

ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของผ้าเพดานตันอ้อ

นายสารัช สุภกรรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

The abstract and full text of theses files submitted through the University Graduate School.

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY PERFORMANCE OF REED GRASS CEILING

Mr. Sarat Supakam



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 University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของผ้าเพดานตันอ้อ
โดย	นายสารัช สุขกรรม
สาขาวิชา	สถาปัตยกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถนธ์ เศรษฐบุตุตร

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปิ่นรัชฎ์ กาญจนนัฐิติ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ พรรณชลัท สุริโยธิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถนธ์ เศรษฐบุตุตร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ณรงค์วิทย์ อาริมิตร)

สารัช สุภกรกรม : ประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อ (ENERGY PERFORMANCE OF REED GRASS CEILING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อรรถนั ศรีษฐบุตร, 91 หน้า.

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง นำเสนอการใช้ต้นอ้อ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการนำวัสดุธรรมชาติมาผลิตเป็นวัสดุฝ้าประกอบอาคารโดยไม่ให้เสียคุณสมบัติที่ดีในการเป็นฉนวนของช่องอากาศภายในตัววัสดุไป งานวิจัยประกอบด้วยการผลิตวัสดุด้วยมือ จากนั้นทำการทดลองด้วยกล่องทดลอง ในสภาพคล้ายการใช้งานจริง เพื่อดูแนวโน้มการป้องกันความร้อนและการคายความร้อนของขึ้นต้นแบบ จากนั้นนำขึ้นต้นแบบ 3 ขนาด ได้แก่ ฝ้าเพดานต้นอ้อความหนา 1,1.5 และ 2 cm. เข้าทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและค่าการต้านทานความร้อนของวัสดุ ผลการทดลองสรุปได้ว่า ฝ้าเพดานต้นอ้อทั้งสามขนาดมีคุณสมบัติทางด้านความร้อนที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ที่ใกล้เคียงกันทั้งสามขนาด อยู่ที่ 0.1285 – 0.1405 W/m.k และมีค่าการต้านทานความร้อน (R) ดีกว่าไม้เทียม ไม้อัด และยิปซัมบอร์ดทุกชนิด ฝ้าเพดานต้นอ้อขนาด 2 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนดีที่สุดในสามขนาดโดยมีค่า 0.1424 .k/W และฝ้าเพดานต้นอ้อขนาด 1.5 cm. มีค่าการต้านทานความร้อน 0.1093 .k/W โดยฝ้าเพดานต้นอ้อ 1.5 cm. และ 2 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าฉนวนจากเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว ฉนวนจากขังข้าวโพด ฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง ฉนวนจากขานอ้อยและฉนวนจากฟางข้าว ส่วนฝ้าเพดานต้นอ้อขนาด 1 cm. มีค่าการต้านทานความร้อน 0.0778 .k/W สำหรับการคายความร้อนของวัสดุได้พบว่า วัสดุที่มีมวลมากจะกักเก็บความร้อนไว้ได้มากกว่าวัสดุที่มีมวลน้อย ในด้านการประหยัดพลังงานพบว่าการใช้ฝ้าเพดานต้นอ้อและซีลื้อยในบ้านพักอาศัยที่มีช่วงเวลาการใช้งานในเวลาากลางคืนเป็นหลัก แม้จะยังไม่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้มากนัก แต่ในกระบวนการผลิตฝ้าเพดานต้นอ้อมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่ายิปซัมบอร์ดและใยแก้วมาก ทำให้ฝ้าเพดานต้นอ้อเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า

ภาควิชา สถาปัตยกรรมศาสตร์

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา สถาปัตยกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5673354125 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: THERMAL CONDUCTIVITY, THERMAL RESISTANCE

SARAT SUPAKAM: ENERGY PERFORMANCE OF REED GRASS CEILING. ADVISOR:
ASST. PROF. ATCH SRESHTHAPUTRA, Ph.D., 91 pp.

This experimental research present how to use Reed Grass for making a ceiling insulation board that is in a state of air gap in Reed Grass's stem which is a good insulation. This research shows how to make a material by handmade and then do an experimentation by using 60x60x60 cm. test box which resembles the real condition for analyzing a heat-discharge performance and lag-time of matherials. After that is conducted in the laboratory following the ASTM C518 standard method for evaluate a thermal conductivity and thermal resistance of Reed Grass Ceiling 1,1.5 and 2 cm. The conclusion is as follow:Reed grass ceiling has a good thermal resistance performance. Its thermal conductivity of all of size is 0.1285 – 0.1405 W/m.k and the thermal resistance is better than an artificial wood, plywood and every type of gypsum board. A reed grass ceiling 2 cm is the best thermal resistance from three of its. Thermal resistance of a reed grass ceiling 1.5 cm. is 0.1093 .k/W. Reed grass ceiling 1.5 and 2 cm. has a better thermal resistance than an insulation boards from durian peel and coconut husk, a corn cob particleboards, an insulation from cassava and Insulation boards produced from Bagasse and rice straw. In a part of heat-discharge performance is a massive material will absorb heat more than common material. It make a heat-discharge slower than common. In terms of energy saving found that using Reed grass ceiling in residential house cannot save energy as much as expected but in terms of production found that reed grass ceiling is more environmentally-friendly than gypsum board and fiber glass.

Department: Architecture

Student's Signature

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ขอกราบพระคุณ อาจารย์ ผศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตร ที่ให้ความรู้ แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่กร พี่ต๋ม สำหรับเครื่องมือ และความช่วยเหลือในการออกแบบ และจัดทำชิ้นวัสดุต้นแบบ ขอขอบคุณพี่ตริณ คณะเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สำหรับความช่วยเหลือในการนำวัสดุเข้าห้องทดลอง ขอขอบคุณพี่จอย ห้องภาคที่คอยเตือนและให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ในการทำเอกสาร

สุดท้ายนี้ขอกราบขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้องและเพื่อนๆ ทุกคน ขอขอบคุณพระเจ้า รวมถึงพี่น้องคริสเตียนทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจให้คำปรึกษาและช่วยเหลือเสมอมา ให้ข้าพเจ้าได้ประสบความสำเร็จ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
สารบัญแผนภูมิ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา.....	4
1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร	6
2.1.1 ความร้อนที่เกิดภายในอาคาร (Internal Heat Gain : Qi)	6
2.1.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นภายนอกอาคาร (External Heat Gain) แล้วถ่ายเทเข้าสู่อาคาร	6
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร	7
2.2.1 อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์.....	7
2.2.2 อุณหภูมิอากาศ.....	8
2.2.3 การแผ่รังสีความร้อนจากพื้นโลก.....	8
2.2.4 ความชื้น (Humidity).....	8

2.2.5 ลม (Wind).....	8
2.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน	9
2.3.1 การนำความร้อน (Heat Conduction).....	9
2.3.2 การพาความร้อน (Heat Convection).....	9
2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation).....	10
2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน	10
2.4.1 ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (heat capacity).....	10
2.4.2 ค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ (time lag).....	11
2.4.3 ค่าการนำความร้อนของวัสดุหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity : k)	11
2.4.4 อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุ (thermal conductance : C)	12
2.4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (thermal transmittance : U value).....	12
2.5 การป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร	13
2.5.1 การป้องกันความร้อนทางหลังคา	13
2.5.2 ฝ้าเพดานที่ใช้สำหรับบ้านพักอาศัย	14
2.6 ฉนวนกันความร้อน	18
2.6.1 ความหมายของฉนวนกันความร้อน.....	18
2.6.2 ประเภทของฉนวนกันความร้อน	20
2.6.3 สมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อน	21
2.6.4 การใช้งานฉนวนกันความร้อนในอาคาร	22
2.6.5 การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร	23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26
2.7.1 การพัฒนาวัสดุฝ้าประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร	26

2.7.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความร้อนของผนังไม้จริงตัดขวาง	26
2.7.3 ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของฉนวนโบายางพารา	27
2.7.4 การประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดเป็นฝ้าเพดานกันความร้อน.....	27
2.7.5 การนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน.....	27
2.7.6 ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทาง การเกษตร.....	28
2.7.7 การพัฒนาแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จากการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติจากกากมะพร้าว และต้นข้าวโพด.....	28
2.7.8 การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ.....	29
2.7.9 การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว.....	29
2.7.10 การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำโดยมีอัตราส่วนที่ เหมาะสม ระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว.....	29
2.7.11 การพัฒนาต้นแบบแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนและมะพร้าวที่ค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนต่ำ.....	30
2.7.12 การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย.....	30
2.7.13 New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse	30
2.7.14 A contribution to the thermal insulation performance characterization of corncob particleboards	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	33
3.2.1 กล้องทดลอง.....	33
3.2.2 อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล	34

3.3 การผลิตขึ้นต้นแบบ.....	35
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขึ้นต้นแบบ	35
3.3.2 ขั้นตอนการผลิตขึ้นต้นแบบ	36
3.4 การทดลอง.....	39
3.4.1 การทดลองส่วนที่ 1 กล้องทดลอง.....	39
3.4.2 การทดลองส่วนที่ 2 การทดลองในห้องทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อน	41
3.4.3 การทดลองส่วนที่ 3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการคำนวณความคุ้มค่าทางด้าน เศรษฐศาสตร์	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	44
4.1 ผลการทดลองส่วนที่ 1 ส่วนการทดลองด้วยกล้องทดลอง	44
4.1.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของวัสดุ.....	45
4.1.2 การหน่วงเหนี่ยวความร้อน(Time-lag) ของวัสดุ.....	50
4.2 ผลการทดลองส่วนที่ 2 การทดลองในห้องทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อน	51
4.3 ผลการทดลองส่วนที่ 3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่าง โดยการจำลอง ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์.....	56
4.3.1 ข้อมูลอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	56
4.3.2 ผลการทดลอง.....	58
4.3.3 การคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.1.1 สรุปผลการทดลองส่วนที่ 1 ส่วนการทดลองด้วยกล้องทดลอง.....	74
5.1.2 สรุปผลการทดลองส่วนที่ 2 การทดลองในห้องทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเท ความร้อน.....	75

5.1.3 สรุปผลการทดลองส่วนที่ 3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่าง โดย การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และคำนวณความคุ้มค่าทางด้าน เศรษฐศาสตร์	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	77
5.3 การนำไปประยุกต์ใช้จริง	78
รายการอ้างอิง	79
ภาคผนวก.....	81
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	91



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุต่างๆ [2] [3].....	3
ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุต่างๆ [2] [3] (ต่อ)	4
ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพ ความร้อนของวัสดุและฉนวนอาคาร[2]	22
ตารางที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตวัสดุ	35
ตารางที่ 5 สรุปอุณหภูมิจากการทดลองฝ้าเพดานทั้งหมด	49
ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติด้านความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อที่ได้จากเครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อน.....	51
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อกับวัสดุชนิดอื่น	52
ตารางที่ 8 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดานแต่ละชนิด (กรณีที่ 1).....	58
ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 1).....	59
ตารางที่ 10 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดานแต่ละชนิด (กรณีที่ 2)	60
ตารางที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 2).....	61
ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดานแต่ละชนิด (กรณีที่ 3).....	62
ตารางที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 3).....	63
ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นกรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี	64
ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นกรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลากลางวันตลอดทั้งปี	65

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นกรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ตลอดทั้งปี.....	66
ตารางที่ 17 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานการทำความเย็นใน 24 ชม. ของวันที่ 21 มีนาคม	67
ตารางที่ 18 สรุปต้นทุนการผลิตผ้าเปตาดันตันอ้อที่ใช้ในบ้านที่นำมาจำลองการใช้พลังงาน.....	69
ตารางที่ 19 รายละเอียดวัสดุทั้งหมดในการผลิตผ้าเปตาดันตันอ้อ.....	69
ตารางที่ 20 ต้นทุนราคาแผ่นผ้าเปตาดันตันอ้อต่อตารางเมตรเปรียบเทียบกับวัสดุตามท้องตลาด	70
ตารางที่ 21 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของกรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี.....	71
ตารางที่ 22 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของกรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางวัน ตลอดทั้งปี.....	72
ตารางที่ 23 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของกรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ตลอดทั้งปี.....	72
ตารางที่ 24 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิผิวภายนอกกับภายในวัสดุ(ΔT)ในแต่ละช่วงเวลา ($^{\circ}C$).	83
ตารางที่ 25 ค่าการต้านทานความร้อน (R)($m^2 \cdot k/W$) ของวัสดุ ในแต่ละช่วงเวลา.....	85
ตารางที่ 26 ปริมาณความร้อน (Q)(วัตต์) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในแต่ละช่วงเวลา	87
ตารางที่ 27 ตารางคำนวณ Carbon Footprint จากปริมาณวัสดุในการก่อสร้างบ้านที่ใช้ฝ้ายปซัมบอर्ड + ไยแก้ว 6 นิ้ว.....	89
ตารางที่ 28 ตารางคำนวณ Carbon Footprint จากปริมาณวัสดุในการก่อสร้างบ้านที่ใช้ผ้าเปตาดันตันอ้อ 1 cm.....	90

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ลักษณะของต้นอ้อใหญ่ (Arundo Donax).....	1
รูปที่ 2 การนำต้นอ้อมาตกแต่งภายใน	2
รูปที่ 3 การนำต้นอ้อมามุงหลังคา.....	2
รูปที่ 4 Internal heat gain and External heat gain.....	6
รูปที่ 5 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน	9
รูปที่ 6 แผ่นยิปซัมบอร์ด.....	15
รูปที่ 7 ฝาระแนงไวนิล	16
รูปที่ 8 ฝ้ออลูมิเนียมแบบตะแกรง	16
รูปที่ 9 ฝาระแนงไม้เทียม	17
รูปที่ 10 การนำความร้อนผ่านแผ่นราบ.....	18
รูปที่ 11 โยหิน (rock wool).....	20
รูปที่ 12 ขนสัตว์ (hair).....	20
รูปที่ 13 ไม้ก๊อก.....	20
รูปที่ 14 แคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate).....	20
รูปที่ 15 ฉนวนใยพารา.....	26
รูปที่ 16 ผนังไม้จริงที่มีการปิดช่องว่างระหว่างไม้	26
รูปที่ 17 ฉนวนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ.....	28
รูปที่ 18 ปาติเกิ้ลบอร์ดจากซังข้าวโพด	31
รูปที่ 19 การติดตั้งขาลอดไฟ	33
รูปที่ 20 หลอดไฟอินฟาเรด 500 W.....	33
รูปที่ 21 หม้อแปลงขนาด 600 W	34
รูปที่ 22 พัดลมดูดอากาศ.....	34

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 23 เครื่องวัดความเร็วลม.....	34
รูปที่ 24 เครื่องวัดอุณหภูมิ 12 Channels	34
รูปที่ 25 กล้องทดลอง	39
รูปที่ 26 การทดลองด้วยกล้องทดลอง	40
รูปที่ 27 เครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อน.....	41
รูปที่ 28 โปรแกรม Visual DOE.....	42
รูปที่ 29 ผังอาคารที่นำมาทดลอง โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	43
รูปที่ 30 ผังอาคารที่นำมาทดลอง โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....	57



สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของยิปซัมบอร์ด 0.9 cm.	45
แผนภูมิที่ 2 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของฝ้าเพดานตันอ่อนหนา 1 cm.....	46
แผนภูมิที่ 3 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของฝ้าเพดานตันอ่อนหนา 1.5 cm.	47
แผนภูมิที่ 4 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของฝ้าเพดานตันอ่อนหนา 2 cm.....	48
แผนภูมิที่ 5 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิผิวภายนอกกับภายในวัสดุ(ΔT)ในแต่ละช่วงเวลา.....	49
แผนภูมิที่ 6 ปริมาณความร้อน (Q) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในแต่ละช่วงเวลา	50
แผนภูมิที่ 7 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฝ้าเพดานตันอ่อนกับวัสดุชนิดอื่นๆ	54
แผนภูมิที่ 8 การเปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนของฝ้าเพดานตันอ่อนกับวัสดุชนิดอื่นๆ	55
แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดานแต่ละชนิด (กรณีที่ 1).....	58
แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปี เฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 1).....	59
แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดานแต่ละชนิด (กรณีที่ 2).....	60
แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปี เฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 2).....	61
แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดานแต่ละชนิด (กรณีที่ 3).....	62
แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปี เฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 3).....	63
แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการทำความเย็นกรณี 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี	64

สารบัญแผนภูมิ(ต่อ)

หน้า

แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการทำความเย็นกรณีที่ 2 เปิด เครื่องปรับอากาศเฉพาะในเวลากลางวัน ตลอดทั้งปี	65
แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการทำความเย็นกรณีที่ 3 เปิด เครื่องปรับอากาศเฉพาะในเวลากลางวัน ตลอดทั้งปี	66
แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานการทำความเย็นใน 24 ชม. ของวันที่ 21 มีนาคม ..	68
แผนภูมิที่ 19 ต้นทุนราคาแผ่นฝ้าเพดานต้นอ้อต่อตารางเมตรเปรียบเทียบกับวัสดุตามท้องตลาด (รวมค่าติดตั้ง).....	70



