดยใช้เครื่องวัดการนำความร้อนในสภาวะคงที่ตามมาตรฐานอังกฤษโดยวิธีการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนจาก ด้านบนสู่ด้านล่างของวัตถุ ณ ห้องปฏิบัติการคณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Thermal Conductivity Equation โดยการวิเคราะห์และนำเสนอโดยตารางเปรียบเทียบ

3.5.2 พิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตลอดปีของ อุณหภูมิภายนอก อุณหภูมิภายใน ค่าการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ขึ้น โดยโปรแกรมที่ใช้ คือ Visual DOE แสดงถึงศักยภาพของวัสดุชนิดต่างๆ ซึ่งสะท้อนได้จากการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์และนำเสนอโดยกราฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากข้อมูลที่ได้ สามารถวิเคราะห์หาปัจจัยและความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มี อิทธิพลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทหรือการนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับในการป้องกันความร้อนของอาคารบ้านพักอาศัยที่ใช้วัสดุฝ้าเพดานชนิดแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

4.2 การเปรียบเทียบ สมบัติของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ที่ผลิตได้กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

4.3 ผลการศึกษาทดลองและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่างโดยการจำ-ลองสภาพอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.4 สรุปรายละเอียดต้นทุนในการผลิต และวัสดุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

การศึกษาสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

ฉนวนความร้อน (Thermal Insulation) เป็นวัสดุที่ใช้เพื่อการประหยัดพลังงานที่สำคัญ ปัจจุบันเกือบทุกอาคารใช้ฉนวนความร้อน เพื่อป้องกันและลดความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทั้งนี้สมบัติความเป็นฉนวนความร้อนของเส้นใยฟางข้าวและมะพร้าวสับเป็นผลมาจากลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยและความเป็นรูพรุนของท่อลำเลียงเส้นใยที่สามารถลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลอากาศที่เทรกอยู่ภายในรูพรุน ซึ่งสามารถดูได้จากภาพถ่ายด้วยกล้องอิเลคตรอนแบบส่องกวาด (Electron Scanning Microscope)

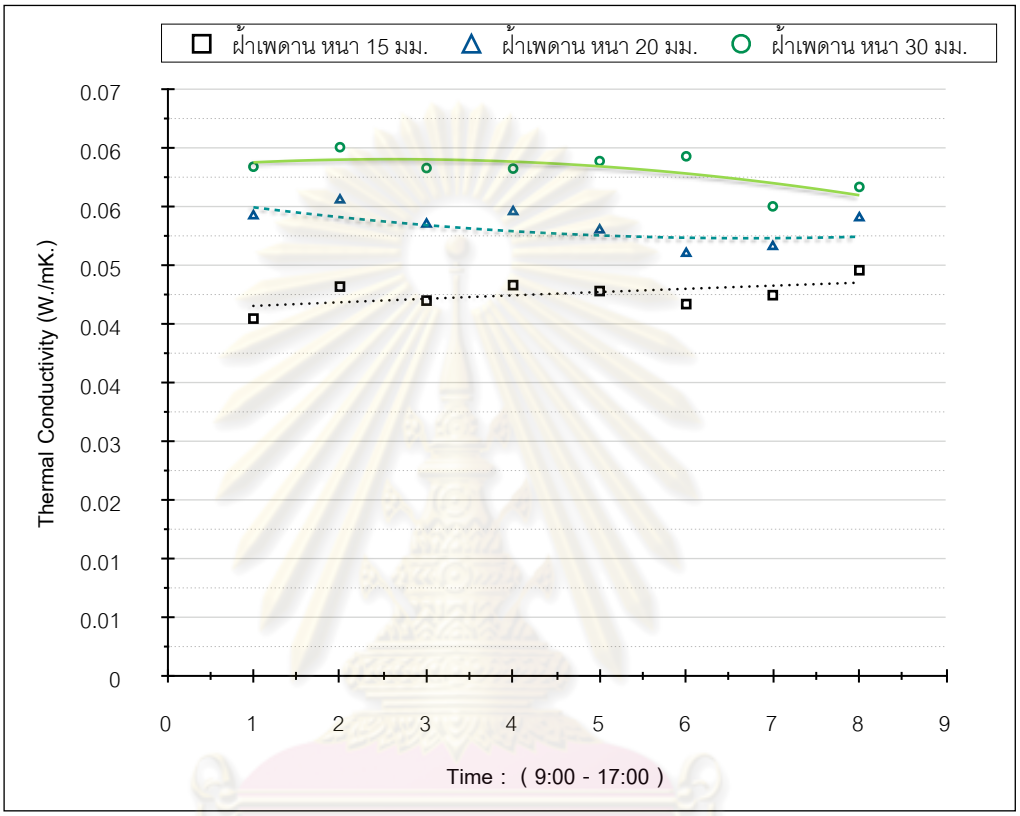
ในการศึกษาสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นวัสดุตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยใช้ปริมาณกาว, ฟางข้าว และมะพร้าวสับ ในปริมาณสัดส่วนที่ 1 : 3 : 1 โดยมีความหนาต่างๆ ดังนี้ 15, 20, 30 ดังรูปที่ 4.1 แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาทดสอบค่าการนำความร้อนโดยวิธีมาตรฐาน ASTM C177

รูปที่ 4.1 แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ขนาด 30 ซม. x 30 ซม.
หนา 15, 20, 30 มม.

4.1 ผลการศึกษาสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

ในเบื้องต้นของการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีความหนาต่างกัน ผลการทดสอบค่าการนำความร้อน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง

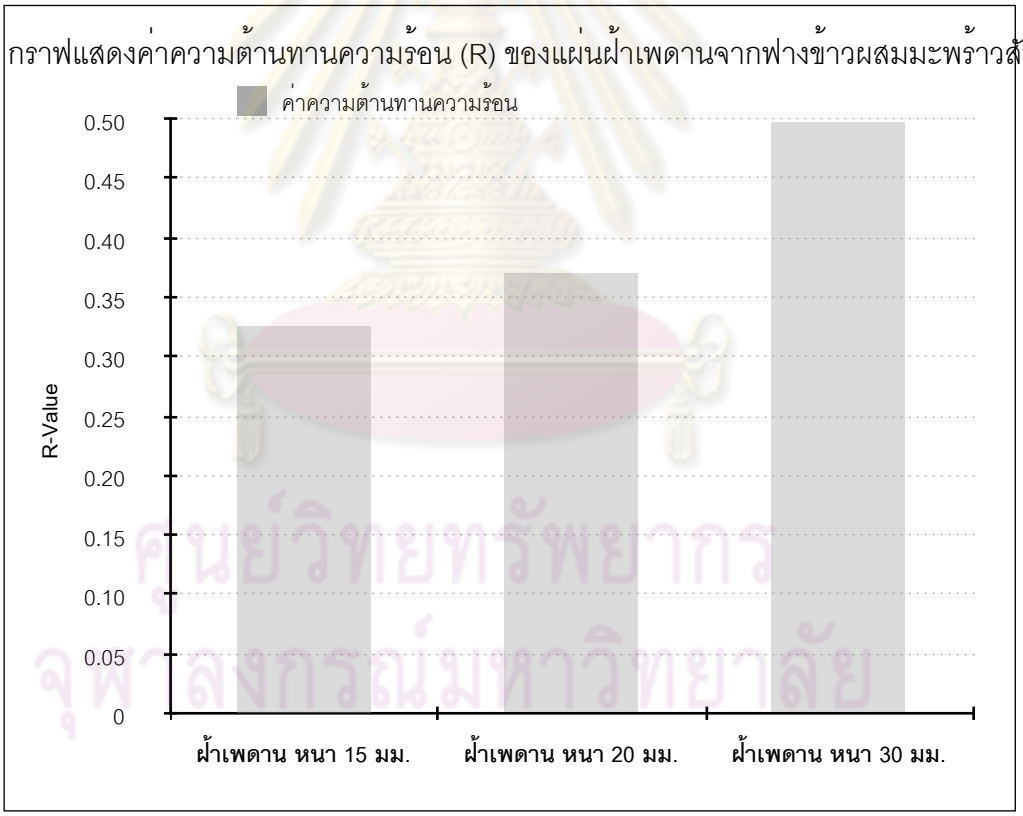


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง วันที่ 15 ธ.ค. 2552

จากรูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนา 3 ระดับ กับค่าการนำความร้อนที่ต่างกัน จะเห็นได้ว่า แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับมีค่าการนำความร้อนของแผ่นวัสดุในช่วง 0.046 - 0.060 ดังตารางที่ 4.1 อันเนื่องมาจากค่าความหนาแน่นที่แตกต่างกัน สาเหตุมาจากการผลิตที่ไม่ได้มาตราฐานอุสาหกรรม โดยการผลิตเป็นแบบวิธีที่ชาวบ้านสามารถทำเองได้ ผลการศึกษา ที่ได้นี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของกิตติศักดิ์ บัวศรี ที่ศึกษาสมบัติการนำความร้อนจากฟางข้าว และชานอ้อย พบว่า วัสดุประเภทฟางข้าว มีค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด แต่ค่าความหนาแน่นสูงส่งผลอย่างมากต่อสมบัติของแผ่นคือ ค่าการนำความร้อนก็จะสูงขึ้นด้วย เนื่องจากความหนาแน่นมีผลการการนำความร้อนของแผ่นวัสดุ ดังนั้นงานวิจัยนี้เห็นความสำคัญของเรื่องความชื้นที่มีความสัมพันธ์ต่อความหนาของแผ่นวัสดุหากแต่ผู้วิจัยไม่ได้นำมาทำการทดลอง (วิธีการคำนวณหาค่าการนำความร้อนอยู่ที่หน้า 77-79 (ภาคผนวน))

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติความเป็นฉนวน

ชนิดวัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (วัตต์/ เมตร เคลวิน)	ค่าความต้านทานความร้อน (R) (ตร.ม. เคลวิน/ วัตต์)	ความหนา (มม.)
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ 15 มม.	0.0460	0.326	15.00
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ 20 มม.	0.0540	0.370	20.00
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ 30 มม.	0.0603	0.497	30.00



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความต้านทานความร้อน (R) ของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับที่ผลิตได้กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

เพื่อชี้ให้เห็นถึงความเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบ แผ่นวัสดุที่มีความหนาน้อยที่สุดสามารถลดความร้อนได้ดีกว่าแผ่นวัสดุชนิดเดียวกันที่มีความหนามากที่สุด อันเนื่องมาจากความชื้นที่มีอยู่ในแผ่นวัสดุที่หนาที่สุด ส่งผลให้ค่าความต้านทานความร้อนต่ำสุด โดยค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อน (k) ของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับหนา 15 มม. มีค่า 0.0460 วัตต์/ เมตร เคลวิน ซึ่งมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนดีที่สุดจากฉนวนที่นำมาทดสอบ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับกับวัสดุที่นิยมใช้เป็นฝ้าเพดานและฉนวนความร้อนตามอาคารทั่วไป ดังตารางที่ 4.2 พบว่า แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับหนา 15 มม. มีความต้านทานความร้อนได้น้อยกว่าฉนวนใยแก้ว แต่จะดีกว่าถ้าเทียบในขนาดความหนาเดียวกัน และแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับหนา 15 มม . มีความต้านทานที่ดีกว่าแผ่นฝ้าเพดานยิปซั่มบอร์ดเดิมถึง 20เท่า

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติความเป็นฉนวนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ

ชนิดวัสดุ	ความหนา (มม.)	ความหนาแน่น (กก./ ลบ.ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (วัตต์/ เมตร เคลวิน)	ค่าความต้านทาน ความร้อน (R) (ตร.ม. เคลวิน/ วัตต์)	การกันแมลง
แผ่นไม้อัด	10.05	907	0.2290	0.057	ไม่ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา	9.00	725	0.3058	0.029	ไม่ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดทนไฟ	15.00	885	0.3533	0.042	ไม่ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดอลูมิเนียมฟอยล์	9.50	745	0.3215	0.029	ไม่ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดทนความชื้น	12.00	775	0.2973	0.040	ไม่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติความเป็นฉนวนของแผ่นผ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ๆ (ต่อ)

ชนิดวัสดุ	ความหนา (มม.)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (วัตต์/เมตร เคลวิน)	ค่าความต้านทาน ความร้อน (R) (ตร.ม. เคลวิน/ วัตต์)	การกันแมลง
แผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว	10.00	600-700	0.0564-0.0957	0.104	ไม่ได้
แผ่นฉนวนกันความร้อนจากชานอ้อย	10.00	458-688	0.0724-0.0925	0.108	ไม่ได้
แผ่นฉนวนจากซังข้าวโพด	9.51	200-800	0.0632-0.1236	0.077	ไม่ได้
แผ่นฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง	9.35	200-800	0.0593-0.1058	0.094	ไม่ได้
ใยแก้ว	25.00	16	0.0350	0.714	ได้
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	15.00	450	0.0460	0.326	ได้
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	20.00	450	0.0540	0.370	ได้
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	30.00	450	0.0603	0.497	ได้

แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับสามารถกันแมลงได้เนื่องจากมี น้ำยาผสมผงปูนยิปซั่ม เป็นสารผสมทำให้แมลงไม่สามารถกินหรือทำลายแผ่นวัสดุ

4.3 ผลการศึกษาทดลองและเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่างโดยการจำลองสภาพอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

หลังจากการศึกษาคุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุแต่ละประเภทแล้ว จึงนำมาทำการทดสอบการลดความร้อนกับระบบฝ้าเพดานโครงคร่าว (T-Bar) โดยนำ แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ความหนาแน่น 450 กก./ลบ.ม. หนา 15, 20, 30 มม. มาทดลองใส่เป็นฉนวนหรือทดแทนวัสดุเดิม โดยการนำมาจำลองกับสภาพอากาศจริงด้วยระบบคอมพิวเตอร์ แล้วทำการเก็บข้อมูลค่าการใช้พลังงานภายในอาคารต่อเดือนและตลอดปี โดยโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ คือ Visual DOE และเปรียบเทียบคุณสมบัติในการลดความร้อนเทียบกับวัสดุต่างๆ ดังนี้

1) แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว (Base case)
2) ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด
3) แผ่นฉนวนจากฟางข้าว
4) แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

4.3.1 ข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวกับอาคารสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ทำการเปรียบเทียบข้อมูลและวัสดุดังกล่าวกับอาคารบ้านพักอาศัย 1 ชั้น 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ พื้นที่ใช้สอยรวม 90 ตร.ม. โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นหนา 0.10 ม. ทาสีอ่อน หลังคากระเบื้องคอนกรีตขนาดมาตรฐาน โครงสร้างเหล็กพร้อมฝ้าในรูปแบบต่างๆ พร้อมช่องกระจกใสหนา 6 มม. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 0.10 ม. พร้อมปูกระเบื้องเซรามิกเคลือบ สมาชิกภายในบ้านทั้งหมด 4 คน โดยหันหน้าบ้านไปทางทิศใต้ ดังรูป 4.3 ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อประเมินผลการทดลองและวิเคราะห์หาข้อสรุปต่อไป

รูปที่ 4.4 แสดงผังอาคารที่นำมาทดลอง ชั้นที่ 1 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพอากาศ

4.3.2 ผลการทดลองการใช้พลังงานภายในอาคารโดยการจำลองสภาพอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1) แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว (Base case)

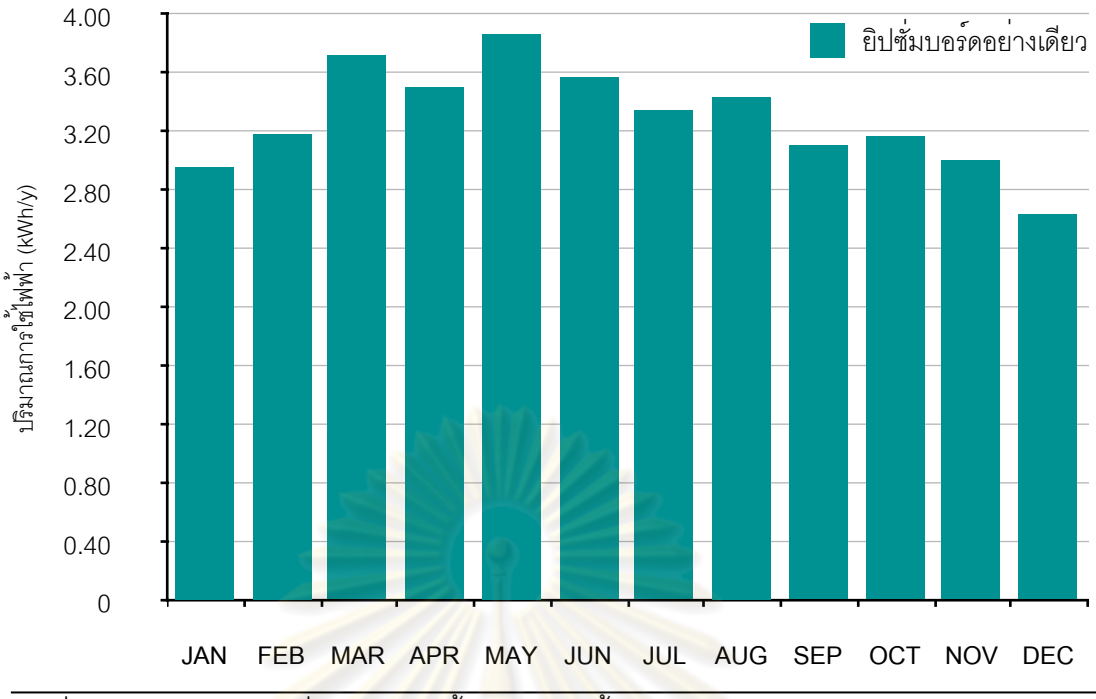
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ภายในอาคารตลอดปี

เดือน	**ปริมาณการใช้ไฟฟ้า** (kWh/y)	Temperature °C
JAN	2.95467	32 - 21
FEB	3.1796	32 - 26
MAR	3.71377	33 - 26
APR	3.4954	36 -26
MAY	3.86185	36 -26
JUN	3.56786	34 - 27
JUL	3.33991	33 - 27
AUG	3.43273	33 - 26
SEP	3.10423	32 - 27
OCT	3.1617	33 - 26
NOV	3.0015	34 - 26
DEC	2.63224	34 - 25
Total	39.446	

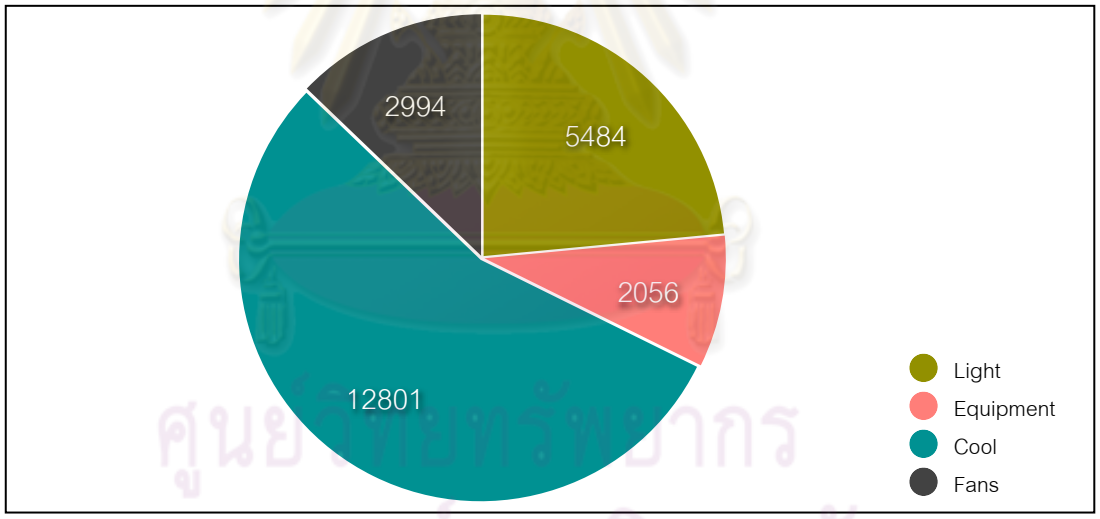
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี

	แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว (kWh/y)
Light	5.5
Equipment	2.1
Space Cool	12.8
Vent Fans	3.0
Total	23.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.3)



รูปที่ 4.6 กราฟแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.4)

สรุปค่าไฟฟ้า

1) แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว หนา 15 มม.(Base case) = 62.746 kWh/y

ค่าไฟฟ้า 3.5 บาทต่อหน่วย

ค่าไฟฟ้า

พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 21,961.1 บาท/ปี

= 1,830.091 บาท/เดือน

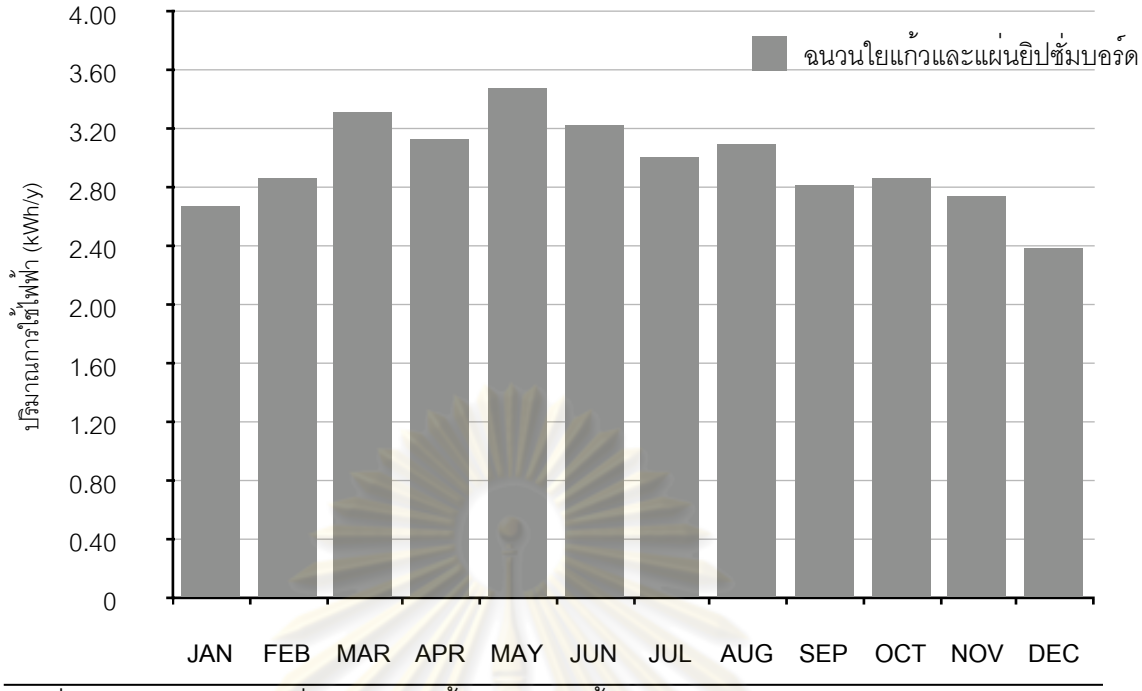
2) ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด (Option 1)