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อโลกและระบบนิเวศวิทยา มลพิษที่เกิดจากการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ได้สร้างปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอย่างมากมาย ดังที่เห็นได้จากภาวะโลกร้อน ที่ทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น เกิดสภาวะไม่สบายต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์เมื่ออยู่ภายในสถาปัตยกรรม การออกแบบอาคารที่ยังไม่ได้มีการคำนึงถึงการออกแบบเพื่อสร้างสภาวะน่าสบายและลดการใช้พลังงาน จึงทำให้เกิดการบริโภคพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นกว่าในอดีตเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป หลายประเทศทั่วโลกตระหนักถึงปัญหานี้จึงได้ส่งเสริมการสร้างสถาปัตยกรรมที่อนุรักษ์พลังงาน ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุดและประหยัดทรัพยากรในการก่อสร้าง หนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการลดการปล่อยมลพิษและการประหยัดพลังงานของอาคารคือ วัสดุที่นำมาใช้ประกอบอาคาร การผลิตวัสดุประกอบอาคารหลายๆชนิด นำมาซึ่งการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซเรือนกระจกที่ขึ้นไปทำลายชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้โลกร้อนขึ้น[1]ปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างวัสดุประกอบอาคารโดยการผสมผสานวัสดุก่อสร้างปัจจุบันและวัสดุธรรมชาติ ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร นำไปสู่การประหยัดพลังงานในการทำ ความเย็นให้กับอาคาร



รูปที่ 1 ลักษณะของต้นอ้อใหญ่ (Arundo Donax)

ที่มา : <http://galleryhip.com/arundo-donax.html>

ต้นอ้อเป็นไม้ล้มลุก จำพวกหญ้า รากมีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพร ใช้ต้มน้ำดื่มเพื่อขับปัสสาวะ ลักษณะมักขึ้นเป็นกอ สูง 2-8 เมตร ลำต้นเป็นปล้องลักษณะคล้ายไม้ไผ่แต่มีขนาดเล็กกว่า มีน้ำหนักเบากว่า เมื่อแห้งแล้วมีความแข็ง ลำต้นกว้าง 1.5-3 cm. สามารถพบได้ตามทุ่งหญ้าหรือที่ราบลุ่มชื้นแฉะทั่วไป ด้วยเหตุนี้การนำต้นอ้อมาทำเป็นวัสดุประกอบอาคารจึงมีต้นทุนที่น้อยมาก และต้นอ้อซึ่งมีลำต้นกลวงภายในมีช่องอากาศซึ่งมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อน

ปัจจุบันในชนบทของประเทศไทยได้มีการนำต้นอ้อมาทำผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย เช่น ฉากกันห้อง แก้วอี้และเครื่องสานต่างๆ เนื่องจากต้นอ้อแม้จะมีลำต้นเล็กแต่นำมาสานกันแล้วสามารถรับน้ำหนักได้ดี มีความแข็งแรง อีกทั้งยังมีลวดลายสวยงาม ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีการนำต้นอ้อมาใช้ในการสร้างสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น โดยนำมาสานเป็นฝาผนังบ้านพื้นถิ่น มุงหลังคา และนำมาเป็นวัสดุที่ใช้ตกแต่งภายในช่วยสร้างความสวยงามให้กับอาคารได้



รูปที่ 3 การนำต้นอ้อมามุงหลังคา

ที่มา : <http://www.oknation.net/blog/chedtha/2009/08/24/entry-1>



รูปที่ 2 การนำต้นอ้อมาตกแต่งภายใน

ที่มา : <http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=tilltomorrow&date=16-06-2012&group=14&gblog=10>

การปลูกต้นอ้อมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก ปลูกง่าย โตเร็ว มีความแข็งแรง สามารถนำมาทำเป็นวัสดุประกอบอาคารได้ จึงมีแนวคิดที่จะนำต้นอ้อมาทำเป็นวัสดุประกอบอาคาร โดยไม่ให้เกิดคุณสมบัติในการเป็นช่องอากาศภายในของต้นอ้อไปซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ส่วนใหญ่จะนำวัสดุมาบดเป็นชิ้นเล็กๆแล้วอัดแน่นเป็นแผ่น ทั้งนี้ ได้มีงานวิจัยการนำวัสดุธรรมชาติมาผลิตเป็นวัสดุประกอบอาคารทั้งในประเทศและต่างประเทศ จึงได้ทำการศึกษาและรวบรวมคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆไว้ดังนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุต่างๆ [2] [3]

ชนิดวัสดุ	ความหนา (มม.)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.k)	ค่าการต้านทานความร้อน (m ² .k/W)
แผ่นไม้อัด	10.00	907	0.2290	0.057
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา	9.00	725	0.3058	0.029
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดทนไฟ	12.00	885	0.3533	0.042
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดอคูมิเนียมพอยล์	9.00	745	0.3215	0.029
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดทนความชื้น	12.00	775	0.2973	0.040
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว [4]	9.00	600-700	0.0564-0.0957	0.104
แผ่นฉนวนจากขาน้อย [3]	10.00	458-688	0.0724-0.0925	0.108
	-	350	0.055	-
แผ่นฉนวนจากขี้ข้าวโพด [2]	9.35	200-800	0.0632-0.1236	0.077
แผ่นฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง [2]	9.51	200-800	0.0593-0.1058	0.094
ฉนวนจากใบยางพารา [5]	25.00	96.5	0.080	0.313
ใยแก้ว	25.00	16	0.0350	0.714
ผ้าเปดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ[2]	15.00	450	0.0460	0.326
ผ้าเปดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ[2]	20.00	450	0.0540	0.370
ผ้าเปดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ[2]	30.00	450	0.0603	0.497
ฉนวนจากหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ [6]	-	180	0.0564	-
แผ่นฉนวนจากเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว [7]	-	856	0.1342	-
แผ่นฉนวนจากต้นปอกระเจา	-	150-200	0.051-0.058	-
แผ่นฉนวนจากลำต้นฝ้าย	-	150-450	0.058-0.081	-
ฉนวนจากเส้นใยเซลลูโลส	-	30-80	0.040-0.045	-

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุต่างๆ [2] [3] (ต่อ)

ชนิดวัสดุ	ความหนา (มม.)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.k)	ค่าการต้านทานความร้อน (m ² .k/W)
ฉนวนจากใยแก้วและใยหิน	-	20-200	0.035-0.045	-
Polyethylene foam (PE)	-	50-100	0.035-0.045	-
Extruded polystyrene foam (XPS)	-	25-45	0.030-0.040	-
Expanded perlite boards (EPB)	-	90-490	0.045-0.070	-
Vermiculite	-	70-160	0.046-0.070	-

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อเปรียบเทียบกับวัสดุฝ้าเพดานประเภทอื่นๆ
2. เพื่อสร้างวัสดุใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และต้นทุนของวัสดุประกอบอาคารจากธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการศึกษา

1. ศึกษาถึงคุณภาพของวัสดุประกอบอาคารโดยเน้นในเรื่องประสิทธิภาพความเป็นฉนวนเท่านั้น
2. ศึกษาคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารทางฝ้าเพดาน โดยทำการทดลองด้วยกล่องทดลองและเครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อน
3. ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จากกล่องทดลองนำไปใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและการคายความร้อนของวัสดุต้นแบบแต่ละประเภทเท่านั้น
4. นำค่าที่ได้จากเครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อน มาใช้คำนวณปริมาณการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัย ด้วยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Simulation) โดยจำลองการใช้พลังงานในอาคารประเภทพักอาศัยที่มีช่วงเวลาการใช้งานช่วงกลางวันเป็นส่วนใหญ่เท่านั้น ภายใต้สภาพอากาศของประเทศไทย

5.วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางการเลือกใช้ฝ้าเพดานสำหรับอาคารที่มีความเหมาะสมในด้านประสิทธิภาพและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยจะจำกัดขอบเขตเฉพาะการวิเคราะห์ความคุ้มทุนเบื้องต้น ได้แก่ การวิเคราะห์ความคุ้มทุนทางการลงทุน (Investment Cost Analysis) และผลการอนุรักษ์พลังงานจากการใช้ฉนวนกันความร้อน (Energy Saving Cost Analysis) เท่านั้น

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อให้ใกล้เคียงสภาพการใช้งานจริง และส่วนที่สองเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity : k) ค่าความต้านทานความร้อนของวัสดุ (Thermal Resistance : R) และค่าความหนาแน่นของวัสดุ (Density) จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ไปจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulation) เพื่อคำนวณปริมาณการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัยและดูประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของวัสดุทดลอง รวมทั้งศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุน

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1.4.1 การศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ตั้งสมมติฐานในการวิจัย
- 1.4.3 กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง
- 1.4.4 การผลิตวัสดุต้นแบบ
- 1.4.5 การทดลองด้วยกล่องทดลอง
- 1.4.6 ส่งวัสดุต้นแบบไปทดสอบการป้องกันความร้อนในห้องทดลอง
- 1.4.7 การจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulation)
- 1.4.8 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อ
- 2.ได้วัสดุประกอบอาคารชนิดใหม่จากธรรมชาติ ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง เป็นการลดมลพิษในการผลิตวัสดุประกอบอาคาร
- 3.ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการผลิตวัสดุประกอบอาคารที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติชนิดนี้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของฝ้าเพดานตันอ้อ จำเป็นต้องมีการศึกษาและทำความเข้าใจเพิ่มเติมเกี่ยวกับ ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคาร

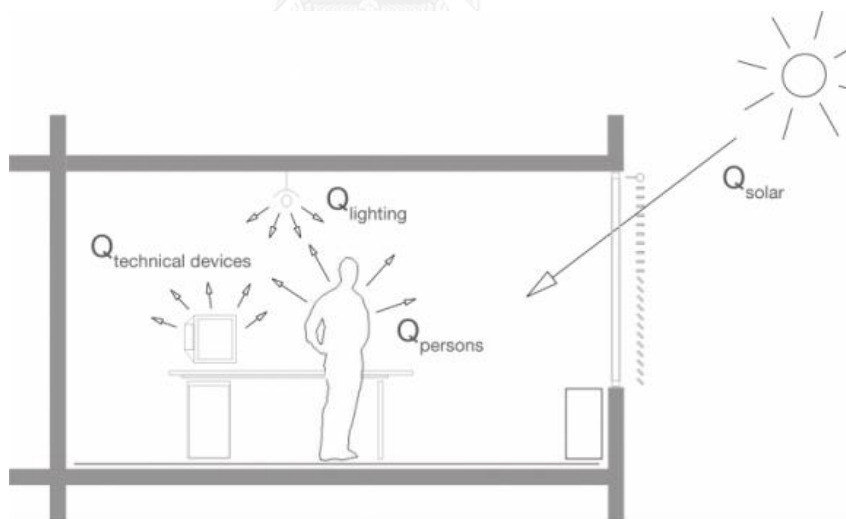
2.1 ที่มาของความร้อนที่เกิดขึ้นในอาคาร

2.1.1 ความร้อนที่เกิดภายในอาคาร (Internal Heat Gain : Qi)

เป็นความร้อนที่เกิดจากผู้ใช้อาคารเอง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในอาคาร เช่น ความร้อนจากตู้เย็น หลอดไฟ หรืออุปกรณ์ครัวเช่น เตาแก๊ส ไมโครเวฟ เป็นต้น

2.1.2 ความร้อนที่เกิดขึ้นภายนอกอาคาร (External Heat Gain) แล้วถ่ายเทเข้าสู่อาคาร

เป็นความร้อนที่เกิดจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ แล้วถ่ายเทเข้าสู่อาคาร โดยการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทจากที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ ดังวิธีต่อไปนี้



รูปที่ 4 Internal heat gain and External heat gain

ที่มา : <https://www.educate-sustainability.eu/portal/content/internal-heat-gains-qi>

2.1.2.1 Conduction Heat Gain / Loss (Qc)

การนำความร้อน อาจเป็นการนำความร้อนเข้าสู่อาคารหรือการที่อาคารสูญเสียความร้อนออกสู่ภายนอก

2.1.2.2 Solar Radiation (Q_s)

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ได้รับผลกระทบจากรังสีดวงอาทิตย์อย่างมาก

2.1.2.3 Ventilation Heat Gain / Loss (Q_v)

ความร้อนที่เกิดจากการระบายอากาศ มีตัวกลางเป็นลมในการพาความร้อนเข้าสู่อาคาร ทั้งนี้มีผลมาจากทิศทางลมและความเร็วลมด้วย

2.1.2.4 Evaporative Heat Loss (Q_e)

ความร้อนที่มาจากการระเหยกลายเป็นไอ ขณะที่เกิดการระเหยต้องใช้ความร้อน ทำให้สามารถลดความร้อนออกจากบริเวณนั้นได้

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

2.2.1 อิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์

รังสีดวงอาทิตย์มีอิทธิพลอย่างมากต่อปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายและอุณหภูมิภายในอาคาร ดวงอาทิตย์จะมีการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยแบ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น และรังสีคลื่นยาว มีคุณสมบัติในการสะท้อน ดูดกลืนและส่องผ่าน

รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) เป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศเข้าสู่โลก สามารถส่องทะลุผ่านกระจกได้และถูกดูดซึมโดยวัตถุที่มีมวลสาร ยิ่งวัตถุมีสีเข้มจะยิ่งดูดซึมรังสีคลื่นสั้นได้มาก

รังสีคลื่นยาว (Long wave Radiation) เป็นรังสีที่ถูกแผ่ออกมาจากวัตถุที่มีมวลสารซึ่งดูดซึมรังสีคลื่นสั้นเอาไว้ รังสีชนิดนี้ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกระจกได้ เป็นรังสีที่มีความยาวคลื่นส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ตาสามารถมองเห็นได้

รังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่มายังโลก ส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับไปที่ชั้นบรรยากาศของโลก ส่วนที่ส่องผ่านทะลุเข้ามาในชั้นบรรยากาศสู่พื้นโลก สามารถแบ่งได้ดังนี้

รังสีโดยตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศสู่พื้นผิวโลกโดยตรง

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีที่มีทิศทางไม่แน่นอนเพราะถูกทำให้กระจัดกระจายโดยโมเลกุลของสสารต่างๆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ เช่นอากาศ ไอน้ำ ฝุ่นละออง

รังสีโดยตรงและรังสีกระจาย เมื่อรวมกันเรียกว่า รังสีรวม (Total Radiation) ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์การวางทิศทางของอาคาร รูปร่างและสัดส่วนของอาคาร เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

รังสีสะท้อน (Reflected Radiation) เป็นรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบอาคารหรือวัสดุข้างเคียงแล้วสะท้อนเข้าสู่อาคารได้ โดยในช่วงเวลา 14.00 น. - 16.00 น. เป็นช่วงที่เกิดความร้อนวิกฤต (Overheated Period) พื้นผิวแนวนอนจะได้รับรังสีเป็น 2 เท่าของพื้นที่แนวตั้ง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารเองได้ โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

2.2.2 อุณหภูมิอากาศ

อุณหภูมิอากาศมาตรฐานวัดและเป็นปัจจัยหนึ่งในการวัดสถานะน่าสบายของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของโลกขึ้นอยู่กับแต่ละช่วงเวลา เช่น ฤดูกาล หรือเวลา ในฤดูร้อนดวงอาทิตย์โคจรใกล้โลกทำให้เกิดอุณหภูมิอากาศสูงกว่าช่วงอื่นๆ ของปี ในฤดูหนาวอุณหภูมิอากาศจะลดต่ำลงเนื่องจากดวงอาทิตย์โคจรห่างออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่วัดด้วย

2.2.3 การแผ่รังสีความร้อนจากพื้นโลก

รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศบางส่วนจะถูกพื้นดินดูดซับไว้และเก็บไว้ในรูปของความร้อน และจะคายออกสู่ผิวดิน โดยระดับความร้อนที่คายออกมานั้นจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูงของผิวดินจากระดับน้ำทะเล

2.2.4 ความชื้น (Humidity)

หมายถึง ปริมาณไอน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศ อุณหภูมิที่สูงจะมีความสามารถในการรับปริมาณไอน้ำได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำ ความชื้นสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ดังนี้

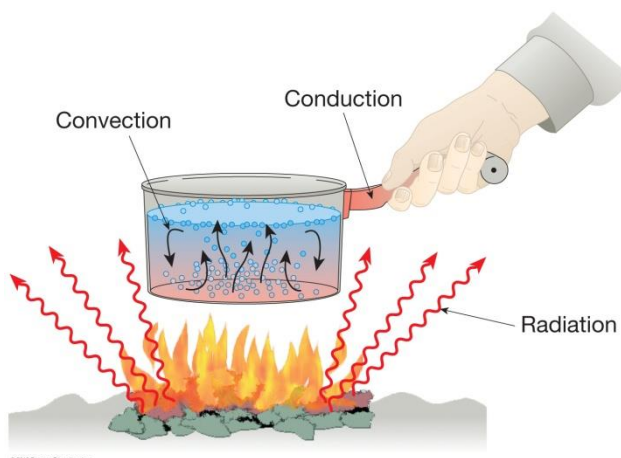
ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำในอากาศกับปริมาตรอากาศแห้ง มีหน่วยเป็นปอนด์

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำในอากาศเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับปริมาณของไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ในขณะนั้น

2.2.5 ลม (Wind)

เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสถานะน่าสบายของมนุษย์ มีอิทธิพลต่อความรู้สึกร้อนหนาว ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งมีปริมาณไอน้ำในอากาศมาก ลมมีส่วนช่วยในการระเหยของเหงื่อที่ผิวกายมนุษย์ เพื่อลดอุณหภูมิในร่างกาย ทำให้มนุษย์รู้สึกเย็นลง ข้อมูลสำคัญที่ควรนำมาวิเคราะห์ในการออกแบบได้แก่ ทิศทางของกระแสลม ความเร็วลม และความถี่ที่เกิดลม [8]