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ภายในอาคารตลอดปี

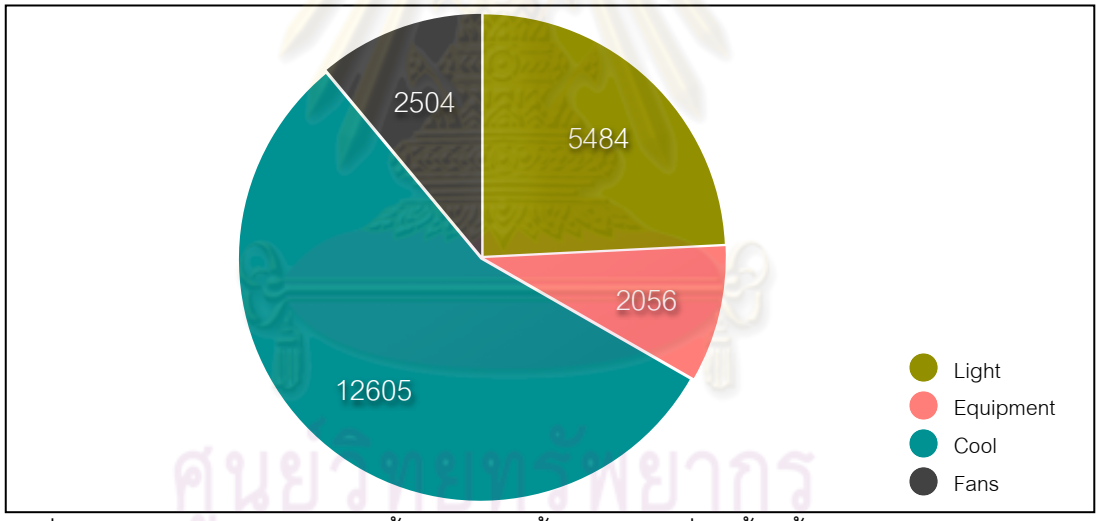
เดือน	**ปริมาณการใช้ไฟฟ้า** (kWh/y)	Temperature °C
JAN	2.67135	33 - 23
FEB	2.86330	35 - 26
MAR	3.31383	33 - 26
APR	3.12980	36 -26
MAY	3.47569	36 -26
JUN	3.22342	34 - 27
JUL	3.00532	33 - 27
AUG	3.09624	33 - 26
SEP	2.81232	32 - 27
OCT	2.86544	33 - 26
NOV	2.73752	33 - 26
DEC	2.38437	34 - 25
Total	35.579	

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี

	ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด (kWh/y)
Light	5.5
Equipment	2.1
Space Cool	11.6
Vent Fans	2.5
Total	21.6



รูปที่ 4.7 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.5)



รูปที่ 4.8 กราฟแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.6)

สรุปค่าไฟฟ้า

2) ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด (Option 1) = 57.179 kWh/y

ค่าไฟฟ้า 3.5 บาทต่อหน่วย

ค่าไฟฟ้า

พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 20,012.65 บาท/ปี

= 1,667.720 บาท/เดือน

สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 162.371 บาท/เดือน

3) แผ่นฉนวนจากฟางข้าว (Option 2)

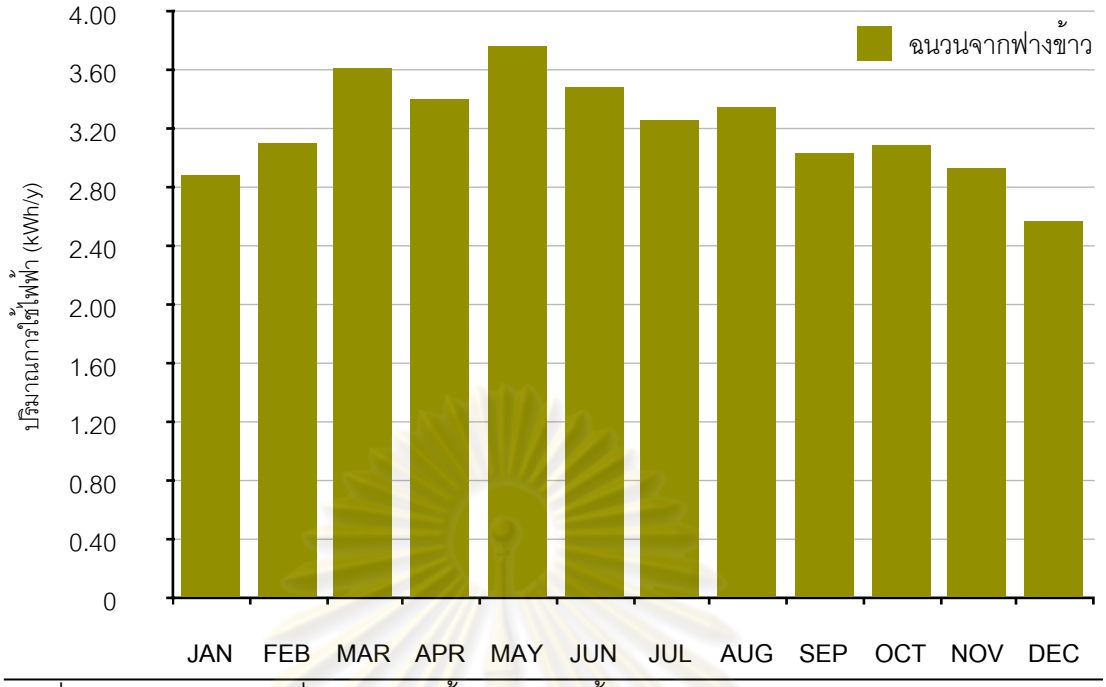
ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ภายในอาคารตลอดปี

เดือน	**ปริมาณการใช้ไฟฟ้า** (kWh/y)	Temperature °C
JAN	2.95467	32 - 21
FEB	3.1796	32 - 26
MAR	3.71377	33 - 26
APR	3.4954	36 -26
MAY	3.86185	36 -26
JUN	3.56786	34 - 27
JUL	3.33991	33 - 27
AUG	3.43273	33 - 26
SEP	3.10423	32 - 27
OCT	3.1617	33 - 26
NOV	3.0015	34 - 26
DEC	2.63224	34 - 25
Total	39.446	

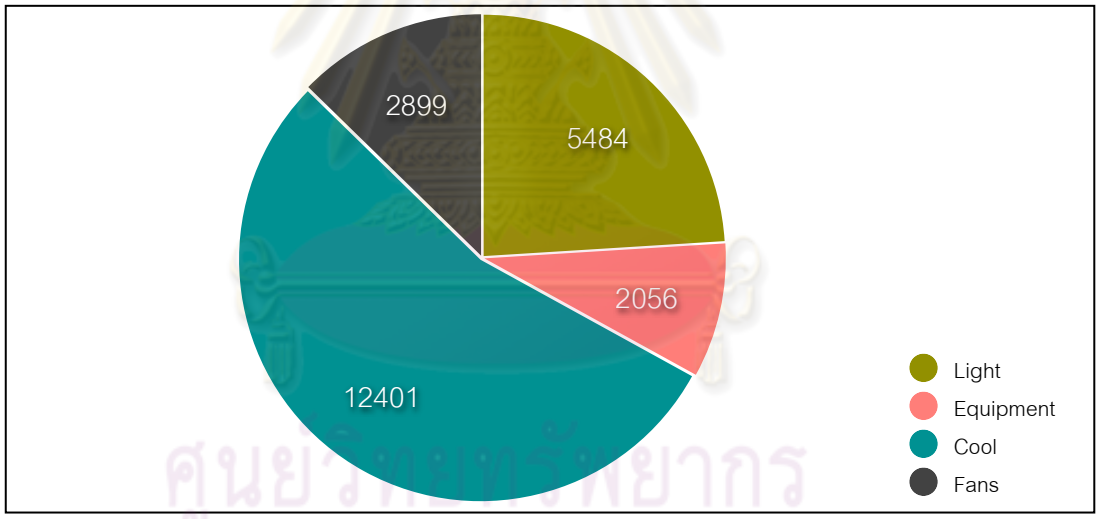
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี

	แผ่นฉนวนจากฟางข้าว (kWh/y)
Light	5.5
Equipment	2.1
Space Cool	12.5
Vent Fans	2.9
Total	22.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.7)



รูปที่ 4.10 กราฟแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.8)

สรุปค่าไฟฟ้า

3) แผ่นฉนวนจากฟางข้าว หนา 10 มม. (Option 2) = 61.371 kWh/y

ค่าไฟฟ้า 3.5 บาทต่อหน่วย

ค่าไฟฟ้า

พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 21,479.850 บาท/ปี

= 1,789.980 บาท/เดือน

สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 40.111 บาท/เดือน

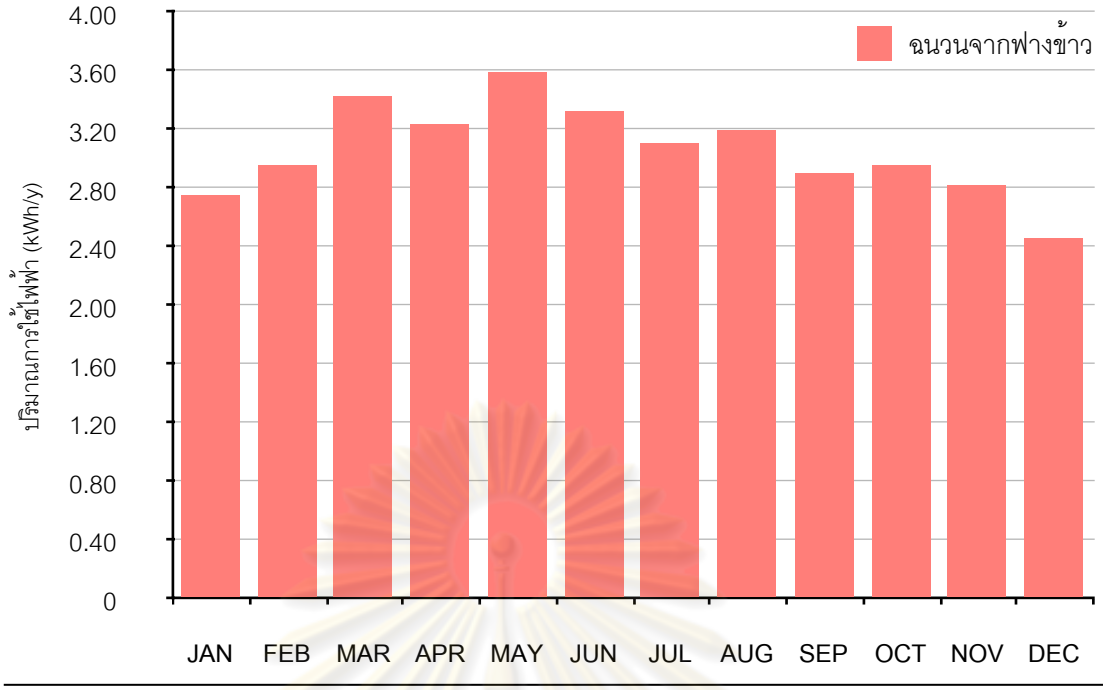
4) แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ (Option 3)

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ ภายในอาคารตลอดปี

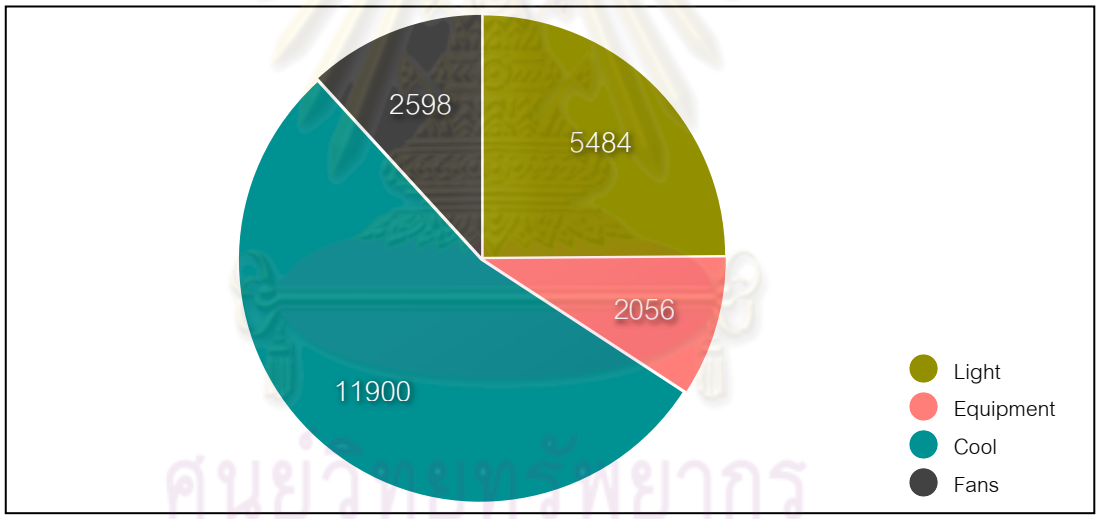
เดือน	**ปริมาณการใช้ไฟฟ้า** (kWh/y)	Temperature °C
JAN	2.74943	33 - 23
FEB	2.95035	35 - 26
MAR	3.42436	33 - 26
APR	3.23203	36 -26
MAY	3.58514	36 -26
JUN	3.32024	34 - 27
JUL	3.09822	33 - 27
AUG	3.19025	33 - 26
SEP	2.89515	32 - 27
OCT	2.94910	33 - 26
NOV	2.81245	33 - 26
DEC	2.45162	34 - 25
Total	36.658	

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี

	แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ (kWh/y)
Light	5.5
Equipment	2.1
Space Cool	11.9
Vent Fans	2.6
Total	22.1



รูปที่ 4.11 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.9)



รูปที่ 4.12 กราฟแผนภูมิแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.10)

สรุปค่าไฟฟ้า

4) แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ (Option 3) = 57.679 kWh/y

ค่าไฟฟ้า 3.5 บาทต่อหน่วย

ค่าไฟฟ้า

พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 20,187.65 บาท/ปี

= 1,682.304 บาท/เดือน

สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 147.787 บาท/เดือน

4.3.3 ผลการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานภายในอาคารโดยการจำลองสภาพอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยมีวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี (kWh/y)

	แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว	**ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด**	**แผ่นฉนวนจากฟางข้าว**	**แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ**
Light	5,500	5,500	5,500	5,500
Equipment	2,100	2,100	2,100	2,100
Space Cool	12,800	11,600	12,500	11,900
Vent Fans	3,000	2,500	2,900	2,600
Total	23,300	21,600	22,900	22,100

ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี

COST	**ค่าไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี**
แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว	21,961.1 บาท
ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด	20,012.65 บาท
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว	21,479.85 บาท
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	20,187.65 บาท

สรุปค่าไฟฟ้า

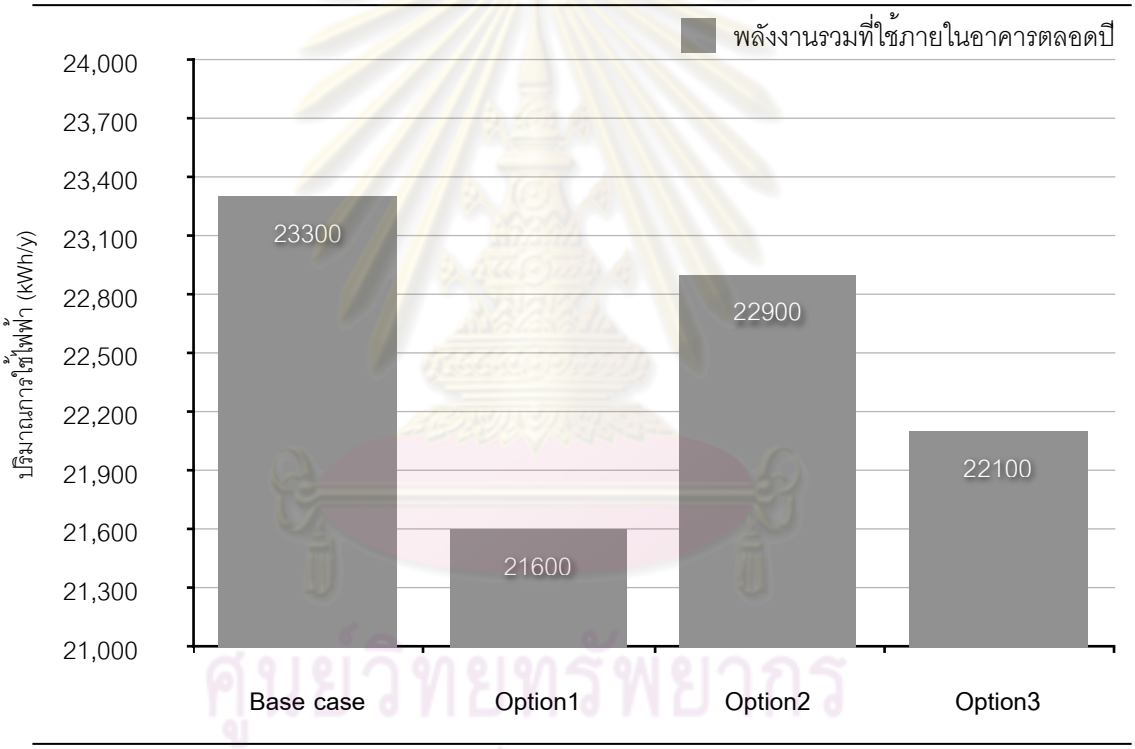
1) แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว หนา 15 มม.(Base case) = 62.746 kWh/y
ค่าไฟฟ้า = 21,961.1 บาท/ปี
พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,830.091 บาท/เดือน

2) ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด (Option 1) = 57.179 kWh/y
ค่าไฟฟ้า = 20,012.65 บาท/ปี
พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,667.720 บาท/เดือน
สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 162.371 บาท/เดือน

3) แผ่นฉนวนจากฟางข้าว หนา 10 มม. (Option 2) = 61.371 kWh/y
ค่าไฟฟ้า = 21,479.850 บาท/ปี
พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,789.980 บาท/เดือน
สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 40.111 บาท/เดือน

4) แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ (Option 3) = 57.679 kWh/y
ค่าไฟฟ้า = 20,187.65 บาท/ปี
พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,682.304 บาท/เดือน
สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 147.787 บาท/เดือน

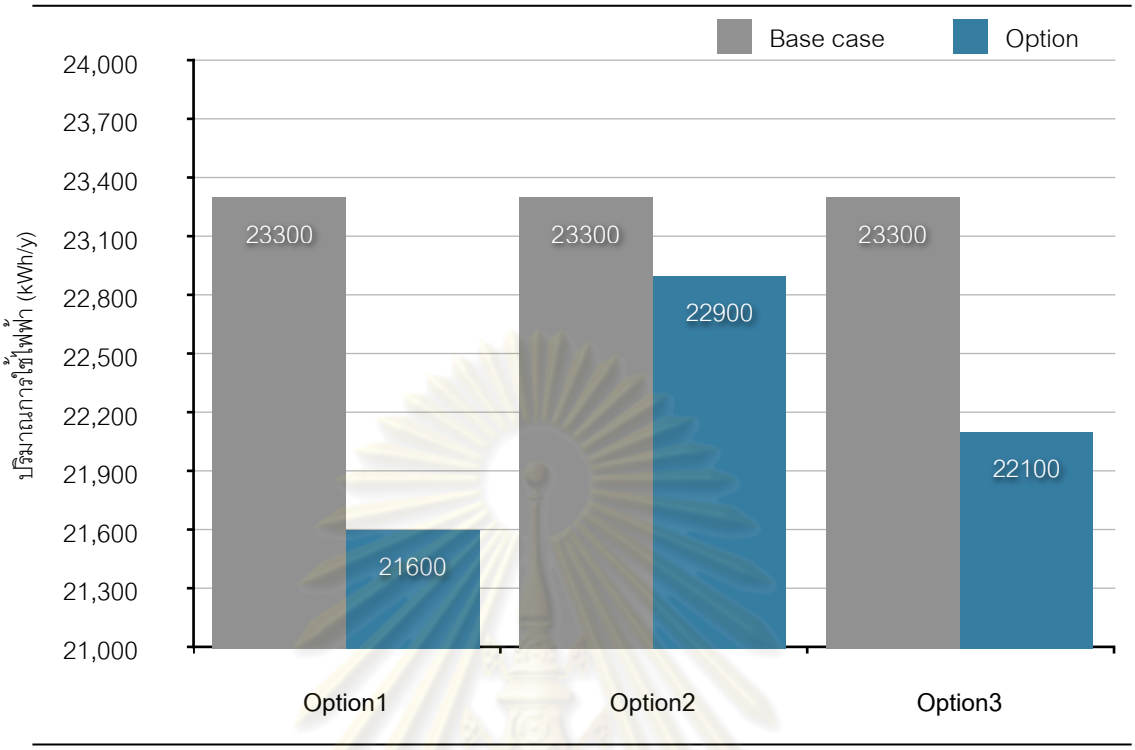
แผนภูมิแท่งแสดงการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี



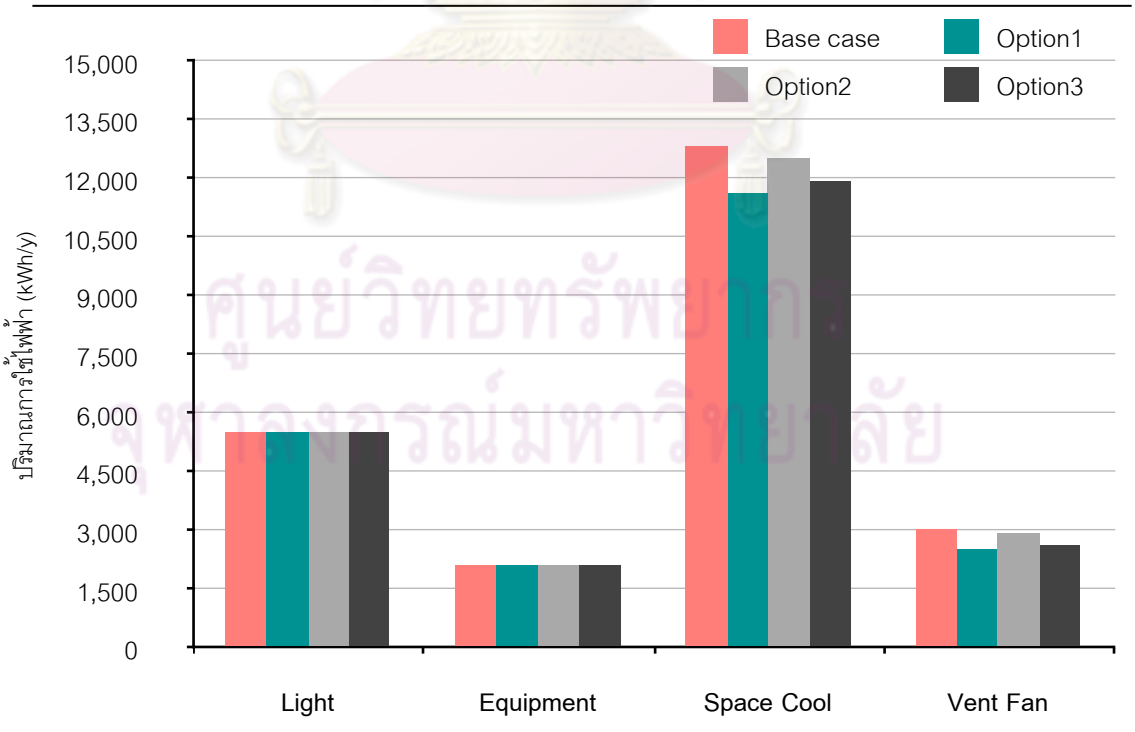
รูปที่ 4.12 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)

จะสังเกตเห็นว่าผลของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ มีค่าใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด อีกทั้งยังสามารถลดค่าไฟฟ้าภายในอาคารได้ถึง 50% จากวัสดุธรรมดาทั่วไป และสามารถเก็บเงิน ค่าไฟฟ้า ได้ถึง 1,478 บาท/เดือน หรือ 16,823 บาท/ปี

แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี กับ ต้นแบบ (Base case)



รูปที่ 4.13 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)



รูปที่ 4.14 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)

4.4 สรุปรายละเอียดต้นทุนในการผลิต และวัสดุต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

จากผลการทดสอบทั้งเรื่องคุณสมบัติความเป็น ฉนวนและการใช้พลังงานภายในอาคาร จะเห็นว่าแผ่นฝ้าเพดานที่ได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีศักยภาพดีที่สุดในด้านพลังงาน ซึ่งในการผลิตแม้ว่าวัสดุที่นำมาใช้จะเป็นเศษเหลือจากเกษตรกรรม แต่ยังมีกาวผง ที่เป็นวัสดุประสานและวัสดุโครงสร้างที่อยู่ภายในแผ่นวัสดุคือ ลวดตาไก่ ดังนั้น ต้นทุนในการผลิต แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ความหนาแน่น 450 กก./ลบ.ม. ขนาด 0.60 x 0.60 x 0.015 เมตร 1 แผ่น จะใช้กาวประมาณ 400 กรัม / แผ่น คิดเป็นเงิน 47.8 บาท ดังตารางที่ 4.13 ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพจะด้อยกว่าฉนวนใยแก้วเล็กน้อย แต่เมื่อเทียบกับราคาฉนวนใยแก้ว ขนาดเท่ากัน ในราคา 174 บาท/ แผ่น จะเห็นว่า แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ มีต้นทุนวัสดุถูกกว่าฉนวนใยแก้วมาก คือ 126.2 บาท/ แผ่น ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.13 สรุปต้นทุนการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ต่อ หนึ่งแผ่น ขนาด 60 x 60 ซม. หนา 15 มม.