2.3 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

ที่มา : https://www.educate-sustainability.eu/portal/sites/www.educate-sustainability.eu.portal/files/images/02-01_67.img_assist_custom-435x314.jpg

2.3.1 การนำความร้อน (Heat Conduction)

เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดภายในวัตถุ 2 ชิ้นที่สัมผัสกัน โดยความร้อนจะเคลื่อนที่จากวัสดุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังวัสดุที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยไม่ใช้ตัวกลาง

การนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนในของแข็ง เป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียง วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) [2]

อัตราการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำขึ้นอยู่กับการปัจจัย 4 ประการ ได้แก่

- ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็นตารางเมตร โดยวัดตั้งฉากกับทิศทางการนำความร้อนไหลผ่าน

- ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็นเมตร

- ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้ง 2 จุด คือผิวด้านตรงข้ามกันของวัสดุ เช่น อุณหภูมิผิวภายในและภายนอก มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

- ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity : k) เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่บตันที่มีเนื้อเดียว มีหน่วยเป็น Britishthermal Unit ต่อชั่วโมง (Btu/hr)

2.3.2 การพาความร้อน (Heat Convection)

เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่มีสถานะเป็นของเหลวและก๊าซ หรือที่เรียกว่าของไหล (fluid) ความร้อนจะบรรจุอยู่ในตัวกลางที่เป็นของไหลแล้วเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง โมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวสูงขึ้น โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะลอยตัวลงต่ำ ทำให้เกิดการ

ไหลเวียนของอากาศ อัตราการส่งผ่านความร้อนในระบบการพาความร้อน ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลักๆ คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างตัวกลางกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นการถ่ายเทความร้อนออกรอบตัวทุกทิศทาง โดยไม่ต้องใช้ตัวกลางในการถ่ายเทพลังงาน พลังงานจะเดินทางในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่จุดที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและถูกวัตถุนั้นๆดูดซับไป วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงจะแผ่รังสีคลื่นสั้น ส่วนวัตถุที่มีอุณหภูมิต่ำจะแผ่รังสีคลื่นยาว ในการแผ่รังสีของวัตถุนั้น เมื่อวัตถุดูดซับความร้อนจากภายนอกแล้ว จะมีการเปล่งรังสีความร้อนออกไป

รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เมื่อตกกระทบอาคารจะแปรเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นสั้น ที่มีความร้อน ทำให้ความร้อนสะสมในเปลือกอาคารและถ่ายเทเข้าสู่ในอาคาร ทั้งจากผนังและหลังคา เปลือกอาคารจึงมีความสำคัญในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ หากเลือกใช้วัสดุที่มีการสะสมความร้อนน้อยก็จะช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศได้

2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน

2.4.1 ค่าความจุความร้อนของวัสดุ (heat capacity)

ค่าความจุความร้อนคือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุหนึ่งหน่วยปริมาตรหรือพื้นที่ผิว 1 หน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น $\text{Kcal/m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$ และหากคิดเป็นหน่วยพื้นที่จะมีหน่วยเป็น $\text{Kcal/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงจะกักเก็บพลังงานความร้อนไว้ได้มาก ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งทำได้ช้าลง ส่งผลถึงอุณหภูมิผิวของวัสดุทำให้มีค่าแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่วัสดุประเภทที่มีมวลสารมาก ความหนาแน่นสูง เช่น คอนกรีต อิฐ หิน มักจะมีค่าความจุความร้อนสูงกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อยและความหนาแน่นต่ำ วัสดุที่มีความจุความร้อนสูงทำให้อุณหภูมิไหลผ่านวัตถุนั้นช้าลง การคิดค่าความจุความร้อนของวัสดุสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$C = \rho s$$

c คือ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น $\text{Kcal/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือ $\text{Kcal/m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ มีหน่วยเป็น Kg/m^3 หรือ Kg/m^2

s คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (specific heat) มีหน่วยเป็น $\text{Kcal/kg }^{\circ}\text{C}$

จากสูตรจะเห็นได้ว่า ค่าความจุความร้อนของวัสดุจะขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นและค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ ซึ่งค่าความจุความร้อนของวัสดุใดๆ จะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ค่าความหนาแน่นของวัสดุแต่ละชนิดนั้นมีความแตกต่างกันมาก จึงกล่าวได้ว่า ค่าความจุความร้อนของวัสดุใดๆ จะแปรผันตามความหนาแน่นของวัสดุนั้นเป็นส่วนใหญ่

2.4.2 ค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ (time lag)

ตามปกติแล้ววัสดุที่มีมวลสารมากจะสามารถหน่วงเหนี่ยวความร้อนไว้ได้นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย แต่ในสภาพการใช้งานจริงค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุนั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย และที่สำคัญคือปริมาณความร้อนที่มากพอที่จะทำให้วัสดุถึงจุดอิ่มตัว แล้วถ่ายเทความร้อนต่อวัสดุชั้นต่อไป ความร้อนที่กระทำภายนอกเปลือกอาคารจะถ่ายเทเข้าสู่เปลือกอาคารภายในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่งผลให้คลื่นความร้อนจางลง และปริมาณความร้อนจะผ่านเข้ามาได้บางส่วน ปรากฏการณ์นี้ได้จากคุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุ ซึ่งมาจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U value) ยิ่งค่า U ต่ำ วัสดุนั้นจะเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี

ช่วงเวลาที่เกิดจากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ จะทำให้วัสดุด้านในไม่ร้อนทันที เมื่อวัสดุด้านนอกถูกความร้อน ถ้าวัสดุนั้นมีการกักเก็บความร้อนยิ่งมาก เวลาที่ได้จากการหน่วงเหนี่ยวความร้อนก็จะเพิ่มขึ้น วัสดุที่จุความร้อนได้มาก สะสมความร้อนได้มาก จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ช้ากว่าวัสดุที่จุความร้อนได้น้อยและสะสมความร้อนได้น้อย โดยค่าการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (time lag) ของวัสดุ สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Time lag} = 1.3 \times \text{thickness root} (\text{heat capacity}/\text{conductivity})$$

time lag คือ ค่าการหน่วงเวลา มีหน่วยเป็น ชั่วโมง

thickness คือ ความหนาของวัสดุ มีหน่วยเป็น ฟุต

heat capacity คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ มีหน่วยเป็น $\text{Btu}/\text{ft}^3 \text{ } ^\circ\text{F}$

conductivity คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น $\text{Btu}\cdot\text{ft}/\text{hr}\cdot\text{ft}^2\text{ } ^\circ\text{F}$

2.4.3 ค่าการนำความร้อนของวัสดุหรืออัตราการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity : k)

เป็นค่าที่บอกถึงอัตราการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุที่บดตันที่มีเนื้อเดียว มีค่าเป็น k มาจาก British Thermal Unit ต่อ ซม. (Btu/h) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 ตารางฟุต ที่มีความหนา 1 นิ้ว เมื่อผ่านวัสดุนั้นแล้วจะทำให้วัสดุนั้นมีอุณหภูมิลดลง $1 \text{ } ^\circ\text{F}$ ภายใต้สภาพการนำความร้อนคงที่ (steady

state conditions) หน่วยของค่า k คือ Btu/h ft °F เทียบเท่ากับระบบเมตริกคือจำนวนวัตต์ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุขนาด 1 m² เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 °C หน่วยของระบบเมตริกคือ W/m²°C หรือ W/m.K

2.4.4 อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของวัสดุ (thermal conductance : C)

คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนในเวลา 1 ชม. ต่อ ความหนาวัสดุ 1 นิ้ว กำหนดค่าเป็น C เมื่ออุณหภูมิลดลง 1 °F หน่วยของค่า C คือ Btu/h ft °F เทียบเท่าในระบบเมตริกคือ W/m²°C โดยหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$C = k / \text{thickness (m)}$$

2.4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (thermal transmittance : U value)

หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$U = 1 / \Sigma R$$

เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถของวัสดุในการยอมให้ความร้อนถ่ายเทผ่านเนื้อวัสดุจากฟิล์มอากาศที่ติดผิวด้านหนึ่งไปสู่ฟิล์มอากาศที่ติดผิวอีกด้านหนึ่งของวัสดุ มีค่าเป็นส่วนกลับของสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของวัสดุ (R) มีหน่วยเป็น W/m² °C

สามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าทางผนังหรือหลังคาได้จากสมการต่อไปนี้

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

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

Q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านพื้นผิวนั้นๆ มีหน่วยเป็น Btu/h หรือ W

A คือ ขนาดพื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน ตั้งฉากกับทิศทางที่ความร้อนเดินทาง มีหน่วยเป็น m²

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม หาได้จาก 1 / ΣR มีหน่วยเป็น W/m² °C

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิตั้งแต่ระหว่างพื้นผิวภายในและภายนอก มีหน่วยเป็น °C

CLTD คือ ผลต่างภาระการทำความเย็นเทียบเท่า (cooling load temperature difference) มีหน่วยเป็น °C

ความแตกต่างระหว่าง ΔT และ CLTD

- 1.ค่า T ใช้สำหรับพื้นที่ที่ไม่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ เช่น ภายในอาคาร จะใช้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวด้านหนึ่งกับพื้นผิวอีกด้านหนึ่ง
- 2.ค่า CLTD ใช้สำหรับพื้นที่ที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ เช่น ผนังภายนอกอาคาร ผนังอาคารที่ถูกแสงแดดจะดูดซับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้การคำนวณการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากอุณหภูมิภายนอกอาคารกับภายในอาคารมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เป็นผลมาจาก sol-air effect หรือ effective environment temperature เป็นอุณหภูมิที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์และอากาศ ทำให้อุณหภูมิผิวผนังภายนอกสูงขึ้นกว่าอากาศรอบๆ ทำให้ปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น (heat gain) ค่าของ sol-air temperature ขึ้นอยู่กับมวลสารของวัสดุและค่าการดูดซับรังสีของพื้นผิวนั้นๆ โดยหาได้จากสมการต่อไปนี้

2.5 การป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร

2.5.1 การป้องกันความร้อนทางหลังคา

หลังคาเป็นพื้นที่ที่มีระดับใกล้เคียงแนวนอน ส่งผลให้มีปริมาณการดูดซับรังสีดวงอาทิตย์สูงกว่าพื้นที่ในแนวตั้ง เช่น ผนังอาคาร หลังคาทำหน้าที่ป้องกันความร้อนให้กับอาคารทั้งหลัง เป็นส่วนที่มีความร้อนสูงที่สุดในทุกส่วนของอาคาร ยิ่งหลังคาที่มีสีเข้ม เช่น สีน้ำตาล สีดำ หรือสีแดง อาจมีอุณหภูมิผิวภายนอกสูงถึง 60 °C ในช่วงที่มีแดดจัด

การป้องกันความร้อนทางหลังคาจึงมีความสำคัญอย่างมากในการป้องกันความร้อนที่แพร่ผ่านเข้ามาสู่อาคาร เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอก การป้องกันความร้อนทางหลังคาอาจทำได้ดังนี้

- การตัดแบ่งพื้นที่ใต้หลังคาและส่วนภายในอาคารด้วยฉนวนกันความร้อน การตัดแบ่งพื้นที่ใต้หลังคาที่มีความร้อนสูงและส่วนภายในอาคารที่ต้องการให้มีความร้อนเข้ามาน้อยที่สุด สำหรับประเทศไทย ควรจะต้องมีการใช้วัสดุฉนวนที่มีความสามารถในการป้องกันความร้อนที่สูงมาก และต้องเลือกใช้ระบบฝ้าเพดานที่มีรอยรั่วซึมของอากาศน้อยที่สุด ฉนวนจึงจะทำหน้าที่ลดความร้อนที่แพร่จากหลังคาเข้าสู่ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ถ้าประมาณว่าขอบเขตสูงสุดของเขตสบายอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 27 °C ตามแผนภูมิไบโอไคลเมติก ส่วนอุณหภูมิของพื้นที่ใต้ฝ้าเพดานอาจอยู่ที่ประมาณ 40-45 °C ในช่วงที่มีความร้อนสูง (ค่าอุณหภูมิ ใต้ฝ้านี้เป็นค่าประมาณกับหลังคาประเภทมวลสาร เช่น หลังคากระเบื้องต่างๆ ค่านี้อาจสูงมากขึ้นถ้าหลังคาเป็นวัสดุที่มีมวลสารน้อยและบาง เช่น หลังคาเหล็ก หรือ

หลังคาสังกะสี) จะพบว่าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในที่ต้องการและค่าอุณหภูมิใต้ฝ้าเพดานมีความแตกต่างประมาณ 13-18 °C

- การระบายอากาศร้อนภายใต้หลังคา การระบายอากาศร้อนที่สะสมใต้หลังคาออกไป เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่จะช่วยลดความร้อนในพื้นที่ใต้หลังคาได้ แต่วิธีดังกล่าวยังมีข้อติดขัดอยู่ที่ความสามารถในการระบายความร้อนออกจากพื้นที่ด้วยระบบไหลเวียนอากาศตามธรรมชาติ เนื่องจากค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ต้องการให้ภายในอาคารและค่าอุณหภูมิอากาศใต้หลังคา มีความแตกต่างกันมาก ความเร็วลมที่จะระบายความร้อนออกไปจะมีค่าสูงมากกว่าที่จะมีอยู่ก็ตาม สภาพแวดล้อมในธรรมชาติการระบายอากาศร้อนเพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอในการป้องกันความร้อนจากหลังคา และจำเป็นต้องใช้ฉนวนเข้ามาช่วยป้องกันความร้อนจากพื้นที่ใต้หลังคาเพิ่มเติม

2.5.2 ฝ้าเพดานที่ใช้สำหรับบ้านพักอาศัย

วัสดุแผ่นเรียบที่นิยมใช้กันมากกับส่วนที่เป็นฝ้าเพดานภายในและภายนอกบ้าน เช่น ฝ้าชายคา รวมไปถึงเพดานโรงรถ ลักษณะเป็นแผ่นแข็งขนาดใหญ่ ผิวเรียบ ในอดีตเรียกว่ากระเบื้องซีเมนต์ใยหินแผ่นเรียบ แต่เนื่องจากสารใยหินในวัสดุนั้นส่งผลกระทบต่อร่างกาย วัสดุแผ่นเรียบในปัจจุบันจึงหันไปใช้วัสดุที่ปลอดภัยเหมือนไม้หรือเส้นใยเซลลูโลสจากพืชในการผลิตแทน ซึ่งเส้นใยประเภทนี้มีคุณสมบัติที่ดี ในการทนต่อความร้อน ความชื้น ไม่โก่งงอ ไม่ติดไฟ ติดตั้งง่าย มีราคาถูก เช่น แผ่นไม้อัดต่อเนกประสงค์ วีวาบอร์ด แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ด คอนวูดบอร์ด ทีซีเอส รวมไปถึงแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์เฌอรา เป็นต้น

2.5.2.1 แผ่นยิปซัมบอร์ด (Gypsum board)

เป็นที่นิยมใช้กันมาก ใช้ได้ทั้งเป็นฝ้าเพดานภายในและภายนอกบ้าน มีผงบยิปซัมเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งเป็นฉนวนที่ดี ทนไฟและป้องกันเสียงได้ สามารถตกแต่งและปกปิดรอยต่อได้ง่าย และสวยงาม โดยยิปซัมบอร์ดสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ยิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดาหนา 9 mm. ใช้สำหรับฝ้าเพดานภายในบ้านพักอาศัยทั่วไป
2. ยิปซัมบอร์ดชนิดทนความชื้น เพิ่มคุณสมบัติในกาทนความชื้นโดยผสมสารป้องกันการดูดความชื้นเข้าไปในเนื้อยิปซัม ใช้สำหรับงานฝ้าเพดานห้องน้ำ ห้องครัว รวมไปถึงพื้นที่ภายนอก เช่น ส่วนระเบียง เป็นต้น
3. ยิปซัมบอร์ดชนิดทนความร้อน เป็นยิปซัมบอร์ดที่ติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยด์ไว้ด้านหลัง เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนซึ่งสามารถสะท้อนรังสีความร้อนได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับติดตั้งในห้องที่ติดกับหลังคาหรือห้องใต้ชั้นดาดฟ้า

4. ยิปซัมบอร์ดชนิดทนไฟ มีการเสริมความแข็งแรงโดยการเสริมเส้นใยชนิดพิเศษ สามารถทนไฟได้ 1-4 ชั่วโมง ส่วนมากใช้ในห้องครัว ทางหนีไฟ หรือใช้กับบ้านโครงสร้างเหล็ก

5. แผ่นยิปซัมลดเสียงสะท้อน มีการฉลุลวดลายต่างๆ ลงที่ตัวแผ่นยิปซัม และบุด้วยแผ่นกลาสแมท (Glass Matt) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง ลดเสียงสะท้อนและเสียงก้องได้เป็นอย่างดี มักใช้กับ ห้องประชุม ห้องทำงาน หรือห้องโฮมเธียเตอร์ เป็นต้น