วัสดุ	**ราคาต่อชิ้น ขนาด** (60cm. x 60cm.) **บาท**
1. ฟางข้าว	4.00
2. มะพร้าวสับ	4.00
3. กาวผง	9.66
4. ผงปูนยิบซัม	1.80
5. น้ำยาผสมปูนยิบซัม	7.12
6. ไม้แบบ	0.22
7. ลวดตาไก่	15.00
8. ค่าแรง	2.00
9. ค่าดำเนินการ	2.00
10. อื่นๆ	2.00
รวม/แผ่น	**47.8**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 รายละเอียดวัสดุทั้งหมดในการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ขนาด 60 x 60 ซม. หนา 15 มม.

วัสดุ	ราคา (บาท)
1. ฟางข้าว 1กระสอบ	20
2. มะพร้าวสับ 1กระสอบ	20
3. กาวผง	145
4. ผงปูนยิบซัม	18
5. น้ำยาผสมปูนยิบซัม	285
6. ไม้แบบ 2.50m.	220
7. ไม้อัด 10mm. (240x120)	320
8. ลวดตาไก่ 1m.	30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ

- ฟางข้าว 1กระสอบ สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 80แผ่น
- มะพร้าวสับ 1กระสอบ สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 80แผ่น
- กาวผง 1 กระป๋อง สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 15แผ่น
- ผงปูนยิบซัม 1ถุง สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 10แผ่น
- ลวดตาไก่ 1m. สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 2แผ่น
- น้ำยาผสมปูนยิบซัม 1 กระป๋อง = 40แผ่น

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบราคาแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ กับวัสดุตามท้องตลาดในรูปแบบระบบโครงเคร่า (T-Bar)

ชนิดวัสดุ	ต้นทุน (บาท)	ติดตั้ง (บาท)	น้ำหนัก (กก.)
แผ่นไม้อัด	108	350	3
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา	34	338	3.2
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดทนไฟ	125	390	8.5
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดอลูมิเนียมฟอยล์	99	369	6.2
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดทนความชื้น	99	370	6.8
แผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว	-	320	1.3
แผ่นฉนวนกันความร้อนจากชานอ้อย	-	320	0.7
แผ่นฉนวนจากซังข้าวโพด	24	320	1.6
แผ่นฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง	69	320	4.6
ใยแก้ว	174	540	2.1
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	48	320	1
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	48	320	1.2
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	50	320	1.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารหรือค่าใช้จ่ายในแต่ละเดือนของแต่ละตัวอย่างที่นำไปทดสอบพบว่า ค่าของการใช้พลังงานมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุเพียงอย่างเดียว คือ ฝ้าเพดาน ดังนั้นค่าการใช้พลังงานภายในอาคารจึงไม่แตกต่างกันมากนัก ผลการทดลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับข้อมูลการศึกษาที่ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้ามา เช่น ค่าการถ่ายเทความร้อน ความหนา และ ความชื้นของแผ่นวัสดุ ทำให้แนวโน้มในการทดลองเป็นไปทำที่ผู้วิจัยได้คาดการณ์ไว้ จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 หรือแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี พบว่าแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ มีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับแผ่นยิปซั่มบอร์ด + ฉนวนใยแก้ว ตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดนี้ต่างกันตรงที่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของฉนวนใยแก้วมีต้นทุนที่สูงกว่าทุกๆตัวอย่าง โดยเฉพาะแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับถึง 20 เท่าจึงทำให้แผ่นวัสดุที่ได้พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยชิ้นนี้มีข้อได้เปรียบกว่า อีกทั้งถ้าเปรียบเทียบทุกๆ งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตงานวิจัยชิ้นนี้ยังพัฒนาข้อเสียของแต่ละงานวิจัยที่ผ่านมาด้วย อาทิเช่น ความร้อน ความชื้น และ แมลง โดยนำเอาปูนยิปซั่มมาฉาบเรียบกับแผ่นวัสดุ เพื่อแก้ไขข้อเสียต่างๆ ที่งานวิจัยอื่นๆ เคยผ่านมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยคุณสมบัติความเป็นฉนวนและประสิทธิ์ภาพการป้องกันความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นก่อนเกาะยึดกันในระดับความหนาที่ต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 วัสดุและความหนาแน่นชนิดเดียวกัน แต่ความหนาต่างกัน จะมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนต่างกัน คุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความหนา โดยแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับที่มีความหนาน้อยที่สุด มีขนาด 15 มม. จะมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีกว่าแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับหนามากที่สุด คือ 30 มม. เนื่องจากความหนาที่มากขึ้นจะทำให้การนำความร้อนและความชื้น เกิดขึ้นมากตามไปด้วย เมื่อนำแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ หนา 15 มม. เปรียบเทียบกับ แผ่นฉนวนจากฟางข้าว แผ่นยิปซั่มบอร์ด และใยแก้ว พบว่ามีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีกว่าโดยเทียบในขนาดความหนาเดียวกัน

5.1.2 ฉนวนที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีประสิทธิภาพการป้องกันความใกล้เคียงกับใยแก้ว ความหนาแน่น 16 กก./ ลบ.ม. หนา 2.50 ซม. และมีต้นทุนวัสดุที่ต่ำกว่า ดังนี้

1) แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว หนา 15 มม.(Base case) = 62.746 kWh/y
   ค่าไฟฟ้า = 21,961.1 บาท/ปี
   พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,830.091 บาท/เดือน
2) ฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด (Option 1) = 57.179 kWh/y
   ค่าไฟฟ้า = 20,012.65 บาท/ปี
   พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,667.720 บาท/เดือน
   สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 162.371 บาท/เดือน
3) แผ่นฉนวนจากฟางข้าว หนา 10 มม. (Option 2) = 61.371 kWh/y
   ค่าไฟฟ้า = 21,479.850 บาท/ป
   พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,789.980 บาท/เดือน
   สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 40.111 บาท/เดือน
4) แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ (Option 3) = 57.679 kWh/y
   ค่าไฟฟ้า = 20,187.65 บาท/ปี
   พื้นที่บ้าน 90 ตร.ม . = 1,682.304 บาท/เดือน
   สามารถรักษาเงิน ค่าไฟฟ้าได้ = 147.787 บาท/เดือน

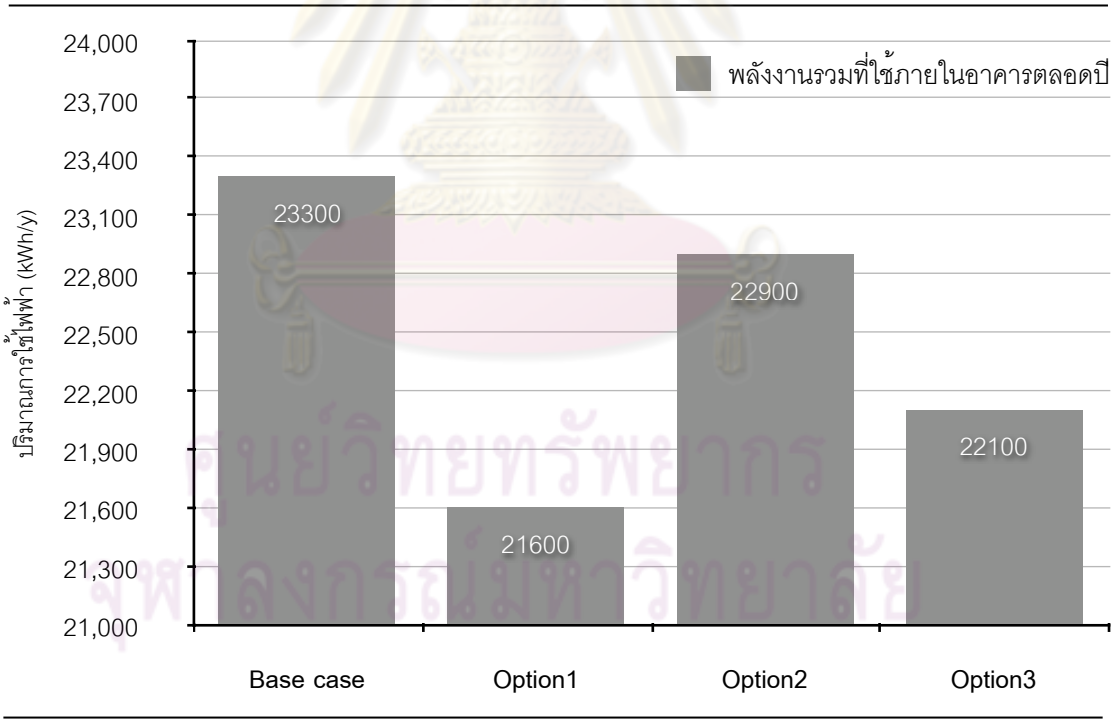
5.1.3 สมบัติทางด้านการนำความร้อน (Thermal Conductivity) มาตรฐาน ASTM C-177 ที่ส่งผลกระทบการแปรผันของความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยอัดจากฟางข้าว เนื่องจากการตรวจสอบชิ้นทดสอบที่ตัดจากแผ่นทดลอง เพื่อหาค่าความหนาแน่น ค่าความแปรผันที่เกิดจากความ

แตกต่างของความหนาแน่นของแผ่นเส้นใยอัดที่ไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่น และมวลที่ใช้ในการทดสอบใช้มวลที่ได้จากการอบแห้ง (Oven Dry Weight) เป็นหลักเพื่อลดการแปรผันของน้ำหนักทำให้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านการนำความร้อนเปลี่ยนแปลงไป แต่โดยภาพรวมยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นสูงขึ้น

5.2 การประยุกต์ใช้ในการออกแบบและเลือกใช้วัสดุฝ้าเพดาน

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมของอาคารจากการประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์ พบว่า มีค่าการใช้พลังงานแตกต่างกันมาก ในลักษณะของวัสดุชิ้นเดียว เช่น แผ่นยิปซั่ม กับ แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ดังรูปที่ 5.1 และมีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกันในรูปแบบของวัสดุสองชนิด เช่น แผ่นยิปซั่มบอร์ด + ฉนวนใยแก้ว กับ แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ (ดังรูปที่ 5.1) สามารถกันความร้อนได้ใกล้เคียงกัน แต่ถ้าเทียบในความหนาที่ขนาดเดียวกันแล้ว แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับจะมีค่าการถ่ายเทความร้อนและราคาต่อตารางเมตรที่ดีกว่า แผ่นยิปซั่มบอร์ด + ฉนวนใยแก้ว โดยเมื่อเปรียบเทียบการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยที่มีแผ่นฝ้าเพดานเป็นยิปซั่มธรรมดา กับการก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยที่มีแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ มีผลต่างๆ ดังนี้

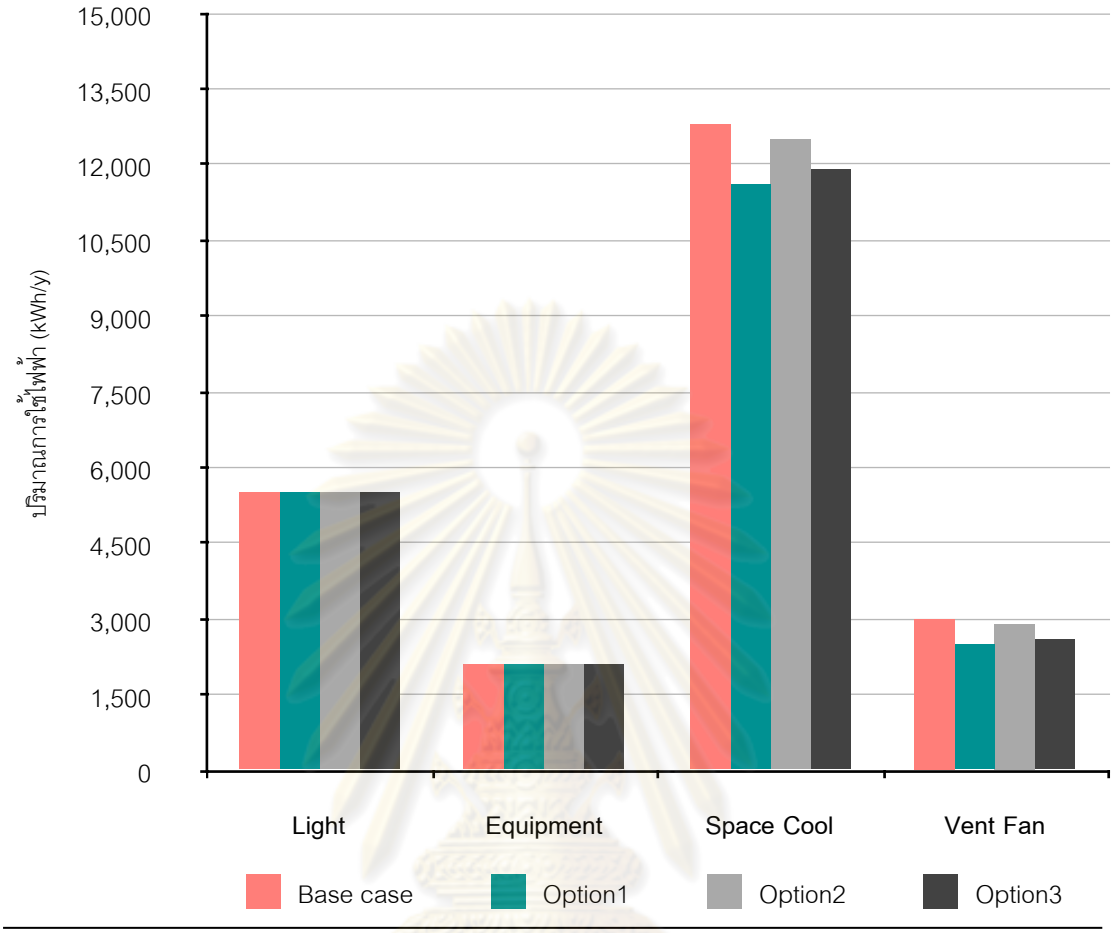
แผนภูมิแท่งแสดงการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี (kWh/y)



รูปที่ 5.1 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี

1) Base case คือ แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว
2) Option1 คือ แผ่นยิปซั่มบอร์ด + ฉนวนใยแก้ว
3) Option2 คือ แผ่นฉนวนจากฟางข้าว
4) Option3 คือ แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

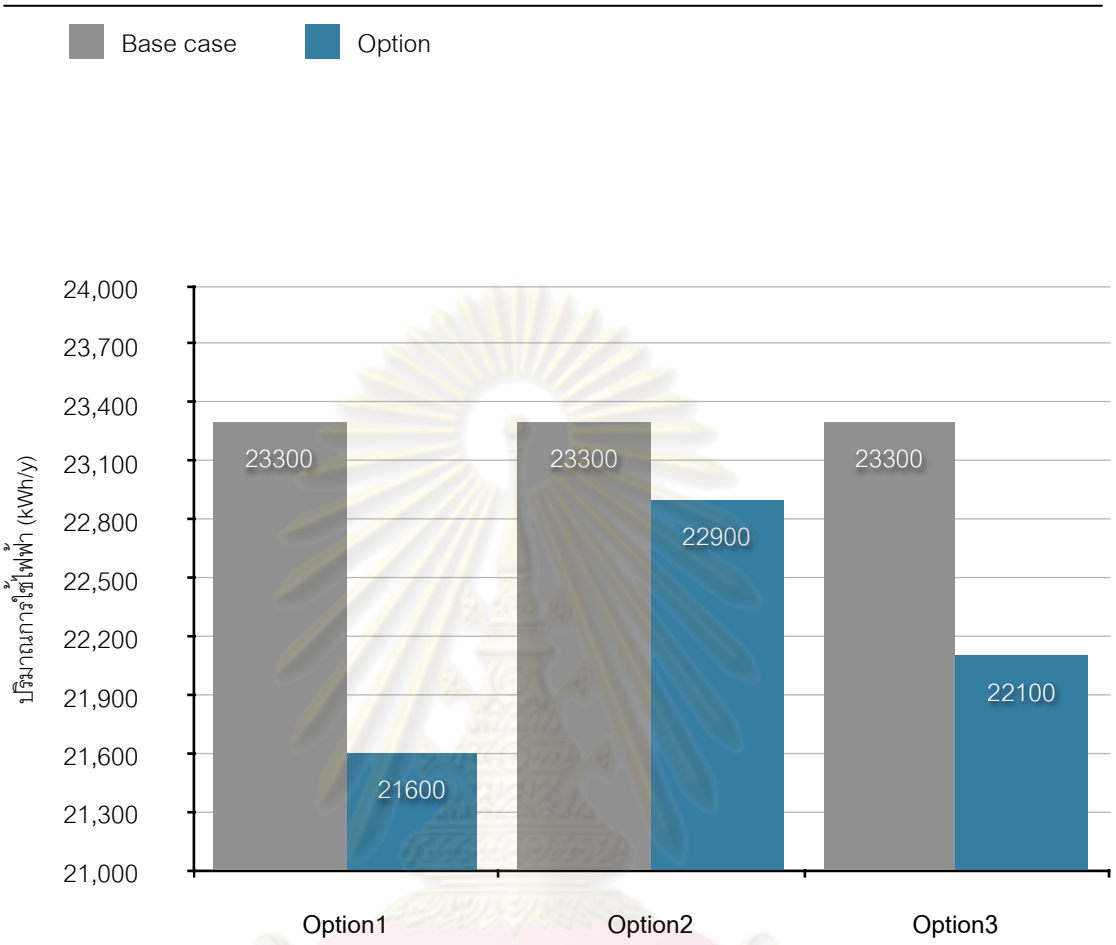
5.2.1 ด้านประหยัดพลังงาน



รูปที่ 5.2 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี

เมื่อพิจารณาเฉพาะปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารหรือค่าใช้จ่ายในแต่ละเดือนของแต่ละตัวอย่างที่นำไปทดสอบพบว่า ค่าของการใช้พลังงานมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุเพียงอย่างเดียว คือ ฝ้าเพดาน ดังนั้นค่าการใช้พลังงานภายในอาคารจึงไม่แตกต่างกันมากนัก ผลการทดลองมีแนวโน้มที่สอดคล้องกับข้อมูลการศึกษาที่ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้ามา เช่น ค่าการถ่ายเทความร้อน ความหนา และ ความชื้นของแผ่นวัสดุ ทำให้แนวโน้มในการทดลองเป็นไปทำที่ผู้วิจัยได้คาดการณ์ไว้ จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 หรือแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี พบว่าแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ มีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับแผ่นยิปซั่มบอร์ด + ฉนวนใยแก้ว ตัวอย่างทั้ง 4 ชนิดนี้ต่างกันตรงที่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งของฉนวนใยแก้วมีต้นทุนที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ โดยเฉพาะแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับถึง 20 เท่าจึงทำให้แผ่นวัสดุของผู้วิจัยมีข้อได้เปรียบกว่า อีกทั้งถ้าเปรียบเทียบทุกๆ งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตงานวิจัยชิ้นนี้ยังพัฒนาข้อเสียของแต่ละงานวิจัยที่ผ่านมาด้วย อาทิเช่น ความร้อน ความชื้น และ แมลง โดยนำเอาปูนยิปซั่มมาฉาบเรียบกับแผ่นวัสดุ เพื่อแก้ไขข้อเสียต่างๆ ที่งานวิจัยอื่นๆ เคยผ่านมา

แผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งปี กับ ต้นแบบ (Base case)



รูปที่ 5.3 กราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบ การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารตลอดปี (จากตารางที่4.11)

จะสังเกตเห็นว่าผลของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ มีค่าใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้วและแผ่นยิปซั่มบอร์ด อีกทั้งยังสามารถลดค่าไฟฟ้าภายในอาคารได้ถึง 50% จากวัสดุธรรมดาทั่วไป และสามารถเก็บเงิน ค่าไฟฟ้า ได้ถึง 1,478 บาท/เดือน หรือ 16,823 บาท/ปี

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมภายในอาคารตลอดปี (kWh/y)

	แผ่นยิปซั่มบอร์ดอย่างเดียว	แผ่นยิปซั่มบอร์ด + ฉนวนใยแก้ว	แผ่นฉนวนจากฟางข้าว	แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ
Light	5,500	5,500	5,500	5,500
Equipment	2,100	2,100	2,100	2,100
Space Cool	12,800	11,600	12,500	11,900
Vent Fans	3,000	2,500	2,900	2,600
Total	23,300	21,600	22,900	22,100

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาฉนวนที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรข้างต้น อาจสรุปได้ว่า ความชื้นและความหนามีส่วนสำคัญต่อคุณสมบัติความเป็นฉนวนและการลดความร้อน โดยฉนวนที่มีความหนาน้อยจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดีกว่าฉนวนที่มีความหนามาก เนื่องจากความชื้นที่มากเกินไปทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนมากขึ้น และจะสังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ที่พบในการวิจัยนี้มีค่าดีกว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่นอันเนื่องมาจากการผสมผสานวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนที่ดีที่สุดสองชนิดเข้าด้วยกัน คือ ฟางข้าวกับมะพร้าวสับ จึงทำให้วัสดุมีช่องว่างอากาศมากกว่างานวิจัยอื่นๆ อาทิเช่น แผ่นฉนวนจากฟางข้าว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่มีผู้นำมาศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเป็นฉนวน โดยมีค่าดังกล่าวอยู่ระหว่าง 0.056-0.095 วัตต์ / เมตร เคลวิน แผ่นฉนวนจากซังข้าวโพดและต้นมันสำปะหลัง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.063-0.059 วัตต์/ เมตร เคลวิน เป็นต้น ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ เท่ากับ 0.046-0.060 วัตต์/ เมตร เคลวิน ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับจะมีค่าที่ใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนจากฟางข้าวและใยแก้วเลยทีเดียว

ในขณะที่แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ ความหนา 15 มม. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.046 วัตต์/ เมตร เคลวิน ซึ่งน้อยกว่าแผ่นยิปซั่มบอร์ดถึง 20เท่า โดยแผ่นยิปซั่มบอร์ดมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ 0.353 และ 0.288 วัตต์ / เมตร เคลวิน ดังตารางที่2 ตามลำดับโครงคร่าวฝ้าเพดานหรือจะใช้ในลักษณะเป็นฝ้าทีบาร์ภายใน เนื่องจากมีต้นทุนวัสดุต่ำ จึงมีความเป็นไปได้ที่ผู้อยู่อาศัยในชนบทจะนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ และถ้าต้องการลดความร้อนให้ดียิ่งขึ้น อาจนำวิธีการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับมาพัฒนาด้วยตนเองได้อีกทาง

การศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้เป็นฝ้าเพดานสำหรับอาคารบ้านพักอาศัย มีข้อเสนอแนะเพื่อประโยชน์ในการพัฒนาข้อมูลให้ดี ยิ่งขึ้นในอนาคตดังนี้

5.3.1 การศึกษาในครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องเครื่องมืออุปกรณ์ในการผลิต และตู้อบวัสดุเพื่อทำหน้าที่ไร้ความชื้นออกให้ได้มากที่สุด ในอนาคตควรที่จะศึกษาในเรื่องของผลกระทบของวัสดุที่มีความหนาแน่นมากต่อวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยเพื่อให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนมากยิ่งขึ้น

5.3.2 ควรผลิตแผ่นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในวันที่ไม่มีฝนหรือวันที่มีความชื้นต่ำ เนื่องจากความชื้นที่มากขึ้นภายในวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรจะส่งผลต่อประสิทธิ์ภาพการถ่ายเทความร้อนของแผ่นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