การติดตั้งยิปซัมบอร์ดสำหรับฝ้าเพดาน

ทำได้ 2 วิธีคือยึดกับโครงคร่าวโลหะด้วยสกรู จากนั้นฉาบรอยต่อให้เรียบแล้วทาสี วิธีนี้จะทำให้ฝ้าดูเรียบ สะอาด เป็นผืนเดียวกัน อีกวิธีหนึ่งคือ ติดตั้งแบบชนิดแยกแผ่น วางบนโครงคร่าวแบบแขวน หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า ที-บาร์ วิธีนี้ สะดวกในการประกอบ ใส และถอดออก ฝ้าที-บาร์ มักไม่นิยมใช้ในบ้านพักอาศัย เพราะมีเส้นสายของโครงคร่าว ทำให้และดูไม่สวยงาม อาจมีการใช้ในส่วน of ห้องหรือบริเวณที่ต้องการเปิดขึ้นไปดูความเรียบร้อยเหนือฝ้าเพดาน เช่น ห้องน้ำหรือห้องควบคุมงานระบบต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 6 แผ่นยิปซัมบอร์ด

ที่มา : <http://www.banidea.com/wp-content/uploads/2013/02/gypsum-board-interiors-5.jpg>

2.5.2.2 ฝ้าระแนงไม้จริง

มักจะใช้กับพื้นที่ภายนอกบ้าน ที่ต้องการความสวยงามจากลวดลายไม้หรือสีสันทตามธรรมชาติ โดยนำระแนงไม้ขนาดหน้ากว้างประมาณ 2-4 นิ้ว มาเรียงต่อกัน เว้นช่องห่างประมาณ 5-8 mm. เพื่อใช้ระบายอากาศ หรืออาจใช้วิธีเข้าลิ้นรางเซาะร่องให้ดูเรียบร้อยสวยงามก็ได้ ไม่ควรใช้ระแนงไม้ที่มีความหนาน้อยกว่า 3/4 นิ้ว เพื่อป้องกันไม้บิดตัวเมื่อได้รับความชื้นหรืออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง การนำระแนงไม้จริงมาใช้เป็นฝ้าเพดานในส่วนที่มีการสะสมความร้อนจากใต้หลังคา อาจทำให้ไม้ดกงอหรือบิดตัวได้ จึงควรมีการเว้นร่องไม้เป็นระยะๆ ไว้ ทั้งนี้ช่องดังกล่าวความถี่ตาข่ายหรือมุ้งลวดไว้ด้วยเพื่อป้องกันแมลงหรือสัตว์ต่างๆ เข้าไปอยู่อาศัย เป็นที่มาของเชื้อโรคต่างๆ

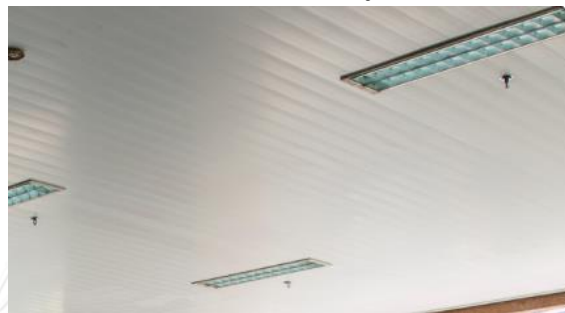
2.5.2.3 ฝ้าเพดานอลูมิเนียม

ฝ้าเพดานชนิดนี้มีลักษณะการยึดติดโดยนำชิ้นส่วนอลูมิเนียมสำเร็จรูปมาเรียงต่อกันคล้ายฝ้าเพดานไม้หรือแผงเหมือนฝ้าที-บาร์ ยึดโดยคร่าวอลูมิเนียม วิธีนี้จำทำให้ฝ้าเพดานดูเรียบร้อย เนื่องจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมีขนาดมาตรฐาน เลือกลสีได้ตามต้องการ อายุการใช้งานยาวนาน ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอก ไม่ติดไฟแต่ไม่ทนความร้อน ไม่นิยมใช้ในบ้านพักอาศัยทั่วไปนักเพราะแลดูแข็งกระด้าง



รูปที่ 8 ฝ้าอลูมิเนียมแบบตะแกรง

ที่มา : <http://www.fristweb.com/user/tui/media/image/20140427004802.jpg>



รูปที่ 7 ฝ้าระแนงไวนิล

ที่มา : http://community.akanek.com/sites/default/files/screen_shot_2558-01-28_at_9.58.54_am.png

2.5.2.4 ฝ้าระแนงไวนิล

ฝ้าชนิดนี้เกิดจากการพัฒนาวัสดุประเภทพีวีซีคุณภาพสูง ซึ่งเป็นพีวีซีชนิดเดียวกับที่ใช้ทำหน้าต่างประตูไวนิล นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นคล้ายฝ้าชนิดอลูมิเนียม ใช้เป็นฝ้าระแนงในส่วนชายคา มีความทนทาน ไม่บิดงอ สีไม่ซีดจาง แลดูเรียบร้อยสวยงาม แต่มีราคาสูงกว่าฝ้าเพดานชนิดอื่นในท้องตลาด

2.5.2.5 ฝ้าระแนงไม้เทียม

เป็นฝ้าระแนงที่มีกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับวัสดุแผ่นเรียบ เพียงแต่นำมาประยุกต์รูปแบบ ลวดลายและขนาดให้เหมือนระแนงไม้จริง เพื่อแก้ปัญหาเรื่องการบิดงอของไม้ ปลวกไม่กิน ไม่ติดไฟ ติดตั้งง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย ฝ้าระแนงไม้เทียมที่พบมากในปัจจุบัน เช่น ฝ้าระแนงไม้เฌอร่าผิวเรียบ และแบบมีลวดลาย ไม้ระแนงคอนวูด มีทั้งแบบตัดขึ้นหน้ากว้าง 3 นิ้ว และชนิดแผ่นเซาะร่อง ขนาด 4x8 ft ไม้ระแนงตราช่าง ขนาดหน้ากว้าง 3 นิ้ว เป็นต้น



รูปที่ 9 ฝ้าระแนงไม้เทียม

ที่มา : <http://www.idm.co.th/wp-content/uploads/2014/06/CEILING-021.jpg>

2.6 ฉนวนกันความร้อน

2.6.1 ความหมายของฉนวนกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อน คือ วัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อน ไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย การส่งผ่านความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) นี้ สามารถเกิดขึ้นได้เมื่ออุณหภูมิของวัสดุทั้งสองมีความแตกต่างกัน จากการทดลองพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนตรงกับผลต่างของอุณหภูมิคร่อมผิววัตถุ (ด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำ) แลพื้นที่ผิวที่ความร้อนไหลผ่าน (ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน) แต่จะเป็นสัดส่วนกลับกับความหนาของวัตถุนั้น การนำความร้อนของแผ่นราบสามารถคำนวณได้โดยสมการต่อไปนี้

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

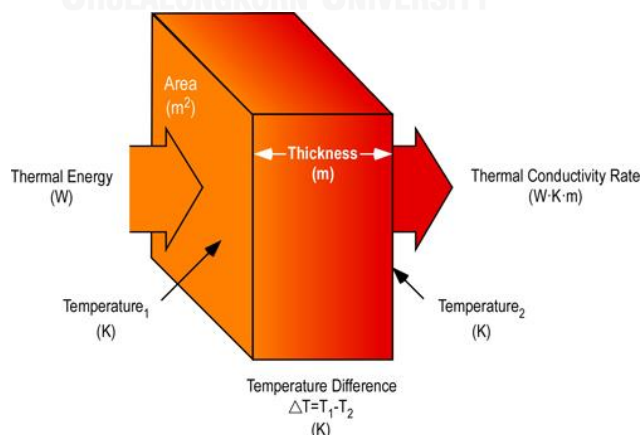
Q คือ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท ต่อ 1 วินาที มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

K คือ สภาพการนำความร้อนของวัตถุ มีหน่วยเป็น W/m.K

A คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m²)

T₁, T₂ คือ อุณหภูมิสูงและต่ำที่ผิวแต่ละด้านตามลำดับ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (K)

X คือ ความหนาของแผ่นราบ มีหน่วยเป็น เมตร (m)



รูปที่ 10 การนำความร้อนผ่านแผ่นราบ

ที่มา : http://cfbt-us.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/03/thermal_conductivity_lr.jpg

content/uploads/2010/03/thermal_conductivity_lr.jpg

2.6.1.1 ฉนวนความร้อนสำหรับอาคาร

ฉนวนกันความร้อนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอาคารในปัจจุบัน โดยจะทำหน้าที่หลายอย่างด้วยกัน ทำให้ส่งผลกระทบต่อราคาก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในขณะใช้งานด้วย ฉนวนไม่ใช่สิ่งสำคัญเฉพาะกับพื้น ผนัง หรือหลังคาของอาคาร แต่ยังรวมไปถึงงานระบบเชิงกลในอาคารด้วย เช่นระบบปรับอากาศ สถาปนิกส่วนใหญ่มักจะไม่ได้ให้ความสำคัญกับฉนวนกันความร้อนว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้อาคารนั้นๆประหยัดพลังงานมากขึ้น

การใช้ฉนวนที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมสำหรับ พื้น ผนัง และหลังคา จะสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็นให้กับอาคารส่งผลไปถึงการลดขนาดอุปกรณ์การทำความเย็นหรือความร้อนให้กับอาคาร อีกทั้งฉนวนยังช่วยควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เปลี่ยนแปลงมาก ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของผู้ใช้อาคารด้วย

2.6.1.2 การถ่ายเทความร้อนภายในฉนวน

การติดตั้งฉนวนกันความร้อน คือการเก็บรักษาพลังงานไม่ให้มีการถ่ายเทออกไปหรือเข้ามาภายในบริเวณที่ต้องการ ฉนวนกันความร้อนจะป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งสามรูปแบบ ฉนวนส่วนใหญ่มักเป็นของแข็งและคาดว่า จะป้องกันการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน แต่ความจริงแล้วกลไกการถ่ายเทความร้อนในฉนวนไม่ได้เกิดขึ้นจากการนำความร้อนเท่านั้น แต่ยังมีการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนร่วมอยู่ด้วย จึงมักใช้คำว่า สภาพการนำความร้อนปรากฏ (apparent thermal conductivity)

ความร้อนที่ไหลผ่านฉนวนที่บรรจุไปด้วยช่องอากาศหรือก๊าซจากการฟอร์มตัวขึ้นตามสภาพเส้นใย หรือเซลล์ของวัสดุ จะมีอัตราการไหลที่ช้าลง หากช่องอากาศเหล่านี้มีขนาดที่พอเหมาะจะทำให้ฉนวนมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ดีขึ้น เพราะช่องอากาศเหล่านี้ทำให้เส้นทางการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำผ่านส่วนที่เป็นของแข็งต้องเป็นเส้นทางที่ยาวและคดเคี้ยวมากขึ้น จึงทำให้ความร้อนเคลื่อนที่ได้ช้าลง

2.6.2 ประเภทของฉนวนกันความร้อน

การจำแนกประเภทของฉนวนความร้อนสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่นำไปใช้ ในที่นี้จะแสดงลักษณะการแบ่งประเภทฉนวนตามชนิดของวัสดุพื้นฐาน (basic materials) ที่ใช้ในการผลิตได้ 4 ประเภทดังนี้

2.6.2.1 วัสดุประเภทใยแร่ (Mineral fibrous material) เช่นใยหิน (rock wool) ใยโลหะที่ได้จากการถลุงโลหะ (Slag) ใยแก้ว (glass fiber)

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



รูปที่ 11 ใยหิน (rock wool)



รูปที่ 12 ขนสัตว์ (hair)



รูปที่ 13 ไม้ก๊อก



รูปที่ 14 แคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate)

2.6.2.3 วัสดุประเภทเซลล์ธรรมชาติ (Organic cellular material) เช่น ไม้ก๊อก โฟมยาง พอลิไทรีน พอรียูรีเทน

2.6.2.4 วัสดุประเภทเซลล์แร่ (Mineral cellular material) เช่น แคลเซียมซิลิเกต (calcium silicate) เพอร์ไลต์ (perlite) เวอร์มิคูไลต์ (vermiculite) โฟมคอนกรีต (foamed concrete)

2.6.3 สมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อน

การเลือกใช้ฉนวนให้เหมาะสมกับงาน ควรเลือกใช้ตามลักษณะสมบัติ (characteristics) ที่สำคัญของส่วนประกอบหลักที่เป็นวัสดุสำหรับทำหน้าที่กันความร้อน โดยแบ่งฉนวนความร้อนได้ออกเป็น 6 ชนิด

2.6.3.1 ชนิดพื้นฐานสมบัติ

ชนิดพื้นฐานสมบัติของฉนวนความร้อนหาได้จากองค์ประกอบของฉนวนเป็นหลัก อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงจะเป็นการผสมผสานฉนวนเข้าด้วยกันดังนี้

1. ชนิดฉนวนชั้นอากาศหรือฟิล์มอากาศ เป็นพื้นผิวอย่างง่ายหรืออาจเป็นพื้นผิวหลายๆชั้น ซึ่งมีอากาศชั้นอยู่ระหว่างชั้นพื้นผิว ความต้านทานความร้อนจะเกิดจากชั้นของพื้นผิวเองและชั้นของอากาศเองในลักษณะการนำความร้อนหรือการพาความร้อนคร่อมระหว่างชั้นอากาศ

2. ชนิดวัสดุฉนวนแบบเส้นใย (Fibrous material) ประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางจำนวนเล็กๆจำนวนมาก เส้นใยเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ เช่น เส้นใยของพืชต่างๆ เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ฝ้าย และเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว ใยแร่ ใยซีโลส เป็นต้น

3. ชนิดวัสดุฉนวนแบบช่องหรือเซลล์ (Cellular material) ประกอบด้วยเวลล์เล็กๆที่ผนังของเซลล์แต่ละเวลล์จะฉนวนติดกัน ผลิตจากวัสดุจำพวกแก้ว พลาสติก หรือยาง ตัวอย่างของฉนวนชนิดนี้ได้แก่ โฟมชนิดยืดหยุ่น โฟมพอลิสไตรีน โฟมพอลิยูรีเทน เป็นต้น

4. ชนิดวัสดุฉนวนแบบเป็นโพร่งหรือช่องว่าง (Granule) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ซึ่งเป็นโพร่ง หรือกลวง โพร่งเหล่านี้ติดต่อกันและกันได้ จึงทำให้แตกต่างจากฉนวนแบบเซลล์ วัสดุที่ใช้ทำฉนวนชนิดนี้อาจเป็น แมกนีเซียม ซิลิเกต ดังนั้นความร้อนจึงสามารถถ่ายเทผ่านโพร่งอากาศนี้ได้

5. ชนิดวัสดุฉนวนแบบเป็นเกล็ดหรือแผ่นเล็กๆ (Flake) ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก อนุภาคขนาดนี้อาจถูกเทเข้าไปในโพร่งอากาศหรือทำให้เกาะตัวกันเข้าเป็นรูปทรงฉนวนที่แข็ง ลักษณะเป็นบล็อกหรือแผ่นอัด ฉนวนแบบเกล็ดที่รู้จักกันทั่วไป ได้แก่ เพอไลท์ (perlite) และเวอร์มิคูไลท์ (vermiculite)

6. ชนิดวัสดุฉนวนแบบเป็นแผ่นบางผิวสะท้อนรังสี (sheet) ทำจากวัสดุที่มีค่าการสะท้อนรังสีความร้อนสูง หรือมีสภาพการแผ่รังสีต่ำ การใช้งานฉนวนชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้วัสดุหลายชนิดประกอบกันเป็นระบบมากกว่าใช้วัสดุเพียงชนิดเดียว การใช้งานฉนวนแบบแผ่นที่มีประสิทธิภาพจะต้องใช้ร่วมกับฉนวนที่มีช่องว่างอากาศที่มีสภาวะอากาศอยู่นิ่ง เพื่อลดการถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อนและการพาความร้อน

2.6.3.2 สมบัติทางกายภาพ ความร้อนของวัสดุและฉนวนอาคาร

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพ ความร้อนของวัสดุและฉนวนอาคาร[2]

ประเภทวัสดุ	ค่าความหนาแน่น (kg/m ³)	ค่าการนำความร้อน (W/m.k)
แผ่นไม้อัด	907	0.2290
แผ่นยิปซัม ชนิดธรรมดา	725	0.3058
แผ่นยิปซัม ชนิดทนไฟ	885	0.3533
แผ่นยิปซัม ชนิดอลูมิเนียมพอยล์	745	0.3215
แผ่นยิปซัม ชนิดทนความร้อน	775	0.2973
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว	600-700	0.0564-0.0957
แผ่นฉนวนจากขาน้อย	350	0.055
แผ่นฉนวนจากขี้เถ้าโพด	200-800	0.0632-0.1236
แผ่นฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง	200-800	0.0593-0.1058
ฉนวนจากใบยางพารา	96.5	0.080
ใยแก้ว	16	0.0350
ฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ	450	0.0460
ฉนวนจากหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ	180	0.0564
แผ่นฉนวนจากเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว	856	0.1342
แผ่นฉนวนจากต้นปอกระเจา	150-200	0.051-0.058
แผ่นฉนวนจากลำต้นฝ้าย	150-450	0.058-0.081
ฉนวนจากเส้นใยเซลลูโลส	30-80	0.040-0.045
ฉนวนจากใยแก้วและใยหิน	20-200	0.035-0.045

2.6.4 การใช้งานฉนวนกันความร้อนในอาคาร

ระบบฉนวนกันความร้อนที่ใช้ในอาคาร สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

2.6.4.1 ฉนวนอาคาร (Building systems) คือระบบฉนวนที่ติดตั้งภายในอาคารที่ปิดมิดชิด ประกอบด้วย ฉนวนที่ใช้งานกับผนัง พื้น หลังคาและฐานรากของอาคาร ฉนวนอาคารอาจถูกจัดวางในชั้นส่วนต่างๆของอาคาร เช่นจัดวางระหว่างโครงสร้างของอาคาร จัดวางบริเวณผิวด้านในหรือด้านนอกอาคาร เป็นต้น

2.6.4.2 ระบบอุปกรณ์เครื่องกล (Mechanical systems) คือระบบฉนวนที่ใช้งานกับระบบท่อปรับอากาศทั้งการทำความเย็นและความร้อน ระบบท่อน้ำเย็นและน้ำร้อน ถึงเก็บภาชนะต่างๆ และอุปกรณ์ทางกลอื่นๆ ระบบฉนวนประเภทนี้จะยึดหลักพื้นฐานที่อุณหภูมิการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละชนิดและเลือกใช้ฉนวนที่มีคุณสมบัติในด้านอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดให้เหมาะกับการใช้งาน ซึ่งหากใช้งานเกินข้อจำกัดของอุณหภูมิ ฉนวนจะไม่เสถียรหรือไม่มีความเป็นฉนวนต่อไป

2.6.4.3 ระบบฉนวนในการประยุกต์ใช้งาน คือระบบที่นอกเหนือจากระบบทั้งสองที่กล่าวข้างต้น ได้แก่ สิ่งอำนวยความสะดวกในการเก็บรักษาความเย็น ห้องปรับสภาพแวดล้อมและงานเรือ เป็นต้น

2.6.5 การพิจารณาเลือกใช้ฉนวนและมวลสาร

การเลือกฉนวนเป็นวิธีการลดปริมาณความร้อนที่เข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในการเลือกใช้ฉนวนนั้น ผู้ใช้จะต้องทราบและเข้าใจถึง วัตถุประสงค์และลักษณะการใช้งานของฉนวน เพื่อให้สามารถกำหนดเกณฑ์เบื้องต้นของสมบัติฉนวนที่ต้องการได้ โดยมีข้อควรพิจารณาดังนี้

2.6.5.1 รูปแบบทางกายภาพ (Physical forms)

รูปแบบของฉนวนมีหลายรูปแบบให้เลือกใช้งาน เช่น แบบคลุม แบบแผ่น แบบพ่น แบบฉีด เป็นต้น ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน ตำแหน่งที่ติดตั้ง ความแข็งแรง คงทน รวมไปถึงค่าใช้จ่ายด้วย

2.6.5.2 ความหนาแน่นและความจุความร้อน (Bulk density and Heat capacity)

ในกระบวนการผลิตฉนวนแต่ละชนิด จะทำให้ความหนาแน่นและค่าความจุความร้อนของฉนวนมีค่าแตกต่างกันไป เป็นคุณสมบัติที่ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ฉนวนที่ดีจะมีค่าความหนาแน่นและค่าความจุความร้อนที่เหมาะสมที่สุดเพียงค่าเดียว สามารถดูได้จากผู้ผลิต

2.6.5.3 อุณหภูมิการใช้งานที่เหมาะสม (Suitability for service temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการใช้ฉนวน มี 3 ระดับ การเลือกใช้ฉนวนที่ไม่เหมาะสมกับอุณหภูมิที่ใช้งาน อาจทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของฉนวนได้ การแบ่งระดับของอุณหภูมิในการใช้งานฉนวนทำได้ดังนี้

1. ฉนวนสำหรับอุณหภูมิตั้งแต่ -270 ถึง 100 °C ได้แก่ กลาสโฟม (Glass foam) เซลลูโลส (Cellulose foam) เป็นต้น

2. ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 100 ถึง 500 °C ได้แก่ แคลเซียมซิลิเกต กลาสโฟม ไบร่ ฟอยล์ เป็นต้น

3. ฉนวนสำหรับช่วงอุณหภูมิมากกว่า 500 °C ได้แก่ ฉนวนสารพวกอนินทรีย์ประเภทคาร์บอนหรือโลหะ เช่น ฟอยล์ เซรามิก ไยเซรามิก ไยคาร์บอน เป็นต้น

2.6.5.4 การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน (Thermal expansion)

เมื่อฉนวนได้รับความร้อนจนเกิดการขยายตัว อาจทำให้ประสิทธิภาพของฉนวนเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเลือกใช้ฉนวนจึงต้องดูจากอุณหภูมิการใช้งานที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถใช้งานฉนวนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและป้องกันการเสียหายที่อาจเกิดขึ้น

2.6.5.5 ความสามารถในการต้านทานความร้อน (Thermal resistivity)

ความสามารถในการต้านทานความร้อนของฉนวนดูได้จากค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance หรือ R-Value) โดยฉนวนที่มีค่าการต้านทานความร้อนยิ่งสูงจะยิ่งกันความร้อนได้ดี ตัวอย่างฉนวนที่กันความร้อนได้ดีเป็นฉนวนประเภทโฟม

2.6.5.6 ความต้านทานต่อความชื้น (Resistance to water penetration)

ฉนวนมีความชื้นจะทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพหรือสูญเสียคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไป การเลือกใช้ฉนวนที่เหมาะสมกับอาคารจึงสามารถป้องกันความชื้นให้กับอาคารได้อีกด้วย ปัจจุบันมีการป้องกันความชื้นให้กับฉนวนด้วยการใช้วัสดุที่สามารถกันความชื้นได้ดีมาหุ้มไว้ เช่น แผ่นอลูมิเนียมพอยล์ แผ่นพอลิเอทิลีน แผ่นพีวีซี เป็นต้น

2.6.5.7 ความต้านทานต่อแรงอัด (Resistance to compaction)

ความต้านทานต่อแรงอัด เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของฉนวน และการมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยฉนวนที่ต้องมีความต้านทานต่อแรงอัดสูง เช่น ฉนวนพื้น ฉนวนที่ขอบประตู หน้าต่าง เป็นต้น ฉนวนที่ต้องรับแรงอัดสูงอาจเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่าย จึงต้องคำนึงถึงความต้านทานต่อแรงอัดด้วย ฉนวนที่มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อแรงอัดได้สูง เช่น ฉนวนประเภทโฟม และพอลิเมอร์บางชนิด เป็นต้น

2.6.5.8 ความแข็งแรงทางกล (Mechanical strength)

ความแข็งแรงทางกลของฉนวน หมายถึง ความสามารถของฉนวนในการทนต่อแรงต่างๆ หลายรูปแบบ เช่น แรงดึง แรงอัด แรงเฉือน การรับน้ำหนัก การทนต่อการสั่นสะเทือน การกระแทก ทนต่อแรงบิด ความแข็งแรงทางกลของฉนวนจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบความหนาแน่น ขนาดของเซลล์ ขนาดและการจัดเรียงตัวของเส้นใยของฉนวน ชนิดและปริมาณของตัวประสาน ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมการใช้งานด้วย

2.6.5.9 อันตรายจากเพลิงไหม้ (Fire hazard)

ฉนวนที่ใช้กับบางส่วนของอาคาร ที่มีโอกาสเกิดเพลิงไหม้ได้ง่าย ควรมีคุณสมบัติหรืออุปกรณ์ที่ช่วยในการป้องกันเพลิงไหม้ ฉนวนบางชนิดที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนที่ดีมาก เช่น ฉนวนประเภทโฟมต่างๆ อาจกันเพลิงไหม้ไม่ได้ ในการเลือกใช้ฉนวน จึงควรพิจารณาถึงประเด็นนี้ด้วย

2.6.5.10 ความต้านทานต่อแมลงและเชื้อรา (Resistance to vermin and Fungus)

ฉนวนที่มีความชื้นสูงเป็นแหล่งเจริญเติบโตของเชื้อราและทำให้ฉนวนเสื่อมสภาพ โดยเฉพาะฉนวนจากสารอินทรีย์ เช่น เส้นใยเซลลูโลส เป็นแหล่งอาหารและที่อยู่ของแมลงบางชนิด จึงควรพิจารณาถึงคุณสมบัติในด้านนี้ด้วย

2.6.5.11 การกั้นเสียง (Acoustical resistance)

ฉนวนที่มีรูพรุน หรือฉนวนที่มีช่องว่างอากาศในตัววัสดุมาก เป็นฉนวนที่มีคุณสมบัติในการกั้นเสียงที่ดี เหมาะสมสำหรับใช้ในบางส่วนของอาคารที่ต้องการลดมลภาวะทางเสียง เช่น ห้องประชุม ห้องโสตเทียเตอร์

2.6.5.12 การปลอดจากกลิ่น (Freedom from odour)

การปลอดจากกลิ่นที่สำคัญต่อการใช้งานฉนวน โดยเฉพาะฉนวนที่ติดตั้งภายในอาคาร ฉนวนที่มีสารเคมีประกอบ หากเกิดการเผาไหม้หรือเสื่อมสภาพอาจทำให้ ผู้ใช้อาคารได้รับสารเคมีได้

2.6.5.13 ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมี (Corrosion and Chemical resistance)

ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและสารเคมีของฉนวนเป็นคุณสมบัติหนึ่งที่ต้องพิจารณาในการใช้งาน การเสื่อมสภาพของฉนวนด้วยสารเคมีและสภาพอากาศ จะทำให้ฉนวนมีประสิทธิภาพลดต่ำลง

2.6.5.14 การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษาเป็นสิ่งที่นำมาซึ่งค่าใช้จ่ายหลังการติดตั้งฉนวน จึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบในการใช้งาน

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การพัฒนาวัสดุผ้าประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

พลพัฒน์ นิลอุบล [2] ได้ทำการพัฒนาวัสดุผ้าประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยใช้ส่วนผสมของฟางข้าวและมะพร้าวสับ พบว่า คุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีของแผ่นผ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความหนา โดยแผ่นผ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับที่มีความหนาน้อยที่สุด มีขนาด 15 mm. จะมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีกว่า 30 mm. เนื่องจากความหนาที่มากขึ้นจะทำให้การนำความร้อนและความชื้น เกิดขึ้นมากตามไปด้วย เมื่อนำแผ่นผ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าวสับ หนา 15 mm. เปรียบเทียบกับ แผ่นฉนวนจากฟางข้าว แผ่นอิพซิมบอร์ด และใยแก้ว พบว่ามีคุณสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีกว่าโดยเทียบในขนาดความหนาเดียวกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ 0.046 W/m.K



รูปที่ 16 ผนังไม้จริงที่มีการปิดช่องว่างระหว่างไม้ด้วยเม็ดโพลีโพลีสไตรีน



รูปที่ 15 ฉนวนใยบางพารา

2.7.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความร้อนของผนังไม้จริงตัดขวาง

ฐิติรัตน์ ลิ้มปิยพันธ์ [1] ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความร้อนของผนังไม้จริงตัดขวางทดลองโดยใช้หลอดไฟอินฟาเรดขนาด 500 W 2 ดวง ส่องในแนวระนาบไปที่กล่องทดลองขนาด 60x60x60 cm. ที่มีการวางวัสดุผนังไม้จริงตัดขวางในแนวตั้ง พบว่า ผนังไม้จริงตัดขวางมีความสามารถในการคายความร้อนได้ดีกว่าผนังอิฐฉาบปูน และผนังไม้จริงที่มีการปิดช่องว่างระหว่างไม้ด้วยเม็ดโพลีโพลีสไตรีน ที่มีความหนาแน่น 660.44 kg/m³ สามารถห้วงความร้อนและคายความร้อนได้ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ 0.182 W/mK และผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 พบว่า บ้านที่ใช้ผนังไม้จริงตัดขวางใช้พลังงานในการทำความเย็นน้อยกว่าบ้านที่ใช้ผนังก่ออิฐฉาบปูนประมาณร้อยละ 36

2.7.3 ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของฉนวนใยยางพารา

จักรกริศน์ พิสุตรเสียง [5] ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของฉนวนใยยางพารา โดยศึกษาในอาคารที่แบ่งเป็นห้องทดลอง ขนาด 1×2 m. จำนวน 4 ห้อง ติดตั้ง ฉนวนใยยางพารา ฉนวนใยแก้ว ฉนวนใยเซโกลีตและฉนวนโพลียูรีเทนโฟม พบว่า ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากใยยางพาราหนา 1 นิ้ว มีแผ่นไม้อัดประกบทั้ง 2 ด้าน ที่มีความหนาแน่น 96.5 kg/m^3 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.080 W/mK มีประสิทธิภาพในการกันความร้อนได้ดีใกล้เคียงกับ ฉนวนใยแก้วหนา 2 นิ้ว ฉนวนใยเซโกลีตหนา 1 นิ้ว และฉนวนโพลียูรีเทนโฟมหนา 1 นิ้ว

2.7.4 การประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดเป็นฝ้าเพดานกันความร้อน.

ปิติณัตต์ ตรึงศ์ [9] ได้ทำการวิจัยคุณสมบัติในการกันความร้อนของฉนวนแผ่นใยไม้อัดและแผ่นยิปซัมบอร์ด พบว่า สามารถใช้แผ่นใยไม้อัดจากไม้ยางพาราเป็นฝ้าเพดานกัน ความร้อนแทนแผ่นยิปซัมได้โดยแผ่นใยไม้อัดจากไม้ยางพารามีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.045 W/mK ซึ่งต่ำกว่าแผ่นยิปซัมถึง 7 เท่า และแผ่นใยไม้อัดยังมีความแข็งแรงมากกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ด โดยสามารถพิจารณาได้จากค่าความต้านทานแรงดัด และค่าความต้านทานแรงดัดตั้งฉาก อย่างไรก็ตามแผ่นใยไม้อัดยังมีข้อเสีย คือ มีการพองตัวสูงกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ด จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูงหรือมีโอกาสเปียกน้ำได้ง่าย

2.7.5 การนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน.

ธัญลักษณ์ จงมี [10] ได้ทำการวิจัยโดยนำเส้นใยธรรมชาติสามชนิดคือ เส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และรังไหม นำมาจัดทำขึ้นทดสอบโดยการตัดผ้าปูขนาด 10×10 cm. เว้นระยะห่าง ช่องละ 10 cm. จำนวน 10 ช่องบรรจุเส้นใยทุกช่องและชั่งน้ำหนัก ทดสอบภาคตัดตามขวางและตามยาวของขึ้นทดสอบ ทดสอบคุณสมบัติการไหลผ่านของอากาศและทดสอบการนำความร้อนของเส้นใยทั้ง 3 ชนิดตามลำดับ โดยทุกชิ้นมีความหนา 0.5 cm. และตรวจวัดค่าในเวลา 5 วินาที พบว่า ชิ้นทดลองที่มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนที่ดีที่สุดคือ ชิ้นทดลองที่บรรจุเส้นใยขนสัตว์มีค่าการต้านทานความร้อนเท่ากับ $0.0623 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ รองลงมาคือชิ้นที่บรรจุเส้นใยฝ้ายและรังไหมตามลำดับ

2.7.8 การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ

สมเจตน์ พชรพันธ์และคณะ [6] ได้ทำการวิจัยการผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ พบว่า เส้นใยเซลลูโลสเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อน งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและสมบัติทางความร้อนของฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ โดยฉนวนความร้อนขนาดกว้าง 20 cm. ยาว 20 cm. และหนา 1.5 cm. ความหนาแน่น 180 kg/m^3 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.0564 W/mK ซึ่งใกล้เคียงกับฉนวนความร้อนที่ผลิตทั่วไป ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการนำเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนสามารถทดแทนฉนวนความร้อนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ได้

2.7.9 การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว.

กิตติศักดิ์ บัวศรี [4] ได้ทำการวิจัยการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากฟางข้าว โดยใช้กาวสังเคราะห์ยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เรซิน เกรด EU-617 ทำหน้าที่เป็นสารยึดติด ผลิตโดยวิธีการอัดร้อน โดยขึ้นทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบแบบชั้นเดียวมีขนาดกว้าง 35 cm. และยาว 35 cm. และหนา 9 mm. จากการศึกษาพบว่า แผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ที่ดีประเภทหนึ่ง มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ระหว่าง 0.0564 และ 0.0957 W/m.K ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น และปริมาณกาวสังเคราะห์ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นฉนวน มีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาแน่น และปริมาณกาวสังเคราะห์ลดลง แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตโดยใช้ปริมาณกาวสังเคราะห์ 12% และ 16% ที่ความหนาแน่นระหว่าง $600-700 \text{ kg/m}^3$ สามารถใช้เป็นแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ที่มีสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 876-2532 ได้อีกด้วย

2.7.10 การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำโดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว

นพพันธ์ นานคงแนบ [13] ได้ทำการวิจัยการพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำโดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว งานวิจัยนี้ ทำการศึกษา 2 ปัจจัยหลัก คือ อัตราส่วนระหว่างเปลือกทุเรียน และใยมะพร้าว (โดยน้ำหนัก) และความหนาแน่น จากงานวิจัยพบว่า อัตราส่วนผสม และความหนาแน่นมีผลต่อคุณสมบัติในการกันความร้อนของของแผ่นขึ้นไม้อัด อัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกทุเรียน และใยมะพร้าวคือ 10:90 (โดยน้ำหนัก) ที่ความหนาแน่น 856 kg/m^3 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.1342 W/m.K จากการศึกษาเปรียบเทียบ พบว่าคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากส่วนผสมระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว มีคุณสมบัติในการกันความร้อนที่ดีกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีส่วนผสมของของเปลือกทุเรียนหรือใยมะพร้าวเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งและสามารถนำมาใช้เป็นฉนวนผนังและฝ้าเพดานได้

2.7.11 การพัฒนาต้นแบบแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนและมะพร้าวที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ

สรโรชา เจริญวัย [7] ได้ทำการวิจัยการพัฒนาต้นแบบแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนและมะพร้าวที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำ ความร้อนต่ำโดยทำการศึกษาปัจจัย 2 ประการ ได้แก่ ชนิดของกาว (ยูเรีย ฟอล์มาดีไฮต์ 12% ฟีนอล ฟอล์มาดีไฮต์ 6% และ ไอโซไซยาเนต 3%) และความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิต จากการทดลองพบว่าชนิดของกาวไม่มีผลแตกต่างกันมากนักต่อสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด ในขณะที่ ความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดส่งผลอย่างมากต่อสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด ผลการทดลองพบว่า เมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนก็สูงขึ้นด้วย

2.7.12 การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย.

ประยูร สุรินทร์ [3] ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตและคุณสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย ผลิตขึ้นทดสอบโดยนำเส้นใยจากขานอ้อยมาผสมกับกาวยูเรียฟอรัลดีไฮต์ เกรด EU-617 แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยกระบวนการอัดด้วยความร้อน ผลการทดสอบค่าการนำความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C-177 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0724 - 0.0925 W/m.K ขึ้นอยู่กับค่า ความหนาแน่นและปริมาณกาวที่ใช้ ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่น และปริมาณกาวเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยยังพบว่าการใช้ปริมาณกาว 25% และ 33% และมีความหนาแน่นระหว่าง 600-700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดี และสามารถนำไปใช้เป็นแผ่นไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่มีสมบัติตามมาตรฐาน มอก.966-2533

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7.13 New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse

งานวิจัยของ Satta Panyakaew และ Steve Fotios [14] สร้างฉนวนจากเปลือกมะพร้าวและขานอ้อย มีความหนาแน่น 250-450 kg/m³ ด้วยวิธีอัดความร้อน พบว่าฉนวนกันความร้อนจากเปลือกมะพร้าวและขานอ้อย มีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงกับฉนวนจากเส้นใยเซลลูโลสและฉนวนจากขนสัตว์อีกทั้ง ฉนวนจากขานอ้อยมีคุณสมบัติที่ดีกว่าฉนวนจากเปลือกมะพร้าว ผลการทดสอบพบว่า ฉนวนจากขานอ้อยที่มีความหนาแน่น 350 kg/m³ มีคุณสมบัติในการกันความร้อนที่น่าพึงพอใจ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน อยู่ที่ 0.055 W/mK และสามารถนำไปใช้กับอาคารได้นอกจากนี้ ขั้นตอนการผลิตยังทำได้ง่าย อย่างไรก็ตามฉนวนกันความร้อนจากวัสดุธรรมชาติที่จะนำมาใช้ในประเทศเขตร้อนชื้น ยังต้องทดสอบคุณสมบัติในด้าน การป้องกันเชื้อรา การกันแมลง การป้องกันความชื้น

2.7.14 A contribution to the thermal insulation performance characterization of corncob particleboards

Anabela Paiva และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผนังปาติเกล็ดบอร์ดที่ทำจากซังข้าวโพด โดยทดสอบโดยใช้ห้องที่เหมือนกัน ในสภาพอากาศจริง โดยติดตั้งวัสดุไว้ที่ช่องหน้าต่าง จากการทดสอบพบว่า ความสามารถในการป้องกันความร้อนของปาติเกล็ดบอร์ดที่ทำจากซังข้าวโพดนั้นขึ้นอยู่กับความหนา ยิ่งหนามากความสามารถในการกันความร้อนยิ่งดีขึ้น โดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) แผ่นปาติเกล็ดบอร์ด ที่มีความหนา 3, 5, 6 และ 8 cm. จะมีค่า U เท่ากับ 2.14, 1.89, 1.64 และ 0.95 $W/m^2\text{°C}$ ตามลำดับ



รูปที่ 18 ปาติเกล็ดบอร์ดจากซังข้าวโพด

จากการศึกษาและทบทวนวรรณกรรม ทำให้ทราบถึงความสำคัญของการใช้ฉนวนกันความร้อนในอาคารที่อยู่ในเขตร้อนชื้น และทราบถึงแนวทางในการผลิตวัสดุประกอบอาคารที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติ ซึ่งมีส่วนช่วยลดพลังงานและต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และในปัจจุบันยังมีวัสดุทางธรรมชาติอีกหลายชนิดที่ยังไม่ได้นำมาทำการวิจัย จึงมีแนวความคิดที่จะนำต้นอ้อ ซึ่งเป็นพืชที่สามารถปลูกทดแทนได้ เจริญเติบโตเร็วและมีคุณสมบัติในการนำมาก่อสร้างอาคารได้ มาทำการวิจัยเพื่อสร้างแนวทางในการผลิตวัสดุประกอบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อ หลังจากได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องแล้ว จึงได้ตั้งสมมติฐานในการวิจัยว่า ฝ้าเพดานต้นอ้อมีความสามารถในการป้องกันความร้อนที่ดีกว่าวัสดุทั่วไปที่ใช้กันในท้องตลาด หลังจากนั้นจึงได้ทำการกำหนดตัวแปรในการทดลองและจัดทำขึ้นต้นแบบ 3 ขนาด ได้แก่ ฝ้าเพดานต้นอ้อขนาด กว้างxยาวเท่ากับ 30x30 cm. มีความหนา 1,1.5 และ 2 cm. และนำมาเข้าการทดลองอีก 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองด้วยกล่องทดลอง

ส่วนที่ 2 การส่งวัสดุส่งวัสดุต้นแบบไปทดสอบการป้องกันความร้อนในห้องทดลอง

ส่วนที่ 3 การจำลองการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulation) และคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากนั้นจึงทำการสรุปผลการทดลองและเสนอแนะแนวทางในการนำวัสดุไปประยุกต์ใช้จริง โดยในบทนี้จะขออธิบายเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนการทดลองด้วยกล่องทดลอง

<u>ตัวแปรต้น</u>	ขนาดของต้นอ้อ 3 ขนาด ดังนี้
	1. 0.5 - 0.7 cm. วัสดุมีความหนา 1 cm.
	2. 1.0 - 1.2 cm. วัสดุมีความหนา 1.5 cm.
	3. 1.5 - 1.7 cm. วัสดุมีความหนา 2 cm.

ตัวแปรตาม อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ที่ทำการวัด

ตัวแปรควบคุม ขนาดของต้นอ้อ และชนิดของส่วนผสม

ส่วนการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (โปรแกรม Visual DOE 4.1)

ตัวแปรต้น ประสิทธิภาพด้านความร้อน ได้แก่ ค่าการนำความร้อน (k) ค่าการต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุฝ้าเพดานแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

ตัวแปรตาม ปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นต่อปี (kW.h)

ตัวแปรควบคุม อาคารประเภทบ้านพักอาศัยที่มีการใช้งานช่วงเวลากลางวัน หลังคาเป็นกระเบื้องคอนกรีต

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 กล่องทดลอง

กล่องทดลองมีขนาดภายใน 60x60x60 cm. ขนาดภายใน 50x50x50 cm. ผนังกล่องทดลองทุกด้านใช้โฟมโพลีสไตรีนหนา 4 นิ้ว ซึ่งเป็นวัสดุที่มีค่าการต้านทานความร้อน (R) สูง เพื่อป้องกันผลกระทบจากสภาพอากาศภายนอก ทำให้เปรียบเสมือนไม่มีผลกระทบจากสภาพอากาศภายนอกเลย การถ่ายเทความร้อนจากที่อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องจึงไม่ส่งผลต่อกล่องทดลอง เจาะช่องเปิดขนาดเท่ากันในด้านตรงข้ามกัน เพื่อเป็นช่องระบายอากาศ และติดตั้งลมระบายอากาศด้านบนเจาะช่องขนาด 30 x 30 cm. เพื่อเป็นช่องใส่ชิ้นต้นแบบ ติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิตามจุดที่กำหนด นำกล่องทดลองตั้งในห้องที่มีการปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศ จากนั้นใช้แหล่งให้ความร้อนเป็นหลอดไฟอินฟราเรด ขนาด 500 W 2 ดวง ส่องไปที่วัสดุเป็นเวลา 4 ชม. และปิดไฟเพื่อดูการคายความร้อนของวัสดุอีก 4 ชม.

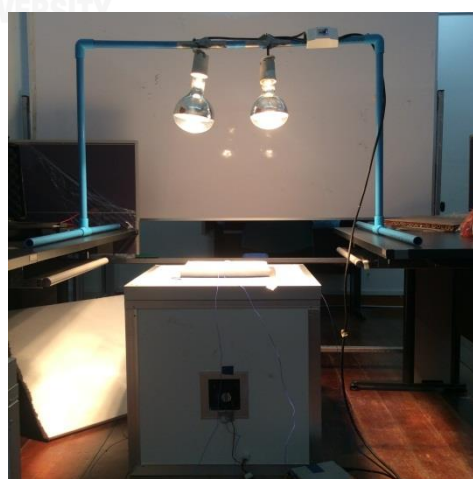
เหตุผลที่ใช้กล่องทดลองขนาด 60x60x60 cm.

- เป็นขนาดที่พอดีกับวัสดุ
- การทดสอบเป็นการวัดอุณหภูมิอากาศภายในกล่อง ไม่ได้ทำการทดสอบ พฤติกรรมของชั้นความร้อน ดังนั้นกล่องจึงไม่จำเป็นต้องมีขนาดใหญ่

อุปกรณ์ที่ใช้ให้ความร้อนกับกล่องทดลองคือ หลอดไฟอินฟราเรด ขนาด 500 W 2 ดวง ติดตั้งกับท่อพีวีซี โดยให้ส่งไฟลงมาจากด้านบน ในทิศทางเดียวกับแสงจากดวงอาทิตย์



รูปที่ 20 หลอดไฟอินฟราเรด 500 W



รูปที่ 19 การติดตั้งหลอดไฟ

พัดลมระบายอากาศขนาดหน้าตัด 9 cm. 2 ตัว ต่อกับหม้อแปลงขนาด 600 W



รูปที่ 22 พัดลมดูดอากาศ

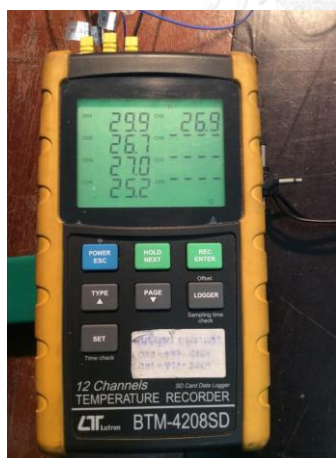


รูปที่ 21 หม้อแปลงขนาด 600 W

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

เครื่องวัดอุณหภูมิ 12 Channels Temperature Recorder รุ่น BTM-4208SD ใช้ตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิในจุดต่างๆ ที่ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 24 เครื่องวัดอุณหภูมิ 12 Channels
Temperature Recorder



รูปที่ 23 เครื่องวัดความเร็วลม








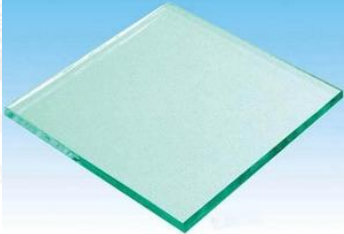




อุปกรณ์วัดความเร็วลม

เพื่อทำการคำนวณค่า Q หรือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ ในกล่องทดลองเพื่อนำมาเปรียบเทียบ การหน่วงเหนี่ยวความร้อนของชิ้นต้นแบบ จำเป็นต้องวัดปริมาณการไหลของอากาศในกล่องทดลอง ที่เกิดจากพัดลมระบายอากาศ หรือค่า CFM โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม Testo 350 XL Control Unit สามารถตรวจวัดได้ทั้ง อุณหภูมิ และความเร็วลม โดยมาตรวจวัดเป็นไปตามมาตรฐานของ ASHRAE

3.3 การผลิตชิ้นต้นแบบ

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตชิ้นต้นแบบ

ตารางที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตวัสดุ

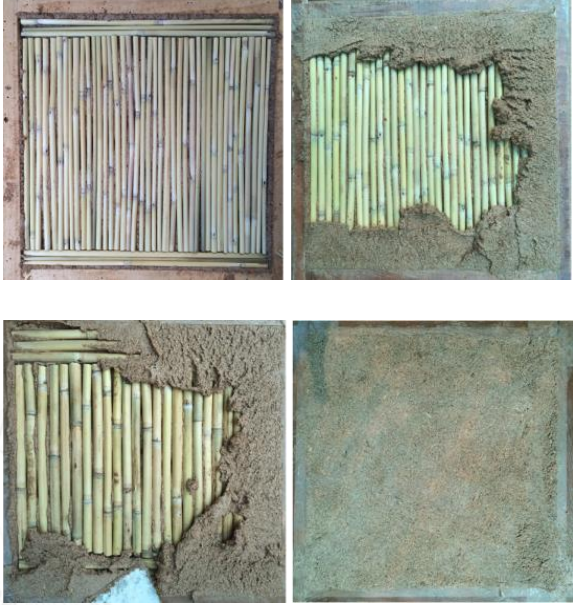
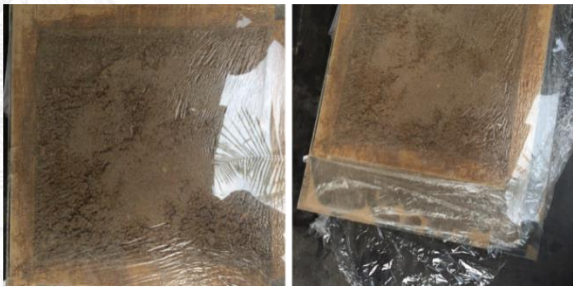
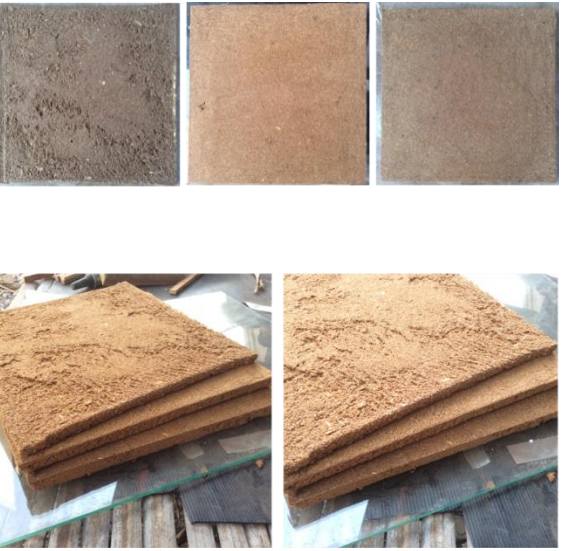
 <p>1. ต้นอ้อ</p>	 <p>2. ขี้เลื่อย(ไม้สีก)</p>	 <p>3. กาวลาเท็กซ์</p>
 <p>4. เครื่อง</p>	 <p>5. ไม้ สำหรับทำบล็อกแบบ</p>	 <p>6. กรรไกรสำหรับตัดต้นอ้อ</p>
 <p>7. พลาสติกใสสำหรับรองบล็อกแบบ</p>	 <p>8. กระดาษหรือวัสดุแผ่นเรียบ</p>	 <p>9. ไม้บรรทัด</p>
 <p>10. ถัง</p>	 <p>11. ผงยิปซั่ม</p>	 <p>12. มีดตัดต้นอ้อ</p>

3.3.2 ขั้นตอนการผลิตชิ้นต้นแบบ

ตารางที่ 3 แสดงขั้นตอนการผลิตวัสดุ

ลำดับที่	วิธีการ	ภาพประกอบ
1.	จัดเตรียมต้นอ้อ โดยการปลอกเปลือกและตากให้แห้ง ใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ สังเกตที่ต้นอ้อจะมีสีน้ำตาลอ่อนเสมอกันทั้งต้น ถือว่านำมาใช้ได้	
2.	นำขี้เถ้า (ไม้สีก) มาผสมกับกาวลาเท็กซ์ ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่พอเหมาะ หากผสมกาวมากเกินไปจะทำให้วัสดุประสานเหลวเกินไปเกาะตัวยาก หากผสมกาวน้อยเกินไปจะทำให้เหนียวมาก นำมาฉาบได้ยาก	
3.	จัดทำบล็อกแบบ ขนาด 30x30 cm. ความหนา 1, 1.5 และ 2 cm. รองพื้นด้วยพลาสติกใส เพื่อกันชิ้นงานติดกับบล็อกแบบ	
4.	ฉาบขี้เถ้าที่ผสมไว้ลงในแบบหนา ประมาณ 1-2 mm. ขี้เถ้าที่ฉาบลงไปควรมีผิวที่สม่ำเสมอ	

ตารางที่ 3 แสดงขั้นตอนการผลิตวัสดุ(ต่อ)