5.3.3 การศึกษาครั้งนี้พิจารณาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองสภาพอากาศภายนอกตลอดปีเพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานภายในอาคารตัวอย่างและทำการเปรียบเทียบราคากับวัสดุที่มีอยู่ในท้องตลาด เน้นเฉพาะฝ้าเพดานเท่านั้น ซึ่งการวิจัยในอนาคตควรเพิ่มตัวแปรทางด้านอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น ผนังอาคาร พื้นอาคาร

5.3.4 การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดความเข้าใจเฉพาะด้านการประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน, การป้องกันความร้อนของอาคารบ้านพักอาศัยที่ใช้วัสดุฝ้าเพดานที่แตกต่างกัน, การป้องกันไฟ และราคาต้นของวัสดุแต่ละชนิดเท่านั้น ดังนั้นในการวิจัยในอนาค ควรนำปัจจัยทางด้านอื่น เช่น ประสิทธิภาพการกันแมลง การนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุ (Recycle) คุณสมบัติด้านโครงสร้างมาพิจารณาเพิ่ม เติมเพื่อเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

5.3.5 การศึกษาครั้งนี้พิจารณาเฉพาะอาคารบ้านพักอาศัยที่มีการปรับอากาศภายในตลอด 24 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งการวิจัยในอนาคตควรพิจารณาเปรียบเทียบในสภาวะอื่น ๆ เช่น สภาวะไม่ปรับอากาศ และสภาวะปรับอากาศในช่วงเช้า-เย็น

5.3.6 การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้ทดลองเรื่องระยะเวลาการทนไฟและการกันแมลงอย่างจริงจัง ดังนั้นผู้ที่มาศึกษาต่อจึงควรจะศึกษาเรื่องนี้เพิ่มเติม

5.3.7 เนื่องจากการผลิตแผ่นฝ้าเพดานของวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้ไม่ได้ทำเป็นระบบอุสาหกรรม จึงไม่สามารถ ควบคุมมาตราฐานการผลิตได้อยู่สมบูรณ์จึงทำให้เกินความคลาดเคลื่อนของค่าความหนาแน่นของวัสดุ ส่งผลให้ค่า Density ของวัสดุไม่เท่ากัน ดังนั้นผู้ที่มาศึกษาต่อความที่จะควบคุมมาตราฐานการผลิตให้มากกว่านี้

5.4 **สรุป**

อาคารส่วนใหญ่ในเขตร้อนชื้นจะมีการติดตั้งฉนวนกันความร้อนบริเวณฝ้าเพดานเพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม และเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงเสนอให้มีการพัฒนาฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เพื่อลดความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร และลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต และคุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ขนาด ความกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร เน้นการใช้ฟางข้าวและมะพร้าวสับเป็นวัตถุดิบ โดยแผ่นฉนวนฝ้าเพดานที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ ความหนาที่แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ 15, 20 และ 30 มิลลิเมตร จากการ

ศึกษา พบว่า อัตราส่วนของฟางข้าว, มะพร้าวสับ และกาวผง คือ 3 : 1 : 1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 พบว่า ความชื้นและความหนามีผลต่อคุณสมบัติความเป็นฉนวน โดยฉนวนที่มีความหนาน้อยจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดีกว่าฉนวนที่มีความหนามาก เนื่องจากความชื้นที่มากเกินไปทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน และจะสังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่พบในงานวิจัยนี้มีค่าดีกว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่น อันเนื่องมาจากการผสมผสานวัสดุที่มีค่าความเป็นฉนวนที่ดีที่สุดสองชนิดเข้าด้วยกัน คือ ฟางข้าวและมะพร้าวสับ อีกทั้ง แผ่นฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรยังมีศักยภาพในการผลิตเป็นฉนวนความร้อน โดยมีค่าการนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.0460 - 0.0603 วัตต์/ เมตร เคลวิน จากการศึกษางานวิจัยชิ้นนี้สรุปว่า แนวโน้มในการพัฒนาฉนวนฝ้าเพดานจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีแนวโน้มความเป็นไปได้สูง เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและสามารถใช้งานได้จริง หากแต่ยังต้องพัฒนาคุณสมบัติทางด้านการทนไฟ และ ด้านการกันความชื้น

5.5 การนำไปสู่การประยุกต์ใช้จริง

ถึงแม้ว่าแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับได้ถูกพัฒนามาในระดับที่ดีขึ้นกว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ทั้งในด้านการกันไฟ การกันแมลง ความชื้น และ โครงสร้าง แต่ยังต้องได้รับการศึกษาวิจัยต่อไป อันเนื่องมาจากการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อนในระดับหนึ่ง อีกทั้งเรื่องระยะเวลาในการผลิตที่ยาวนานจึ่งส่งผลต่อการผลิตในปริมาณมาก แต่ทั้งนี้แผ่นฝ้าเพดานยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในงานลักษณะอื่นๆ ได้ด้วย เช่น เป็นวัสดุตกแต่งภายในเครื่องเรือน ใช้ทำบอร์ดสำหรับติดประกาศต่าง ๆ ลักษณะเดียวกับแผ่นฉนวนจากฟางข้าว หรือใช้แทนแผ่นบอร์ดไม้คอร์ค ซึ่งเป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ เป็นต้น แต่ปัจจุบันฉนวนที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหลายชนิดยังคงอยู่ในวงการศึกษาวิจัย และหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องเท่านั้น เช่น กลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้และป้องกันรักษาเนื้อไม้ สำนักงานวิจัยการจัดการป่าไม้กรมป่าไม้ แต่ยังขาดหน่วยงานในระดับท้องถิ่นที่มีความสนใจอย่างจริงจัง ที่จะลองนำผลที่ได้จากการวิจัยไปทดลองผลิตเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับชุมชนที่มีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าแก่วัสดุเหลือใช้อย่างแท้จริง เพราะนอกจากจะผลิตเพื่อใช้เองหรือเพื่อความประหยัดแล้วยังอาจพัฒนาเป็นสินค้าหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบลที่สร้างรายได้เสริมให้แก่ชุมชน ลดปริมาณขยะ ลดมลพิษอันเกิดจากการเผาทำลาย และสร้างความมั่งคงให้เกิดกับชุมชนอีกทางเนื่องด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. โรงพิมพ์คอมฟอร์ม: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2549.

กิตติศักดิ์ บัวศรี. การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.

ณัฐกานต์ เกษประทุม. พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของผนังอาคารที่มีมวลสารมาก, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ธนัญชัย ปคุณวรกิจ. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2549.

ประยูร สุรินทร์, การผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ธนบุรี, 2544.

วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง การใช้ฉนวน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ: คอมฟอร์ม, 2543.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย. นักวิชาการป่าไม้ ระดับ 8 หัวหน้ากลุ่มงานพัฒนาอุตสาหกรรมไม้และป้องกันรักษาเนื้อไม้. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. สัมภาษณ์, ตุลาคม 2548.

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. พัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, กรม. อนุรักษ์พลังงาน, กอง. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพฯ: กองอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536.

สุนทร บุญญาธิการ และอุษณีย์ มิ่งมงคล. การใช้ฉนวน, เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คอมฟอร์ม, 2543.

สโรชา เจริญวัย, แผ่นฉนวนความร้อนจากใยมะพร้าวและเปลือกทุเรียน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าธนบุรี, 2544

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. โครงการทำฐานข้อมูลผนังอาคารในประเทศไทยสำหรับการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน, โรงพิมพ์กรุงเทพ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548

ภาษาอังกฤษ

ASHRAE. Handbook of Fundamentals 2001. Georgia: American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineer, 2001.

Irene Addison, Climate Change and the Greenhouse Effect[Online]. Available from: http://www.coolwilliamstown.org/what_is.php[2009,May].

Kwang-Woo kim. Thermal Performance Simulation of Opaque Building Envelopes. Doctoral Dissertation, University of Michigan, 1984.

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

Michael Bauer, Peter Msle, and Michael Schwarz. "Green Building Guidebook for Sustainable Architecture," Drees & Sommer Advanced Building Technologies. Callwey Verlag, Munich, 2007: p.153

Moore, Fuller. Environmental control system. Singapore:McGraw-Hill. 1993.

Olgyay, Victor. Design with Climate. Fourth Printing. Princeton University Press, 1973.

R.M.E.Diamant M.SC. Insulation of Buildings Thermal and Acoustic. United States, 1965.

Santomouris, M. Passive Cooling of Buildings. London: Antony Rowle, 1996.

Stein, B., and Reynolds, J.S. Mechanical and Electrical Equipment for Building. 8th Edition. New York: John Wily & Sons, 1992

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. **รายการสัญลักษณ์**

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับรังสีอาทิตย์

τ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอาทิตย์

ρ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอาทิตย์

ℓ คือ ความยาวที่ต้องการศึกษา (Characteristic length) (m)

d คือ ค่าเฉลี่ยความหนาของชั้น (m)

h_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (W/(m^2.K))

k คือ ค่าการนำความร้อนของวัตถุ (W/(m.K))

k_f คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหล (W/(m.K))

Gr คือ ค่ากราซอฟนัมเบอร์

Nu คือ ค่านัสเซลท์นัมเบอร์

Ra คือ ค่าแรลีนัมเบอร์

Re คือ ค่าเรโนลด์นัมเบอร์

H คือ ความสูงของช่องอากาศ (m)

H_g คือ ความสูงของกระจก (m)

I_t คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนผิววัตถุ (W/m^2)

L คือ ความกว้างของช่องอากาศ (m)

Q_s คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (W/m^2)

Q_{dsf} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนภายในระบบผนังกระจกสองชั้น (W/m^2)

Q_{cd} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (W/m^2)

Q_{cv} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (W/m^2)

R_e คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายนอก (m^2.K/W)

R_{g1} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกชั้นนอก (m^2.K/W)

R_{cv} คือ ค่าความต้านทานภายในช่องอากาศเป็นส่วนกลับของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h_c) (m^2.K/W)

R_{g2} คือ ค่าความต้านทานความร้อนของกระจกชั้นนอก (m^2.K/W)

R_i คือ ค่าความต้านทานความร้อนของฟิล์มอากาศภายใน (m^2.K/W)

SC_{g1} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกชั้นนอก

SC_{g2} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของกระจกชั้นใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T_1-T_2 คือ ความต่างของอุณหภูมิระหว่างจุดทั้งสอง (K)

T_s-T_∞ คือ ความต่างอุณหภูมิระหว่างผิววัตถุกับอากาศ (K)

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ($W/m^2.K$)

U_{dsf} คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบผนังกระจกสองชั้น ($W/m^2.K$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นยางซิลิโคนขนาดน้อยสุด 1.5 cm.