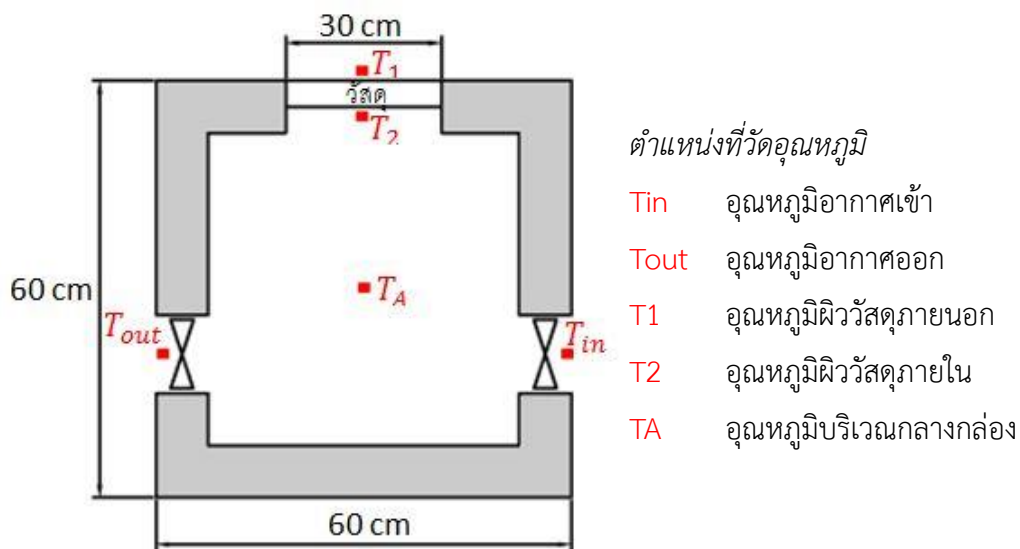
ลำดับที่	วิธีการ	ภาพประกอบ
5.	<p>วางต้นอ้อลงไป กดให้แน่น ตามรูป เพื่อให้วัสดุมีความแข็งแรง ป้องกันการหักในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง โดยใช้ต้นอ้อ 3 ขนาด ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 0.5-0.7 cm. 2. 1-1.2 cm. 3. 1.5-1.7 cm. <p>แล้วฉาบซีเมนต์ให้เต็มบล็อกแบบ ใช้เกรียงชุบน้ำปาดผิวให้เรียบเสมอกันเพื่อความสวยงาม</p>	
6.	<p>กดทับด้วยวัสดุที่มีผิวเรียบ ทิ้งไว้ 2 วัน จึงแกะบล็อกออก วัสดุจะเริ่มแข็งตัวเป็นแผ่น จากนั้นปล่อยให้แห้งตามธรรมชาติ ประมาณ 1 สัปดาห์</p>	
7.	<p>ขึ้นต้นแบบที่ได้</p>	

ตารางที่ 3 แสดงขั้นตอนการผลิตวัสดุ(ต่อ)

ลำดับที่	วิธีการ	ภาพประกอบ
8.	ปรับแต่งชิ้นต้นแบบ ให้มีผิวเรียบเสมอกัน ด้วยผงยิปซัมผสมน้ำ อัตราส่วน 1 ต่อ 1 แล้วทาสีขาว โดยใช้สีทาฝ้า	
9.	<p>ชิ้นต้นแบบที่ได้ 3 ชิ้น</p> <p>ขนาด 30x30 cm.</p> <p>1.หนา 1 cm. น้ำหนัก 463.48 กรัม</p> <p>2.หนา 1.5 cm. น้ำหนัก 710.95 กรัม</p> <p>3.หนา 2 cm. น้ำหนัก 792.86 กรัม</p>	

3.4 การทดลอง

3.4.1 การทดลองส่วนที่ 1 กล้องทดลอง



รูปที่ 25 กล้องทดลอง

ขั้นตอนที่ 1

นำกล้องทดลองที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้มาทำการทดลอง โดยติดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ บริเวณผิววัสดุภายนอก และผิววัสดุภายใน โดยติดให้แนบกับผิวของวัสดุด้วยเทปกาวและปิดทับด้วย โฟมโพลีสไตรีนชนิดเดียวกับที่ใช้ทำกล่อง เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนภายนอกมีผลต่อตัวเซนเซอร์

สำหรับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิอากาศเข้าและอุณหภูมิอากาศออก จะมีการติดกระดาษแข็งเพื่อ ป้องกันความร้อนจากหลอดไฟ ที่อาจส่งผลต่อเซนเซอร์ได้

แหล่งความร้อนจากหลอดไฟอินฟาเรดขนาด 500 W 2 ดวง ติดโดยให้ส่องลงจากด้านบน ห่างจากผิววัสดุที่ใช้ในการทดลองประมาณ 80 cm.

ขั้นตอนที่ 2

นำชิ้นต้นแบบไปทำการทดลองโดยใช้กล่องวางในห้องแบบปิด ทำการเปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งอุณหภูมิที่ 25 °C เปิดไฟให้ความร้อนวัสดุเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วปิดไฟเพื่อให้วัสดุคายความร้อนอีก 4 ชั่วโมง โดยระยะเวลา 4 ชั่วโมงเป็นระยะเวลาที่วัสดุอิ่มตัวโดยเปรียบเทียบจากงานวิจัย [1] จากนั้นทำการตั้งเวลาให้เครื่องวัดอุณหภูมิทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 2 นาที

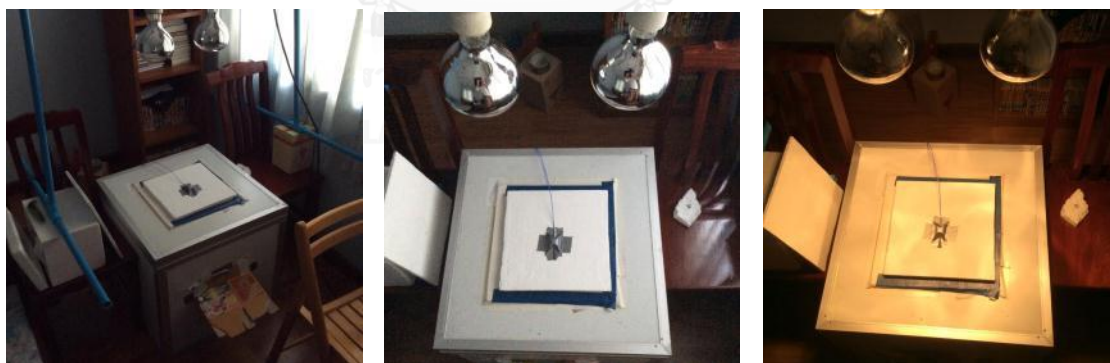
ขั้นตอนที่ 3

นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ ไปคำนวณค่า Q หรือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ แต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ(Time-lag) ในสภาพคล้ายการใช้งานจริง โดยคำนวณค่า Q ได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q = \text{CFM}(1.08) \Delta T$$

Q	คือ	ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายโดยอากาศ (Btu/h)
CFM	คือ	ปริมาณการไหลของอากาศในกล่องทดลองที่เกิดจากพัดลมระบายอากาศที่ใช้ (ft ³ /minute)
ΔT	คือ	ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิช่องอากาศเข้า และอุณหภูมิช่องระบายอากาศออก (°F)

เมื่อได้ค่า Q หรือปริมาณความร้อนในแต่ละช่วงเวลาขณะทำการเก็บข้อมูลในกล่องมาแล้ว จะนำข้อมูลของแต่ละวัสดุแปลงหน่วยเป็นวัตต์ จากนั้นไปใส่ในกราฟเพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มในการระบายความร้อนของวัสดุ



รูปที่ 26 การทดลองด้วยกล่องทดลอง

3.4.2 การทดลองส่วนที่ 2 การทดลองในห้องทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อน

เครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อน

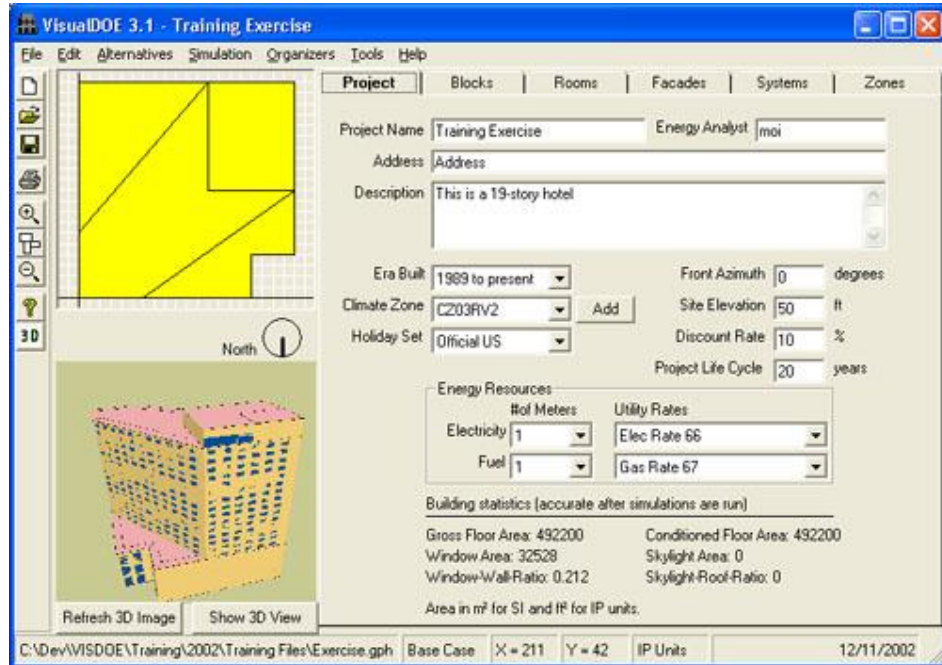
นำวัสดุต้นแบบส่งเข้าห้องทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อน (k) และค่าการต้านทานความร้อน (R) ในห้องทดลองของคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ด้วยเครื่องทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุ รุ่น B480 ตามมาตรฐานอังกฤษ โดยวิธีการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนจากผิวบนสู่ผิวด้านล่างของวัสดุ โดยเครื่องจะให้ความร้อนวัสดุด้วยแผ่นความร้อน (Hot plate) ที่ด้านบนวัสดุ และด้านล่างวัสดุจะมีแผ่นความเย็น (Cold plate) เป็นตัวช่วยระบายความร้อน โดยแผ่นความร้อนจะให้อุณหภูมิที่ $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ และแผ่นความเย็นที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ คำนวณผลออกมาด้วยคอมพิวเตอร์



รูปที่ 27 เครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อน

ชิ้นต้นแบบส่งเข้าห้องทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อน (k) และค่าการต้านทานความร้อน (R) ในห้องทดลองของคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยวัสดุจะต้องมีขนาด $30 \times 30\text{ cm}$.

3.4.3 การทดลองส่วนที่ 3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์



รูปที่ 28 โปรแกรม Visual DOE

ขั้นตอนที่ 1 จำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

นำค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (k) และค่าการป้องกันความร้อนของวัสดุ (R) ที่ได้จากห้องทดลองมาคำนวณปริมาณการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยชั้นเดียว

เก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 สำหรับจำลองและเก็บข้อมูลสภาพการใช้พลังงานในอาคารตลอดทั้งปี โดยทำการจำลองวัสดุของฝ้าเพดานที่แตกต่างกัน 6 ชนิด ดังนี้

1. แผ่นไม้อัด 1 cm. ความหนาแน่น 907 กก./ลบ.ม.
2. แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case) ความหนาแน่น 725 kg/m^3
3. แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว ฉนวนโยแก้ว ความหนาแน่น 16 kg/m^3 + แผ่นยิปซัมบอร์ด ความหนาแน่น 725 kg/m^3
4. แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว ฉนวนโยแก้ว ความหนาแน่น 12 kg/m^3 + แผ่นยิปซัมบอร์ด ความหนาแน่น 725 kg/m^3
5. แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว ฉนวนโยแก้ว ความหนาแน่น 12 kg/m^3 + แผ่นยิปซัมบอร์ด ความหนาแน่น 725 kg/m^3
6. แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm. ความหนาแน่น 600-700 kg/m^3

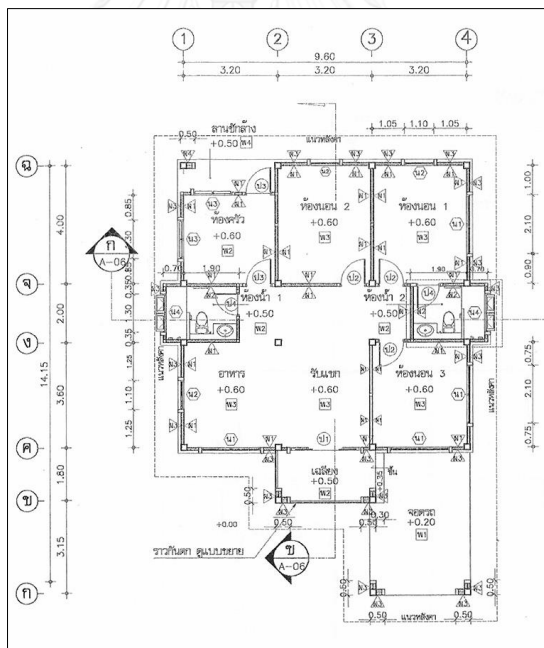
7.แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm. ความหนาแน่น 458-688 kg/m³

8.แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm. ความหนาแน่น 515 kg/m³

9.แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm. ความหนาแน่น 526.6 725 kg/m³

10.แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm. ความหนาแน่น 440 kg/m³

ทำการเปรียบเทียบข้อมูลและวัสดุดังกล่าวกับอาคารบ้านพักอาศัยชั้นเดียว 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ พื้นที่ใช้สอยรวม 92.16 m² โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 m. ทาสีอ่อน ค่า U-Value = 1.1 W/m²°C อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนัง(WWR) = 15.2% หลังคากระเบื้องคอนกรีตขนาดมาตรฐาน ค่า R-Value = 0.54 m²k/W ฝ้ายิปซัม ทีบาร์ ค่า R-Value = 0.029 m²k/W ช่องกระจกใส 6 มม. ค่า U-Value = 6.171 W/m²°C ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 0.10 m. ปูกระเบื้องเซรามิก ค่า Lighting power density(LPD) = 13 W/m² ค่า Equipment power density(EPD) = 2.7 W/m² เครื่องปรับอากาศแบบ Split type ค่า EER = 13.76 ค่า COP = 4 ผู้อยู่อาศัย 4 คน หน้าบ้านหันไปทางทิศใต้



รูปที่ 29 ผังอาคารที่นำมาทดลอง โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ทำการคำนวณค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการผลิตแผ่นฝ้าเพดานตันอ้อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นในท้องตลาด รวมถึงระยะเวลาคืนทุน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนที่เป็นการทดลอง 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อเปรียบเทียบลักษณะการป้องกันความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ (Time-lag) ส่วนที่สองเป็นการส่งวัสดุเข้าห้องทดลองเพื่อหาค่าการนำความร้อน (k) และค่าการป้องกันความร้อนของวัสดุ (R) ส่วนที่สามเป็นการนำค่าดังกล่าวที่ได้จากห้องทดลองมาคำนวณปริมาณการใช้พลังงานในบ้านพักอาศัยชั้นเดียว โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม Visual DOE 4.1 เป็นการจำลองและเก็บข้อมูลสภาพการใช้พลังงานในอาคารตลอดทั้งปี โดยทำการจำลองวัสดุของฝ้าเพดานที่แตกต่างกัน 4 ชนิด และคำนวณต้นทุนในการผลิต

4.1 ผลการทดลองส่วนที่ 1 ส่วนการทดลองด้วยกล่องทดลอง

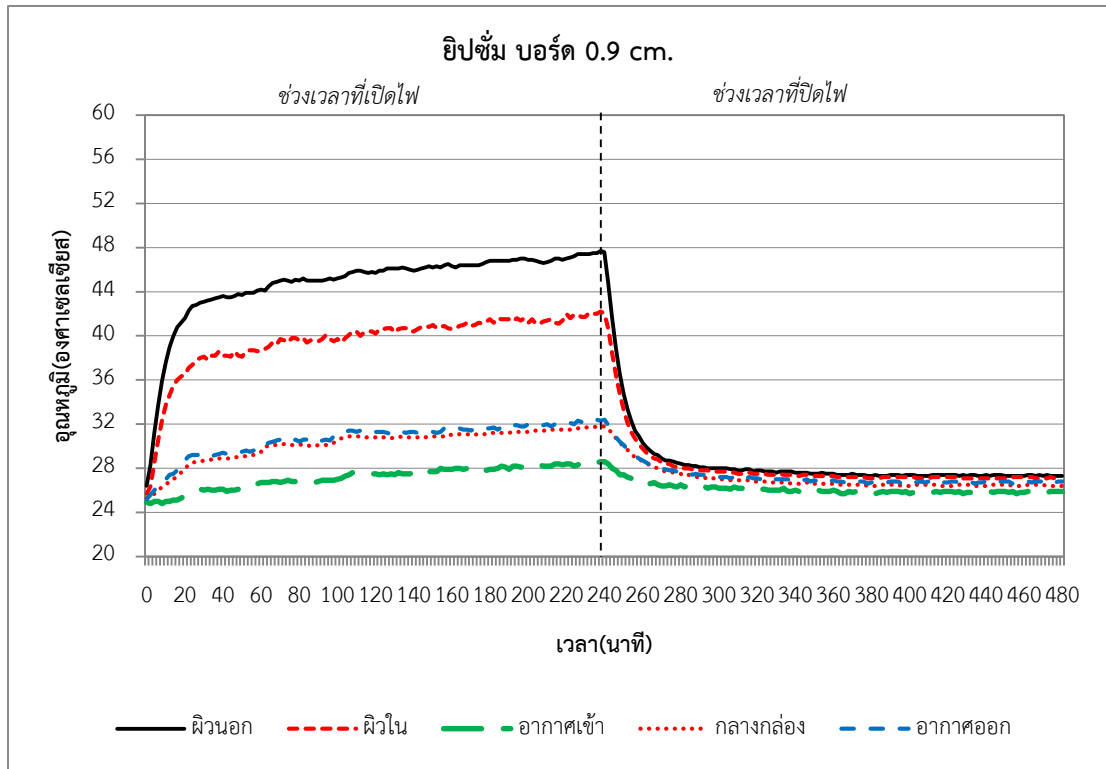
การทดลองด้วยกล่องทดลองเพื่อเปรียบเทียบลักษณะการป้องกันความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time-lag) ของชั้นวัสดุต้นแบบ คุณลักษณะแนวโน้มเมื่อวัสดุได้รับความร้อนรวมถึงเมื่อวัสดุคายความร้อน เปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้กันทั่วไป คือ ยิปซัมบอร์ดเป็นวัสดุเปรียบเทียบพื้นฐาน (Base Case) โดยมีวัสดุทดลอง 4 ชั้น ดังนี้

1. ยิปซัมบอร์ดปกติ ขนาด 0.9 cm.
2. ฝ้าเพดานต้นอ้อ ขนาด 1 cm.
3. ฝ้าเพดานต้นอ้อ ขนาด 1.5 cm.
4. ฝ้าเพดานต้นอ้อ ขนาด 2 cm.

ทำการติดตั้งวัสดุเข้ากับกล่องทดลองที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนด ที่มีขนาดภายในกล่อง 0.5x0.5x0.5 m. ใช้แหล่งความร้อนจากหลอดไฟอินฟราเรดขนาด 500 W 2 ดวง ติดโดยให้ส่องลงจากด้านบน ห่างจากผิววัสดุที่ใช้ในการทดลองประมาณ 80 cm.

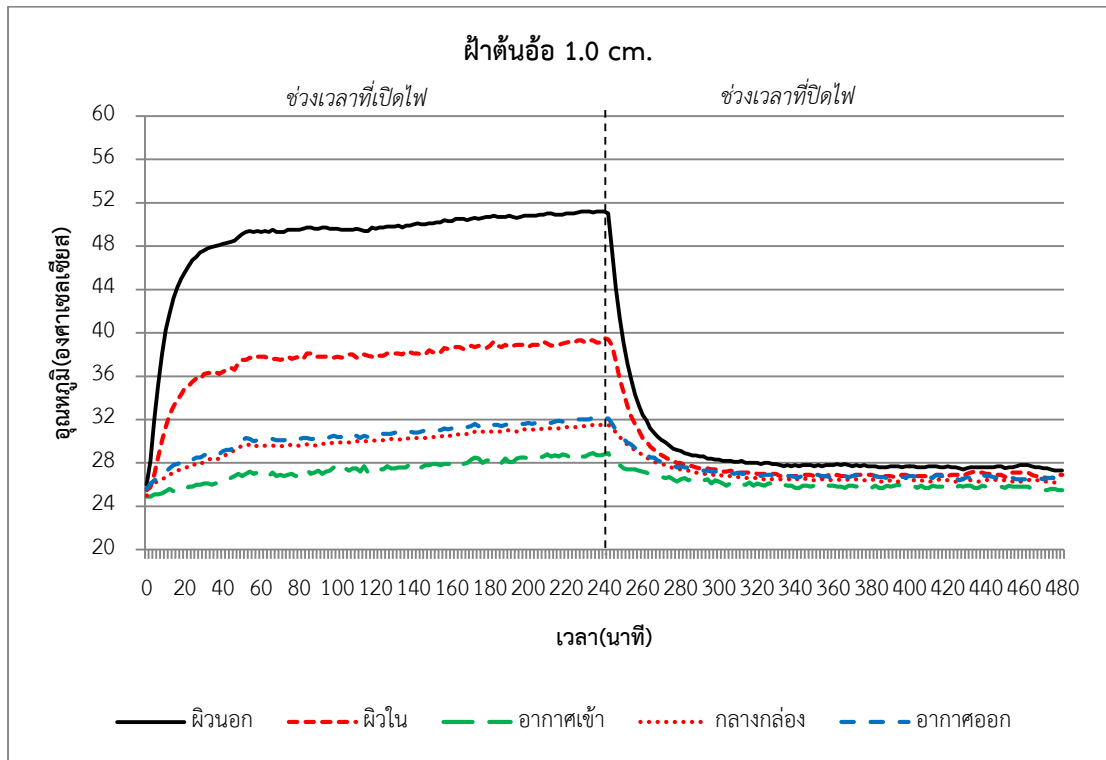
นำขึ้นต้นแบบไปทำการทดลองโดยใช้กล่องวางในห้องแบบปิด ทำการเปิดเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งอุณหภูมิที่ 25 °C เปิดไฟให้ความร้อนวัสดุเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วปิดไฟเพื่อให้วัสดุคายความร้อนอีก 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการตั้งเวลาให้เครื่องวัดอุณหภูมิทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 2 นาที

4.1.1 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวของวัสดุ



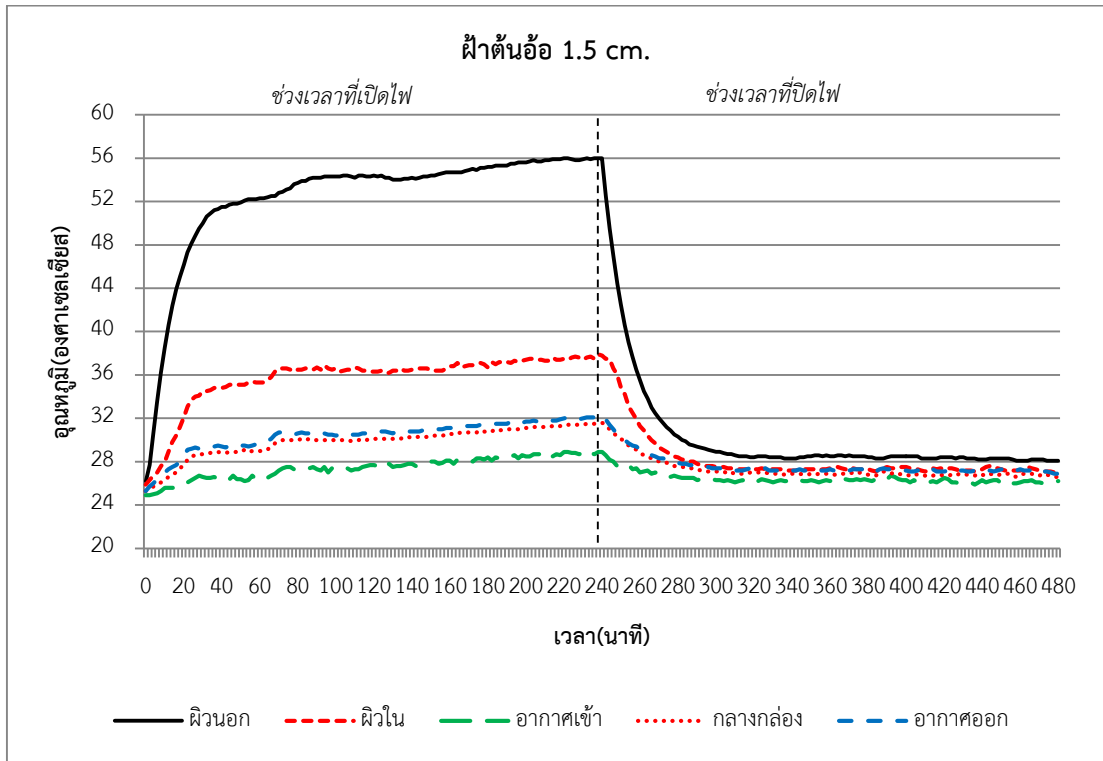
แผนภูมิที่ 1 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของยิปซั่มบอร์ด 0.9 cm.

จากแผนภูมิที่ 1 พบว่า ในช่วง 20 นาทีแรกที่เปิดไฟผิวด้านนอกและด้านในของยิปซั่มบอร์ดมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิผิวด้านนอกสูงสุดของยิปซั่มบอร์ด อยู่ที่ประมาณ 48 °C และอุณหภูมิผิวด้านในอยู่ที่ประมาณ 42 °C ซึ่งมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิด้านนอกและด้านในหรือ Δt ประมาณ 6 °C หลังจากปิดไฟพบว่ายิปซั่มบอร์ดมีการคายความร้อนอย่างรวดเร็วจนเริ่มมีอุณหภูมิกคงที่หลังจากปิดไฟประมาณ 1 ชั่วโมง



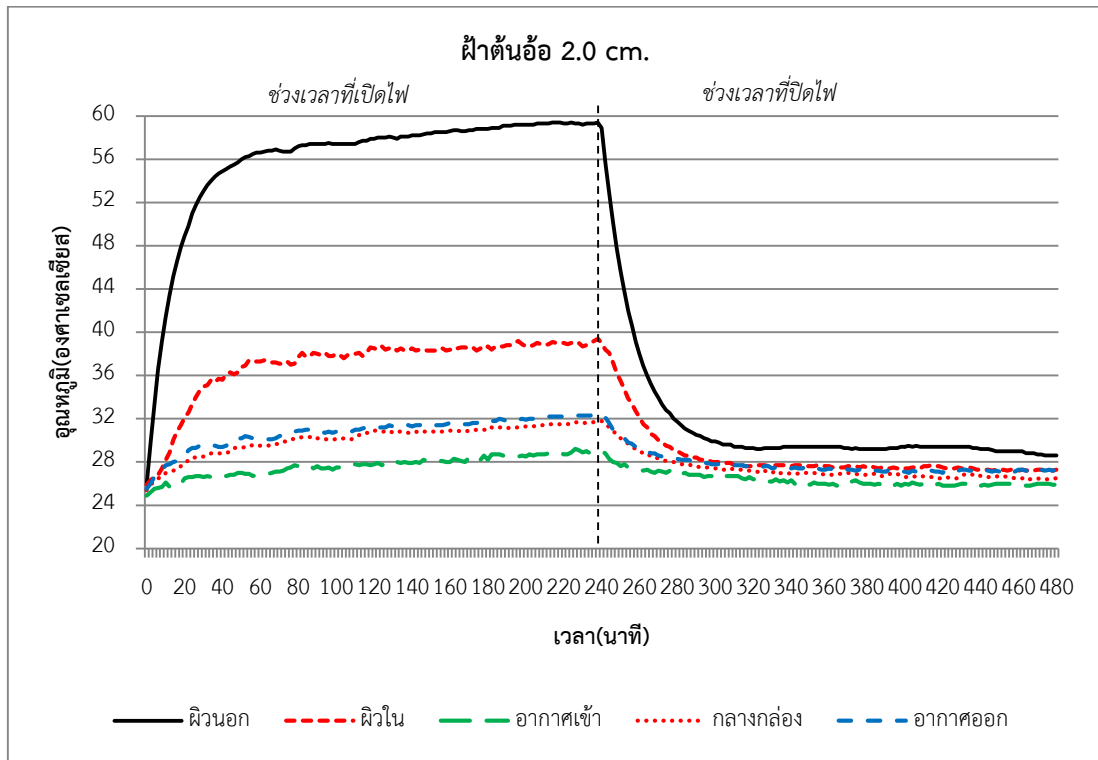
แผนภูมิที่ 2 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของฝ้ายเพดานตันอ้อหนา 1 cm.

จากแผนภูมิที่ 2 พบว่า ในช่วงที่เปิดไฟ อุณหภูมิสูงสุดของฝิวด้านนอกของฝ้ายเพดานตันอ้อความหนา 1 cm. อยู่ที่ประมาณ 51°C และอุณหภูมิฝิวด้านในอยู่ที่ประมาณ 39.5°C โดยในช่วง 20 นาทีแรกของการเปิดไฟพบว่าฝิวด้านบนและด้านล่างของฝ้ายเพดานตันอ้อ 1 cm. มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับยิปซัมบอร์ด แต่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างฝิวนอกและฝิวใน หรือ Δt ประมาณ 11.5°C ซึ่งมากกว่าของยิปซัมบอร์ด แสดงให้เห็นว่า ฝ้ายเพดานตันอ้อมีค่าการต้านทานความร้อนที่ดีกว่า หลังจากปิดไฟพบว่าฝ้ายเพดานตันอ้อมีการคายความร้อนอย่างรวดเร็วใกล้เคียงยิปซัมบอร์ด จนเริ่มมีอุณหภูมิต่ำที่หลังจากปิดไฟประมาณ 1 ชั่วโมง



แผนภูมิที่ 3 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของผ้าเพดานต้นอ้อขนาด 1.5 cm.

จากแผนภูมิที่ 3 พบว่า ในช่วงที่เปิดไฟอุณหภูมิสูงสุดของผิวด้านนอกของผ้าเพดานต้นอ้อขนาด 1.5 cm. อยู่ที่ประมาณ 56 °C และอุณหภูมิผิวด้านในอยู่ที่ประมาณ 38 °C โดยในช่วง 20 นาทีแรกของการเปิดไฟพบว่าผิวด้านบนและด้านล่างของผ้าเพดานต้นอ้อ 1.5 cm. มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับยิปซัมบอร์ด แต่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกและผิวใน หรือ Δt ประมาณ 18 °C ซึ่งมากกว่าของยิปซัมบอร์ด และผ้าเพดานต้นอ้อขนาด 1 cm. แสดงให้เห็นว่าผ้าเพดานต้นอ้อ 1.5 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนที่ดีกว่ายิปซัมบอร์ดและ ผ้าเพดานต้นอ้อขนาด 1 cm. หลังจากปิดไฟพบว่าผ้าเพดานต้นอ้อมีการคายความร้อนช้ากว่ายิปซัมบอร์ดเล็กน้อยจนเริ่มมีอุณหภูมิต่ำที่หลังจากปิดไฟประมาณ 1 ชั่วโมง 20 นาที



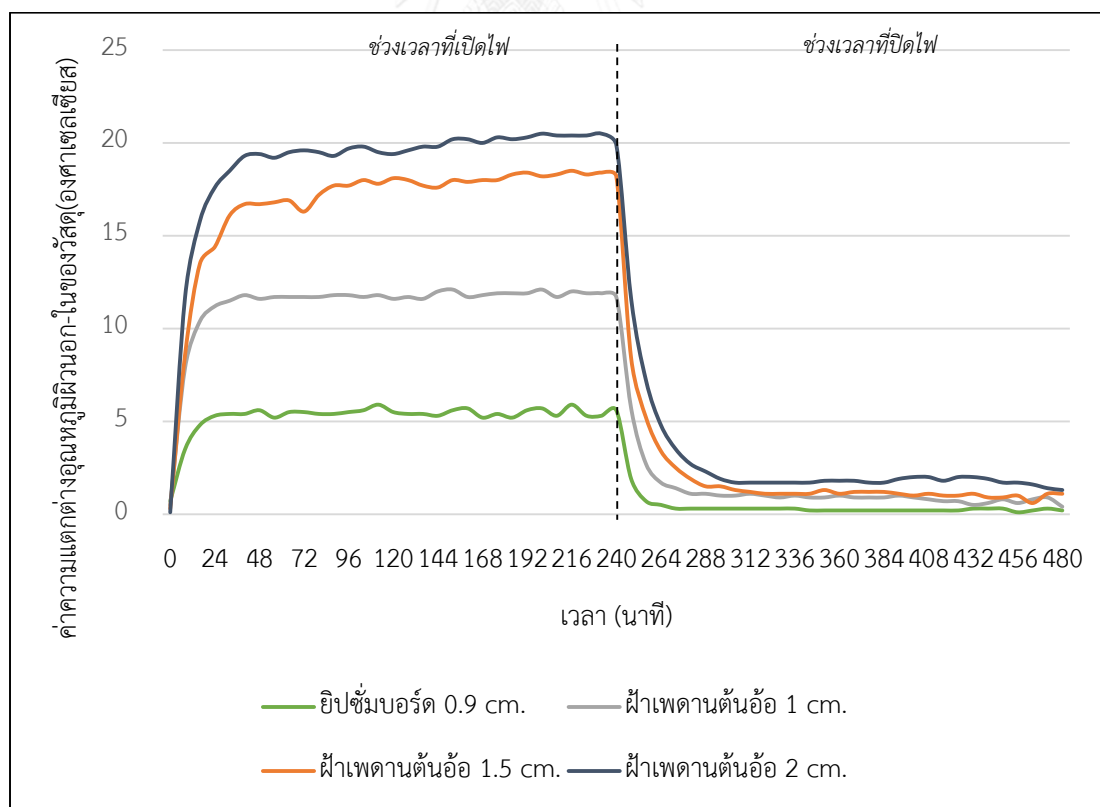
แผนภูมิที่ 4 แสดงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆที่ทำการวัดของฝ้ายเพดานตันอ้อหนา 2 cm.

จากแผนภูมิที่ 4 พบว่า ในช่วงที่เปิดไฟอุณหภูมิสูงสุดของผิวด้านนอกของฝ้ายเพดานตันอ้อ อยู่ที่ประมาณ 59.5 °C และอุณหภูมิผิวด้านในอยู่ที่ประมาณ 39 °C โดยในช่วง 20 นาทีแรกของการเปิดไฟพบว่าผิวด้านบนและด้านล่างของฝ้ายเพดานตันอ้อ 2 cm. มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่มีความแตกต่างของอุณหภูมิผิวนอกและผิวในหรือ Δt ถึงประมาณ 20.5