ขนาดน้อยสุด [หนา 1.5cm.]								
TIME	T1	T2	HFM	T	dT	ls		
9.30	68.6	5.1	41.24	36.85	63.5	0.015		
10.30	68.5	5.0	44.34	36.75	63.5	0.015		
11.30	67.75	5.4	42.33	36.575	62.35	0.015		
12.30	68.9	5.2	44.65	40.6	63.7	0.015		
13.30	68.85	5.0	44.12	36.925	63.85	0.015		
14.30	68.5	5.5	42.37	37	63	0.015		
15.30	68.1	5.3	43.11	36.7	62.8	0.015		
16.30	68.45	5.0	45.87	36.725	63.45	0.015		
With silicone rubber mats								
	k1	k2	k3	k4	k5	k6		
	-21.9005	0.2671	5.6997	0.0199	0.0171	0.0000		
Without silicone rubber mats								
	k1	k2	k3	k4	k5	k6		
	(7.5078)	0.2272	3.3226	0.0068	0.0301	(0.0003)		
สูตรหาค่า k	1	2	3	4	5	6	7	8
k1+(k2*T)	0.86452	0.8418	0.80204	1.71652	0.88156	0.8986	0.83044	0.83612
k3+(k4*T)*HFM	147.3579432	158.40465	151.1735523	160.681062	157.6712028	151.438854	153.9958176	163.8627771
k5+(k6*T)	0.019045	0.019075	0.0191275	0.01792	0.0190225	0.019	0.01909	0.0190825
28*HFM2	32.390547592	37.50212907	34.27320728475	35.7257152	37.028711524	34.1091211	35.478232389	40.15066579425
7+8+9	180.613010792	196.74857907	186.2487995848	198.1232972	195.581474324	186.4465751	190.304489989	204.8495628943
11*ls	2.70919516188	2.95122868605	2.793731993771	2.971849458	2.93372211486	2.7966986265	2.854567349835	3.072743443414
12/dt	0.042664490738	0.0464760423	0.044807249299	0.046653837645	0.045947096552	0.04439204169	0.045454894106	0.048427792646

Average
0.0456029306221115

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นยางซิลิโคนที่ใช้ในการทดลอง

ขนาดปานกลาง [หนา 2cm.]								
TIME	T1	T2	HFM	T	dT	ls		
9.30	68.1	4.3	39.91	36.2	63.8	0.02		
10.30	68.3	5.4	44.23	36.85	62.9	0.02		
11.30	68.7	4.6	39.45	36.65	64.1	0.02		
12.30	67.6	4.6	39.79	36.1	63	0.02		
13.30	68.0	4.4	38.75	36.2	63.6	0.02		
14.30	68.1	4.5	36.98	36.3	63.6	0.02		
15.30	67.9	4.4	37.45	36.15	63.5	0.02		
16.30	68.0	4.6	39.55	36.3	63.4	0.02		
With silicone rubber mats								
	k1	k2	k3	k4	k5	k6		
	-21.9005	0.2671	5.6997	0.0199	0.0171	0.0000		
Without silicone rubber mats								
	k1	k2	k3	k4	k5	k6		
	(7.5078)	0.2272	3.3226	0.0068	0.0301	(0.0003)		
สูตรหาค่า k	1	2	3	4	5	6	7	8	
k1+(k2*T)	0.71684	0.86452	0.81908	0.69412	0.71684	0.73956	0.70548	0.73956	
k3+(k4*T)*HFM	142.4292116	158.0417514	140.908299	141.9739032	138.28945	131.9978912	133.637329	141.171352	
k5+(k6*T)	0.01924	0.019045	0.019105	0.01927	0.01924	0.01921	0.019255	0.01921	
28*HFM2	30.645627844	37.2575982805	29.7331592625	30.509113807	28.8900625	26.270066884	27.0051856375	30.048330025	
7+8+9	173.791679444	196.1638696805	171.4605382625	173.177137007	167.8963525	159.007518084	161.3479946375	171.959242025	
11*ls	3.47583358888	3.92327739361	3.42921076525	3.46354274014	3.35792705	3.18015036168	3.22695989275	3.4391848405	Average
12/dt	0.05448015029 6	0.062373249501	0.053497827851	0.054976868891	0.052797595126	0.050002364177	0.050818266028	0.054245817674	0.054101712749612

ตารางที่ ง.3 ค่าการนำความร้อนของแผ่นยางซิลิโคนที่ความหนาต่างๆ

ขนาดหนาสุด [หนา 3cm.]								
TIME	T1	T2	HFM	T	dT	ls		
9.30	68.1	3.3	31.32	35.7	64.8	0.03		
10.30	68.9	3.6	32.57	36.25	65.3	0.03		
11.30	68.9	3.4	31.53	36.15	65.5	0.03		
12.30	68.1	3.2	31.12	40.2	64.9	0.03		
13.30	68.6	3.5	31.74	36.05	65.1	0.03		
14.30	68.2	3.1	32.01	35.65	65.1	0.03		
15.30	72.5	3.4	30.79	37.95	69.1	0.03		
16.30	68.7	2.2	30.93	35.45	66.5	0.03		
With silicone rubber mats								
	k1	k2	k3	k4	k5	k6		
	-21.9005	0.2671	5.6997	0.0199	0.0171	0.0000		
Without silicone rubber mats								
	k1	k2	k3	k4	k5	k6		
	(7.5078)	0.2272	3.3226	0.0068	0.0301	(0.0003)		
สูตรหาค่า k	1	2	3	4	5	6	7	8	
k1+(k2*T)	0.60324	0.7282	0.70548	1.62564	0.68276	0.59188	1.11444	0.54644	
k3+(k4*T)*HFM	111.6670752	116.245587	112.5122826	111.9062752	113.2400676	114.1162902	110.2485214	110.2240038	
k5+(k6*T)	0.01939	0.019225	0.019255	0.01804	0.019285	0.019405	0.018715	0.019465	
28*HFM2	19.020473136	20.3939742025	19.1421830295	17.470917376	19.428241266	19.8831411405	17.7422710315	18.6214822785	
7+8+9	131.290788336	137.3677612025	132.3599456295	131.002832576	133.351068866	134.5913113405	129.1052324315	129.3919260785	
11*ls	3.93872365008	4.121032836075	3.970798368885	3.93008497728	4.00053206598	4.037739340215	3.873156972945	3.881757782355	Average
12/dt	0.060782772378	0.063109231793	0.060622875861	0.060556008895	0.061452105468	0.062023645779	0.05605147573	0.058372297479	0.0603713016728373

ชนิดวัสดุ	ความหนา (มม.)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) (วัตต์/เมตร เคลวิน)	ค่าความต้านทาน ความร้อน (R) (ตร.ม. เคลวิน/ วัตต์)	การกันแมลง
แผ่นไม้อัด	10.05	907	0.2290	0.057	ไม่ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา	9.00	725	0.3058	0.029	ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดทนไฟ	15.00	885	0.3533	0.042	ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดอลูมิเนียมฟอยล์	9.50	745	0.3215	0.029	ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดทนความชื้น	12.00	775	0.2973	0.040	ได้
แผ่นยิบซัมตราช้าง ชนิดปรุสายรุ่น พินโฮล	12.00	745	0.2888	0.041	ได้
แผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว	10.00	600-700	0.0564-0.0957	0.104	ไม่ได้
แผ่นฉนวนกันความร้อนจากชานอ้อย	10.00	458-688	0.0724-0.0925	0.108	ไม่ได้
แผ่นฉนวนจากซังข้าวโพด	9.51	200-800	0.0632-0.1236	0.077	ไม่ได้
แผ่นฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง	9.35	200-800	0.0593-0.1058	0.094	ไม่ได้
ใยแก้ว	25.00	16	0.0350	0.714	ได้
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	15.00	450	0.0460	0.326	ได้
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	20.00	450	0.0540	0.370	ได้
แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	30.00	450	0.0603	0.497	ได้

รูปที่ 6.4 ตารางแสดงการเปรียบเทียบวัสดุต่างๆ

ต้นทุน แผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

วัสดุ	[ราคา/ชิ้น 60cm. x 60cm.]บาท
1. ฟางข้าว	4.00
2. มะพร้าวสับ	4.00
3. กาวผง	9.66
4. ผงปูนยิบซัม	1.80
5. น้ำยาผสมปูนยิบซัม	7.12
6. ไม้แบบ	0.22
7. ลวดตาไก่	15.00
8. ค่าแรง	2.00
9. ค่าดำเนินการ	2.00
10. อื่นๆ	2.00
รวม/แผ่น	47.8

วัสดุ	ราคา (บาท)
1. ฟางข้าว 1เข่ง	20
2. มะพร้าวสับ 1กระสอบ	20
3. กาวผง	145
4. ผงปูนยิบซัม	18
5. น้ำยาผสมปูนยิบซัม	285
6. ไม้แบบ 2.50m.	220
7. ไม้อัด 10mm. (240x120)	320
8. ลวดตาไก่ 1m.	30

หมายเหตุ
ฟางข้าว 1เข่ง สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 80แผ่น
มะพร้าวสับ 1กระสอบ สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 80แผ่
กาวผง 1 กระป๋อง สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 15แผ่น
ผงปูนยิบซัม 1ถุง สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 10แผ่น
น้ำยาผสมปูนยิบซัม 1 กระป๋อง = 40แผ่น
ลวดตาไก่ 1m. สามารถทำวัสดุขนาด 60cm. x 60cm. = 2แผ่น

อื่นๆ
ตะปู
สี
วาสลีน
ถังผสม
ถ่วยตวง

รูปที่ 6.5 ตารางแสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตแผ่นฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.6 ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าวอัดแข็ง

ขนาดหนาสุด [หนา 3cm.]	T1	T2	T3	HFM	[T1+T2]/2=T	dT	ls			ค่า k
9.30	68.1	3.3	-0.1	31.32	35.7	64.8	0.03		ขนาด 30x30 cm.	0.0607
10.30	68.9	3.6	-0.2	32.57	36.25	65.3	0.03		Thickness = 0.03m	0.0631
11.30	68.9	3.4	0.1	31.53	36.15	65.5	0.03		ความยาวฟางข้าว = 2-5 cm.	0.0606
12.30	68.1	3.2	-0.1	31.12	35.65	64.9	0.03		น้ำหนัก = 1.4 kg.	0.0605
13.30	68.6	3.5	0.0	31.74	36.05	65.1	0.03		แผ่นที่ 1 [หนาสุด 3 cm.]	0.0614
14.30	68.2	3.1	0.1	32.01	35.65	65.1	0.03		Proportion = 6 : 2 : 2 or 8 : 2	0.0620
15.30	72.5	3.4	-0.1	30.79	37.95	69.1	0.03		ฟางข้าว : มะพร้าวสับ : กาว	0.0560
16.30	68.7	2.2	0.0	30.93	35.45	66.5	0.03			0.0583
									Average	0.060325

ขนาดปานกลาง [หนา 2cm.]	T1	T2	T3	HFM	[T1+T2]/2=T	T1-T2 = dT	ls			ค่า k
9.30	68.1	4.3	0.0	39.91	36.2	63.8	0.02		ขนาด 30x30 cm.	0.0544
10.30	68.3	5.4	-0.1	44.23	36.85	62.9	0.02		Thickness = 0.02m	0.0623
11.30	68.7	4.6	0.1	39.45	36.65	64.1	0.02		ความยาวฟางข้าว = 2-5 cm.	0.0534
12.30	67.6	4.6	-0.2	39.79	36.1	63	0.02		น้ำหนัก = 1.0 kg.	0.0549
13.30	68.0	4.4	-0.1	38.75	36.2	63.6	0.02		แผ่นที่ 2 [หนาปานกลาง 2 cm.]	0.0527
14.30	68.1	4.5	0.0	38.98	36.3	63.6	0.02		Proportion = 3 : 1 : 1 or 4 : 1	0.0500
15.30	67.9	4.4	-0.1	37.45	36.15	63.5	0.02		ฟางข้าว : มะพร้าวสับ : กาว	0.0508
16.30	68.0	4.6	0.0	39.55	36.3	63.4	0.02			0.0542
									Average	0.0540875

ขนาดน้อยสุด [หนา 1.5cm.]	T1	T2	T3	HFM	[T1+T2]/2=T	dT	ls			ค่า k
9.30	68.6	5.1	-0.2	41.24	36.85	63.5	0.015		ขนาด 30x30 cm.	0.0426
10.30	68.5	5.0	0.0	44.34	36.75	63.5	0.015		Thickness = 0.015m	0.0464
11.30	67.75	5.4	0.0	42.33	36.575	62.35	0.015		ความยาวฟางข้าว = 2-5 cm.	0.0488
12.30	68.9	5.2	-0.1	44.65	37.05	63.7	0.015		น้ำหนัก = 0.8 kg.	0.0466
13.30	68.85	5.0	0.2	44.12	36.925	63.85	0.015		แผ่นที่ 3 [หนาน้อยสุด 1.5 cm.]	0.0459
14.30	68.5	5.5	0.0	42.37	37	63	0.015		Proportion = 3.5 : 0.5 : 1 or 4 : 1	0.0443
15.30	68.1	5.3	-0.2	43.11	36.7	62.8	0.015		ฟางข้าว : มะพร้าวสับ : กาว	0.0454
16.30	68.45	5.0	-0.1	45.87	36.725	63.45	0.015			0.0484
									Average	0.04605

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพลพัฒน์ นิลอุบล เกิดเมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี สถาปัตยกรรมศาสตร์บัญฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี ในปีการศึกษา 2550 และได้เข้ารับการศึกษาต่อระดับสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาเทคโนโลยีทางสถาปัตยกรรมและสิ่งแวดล้อม ในปีการศึกษา 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย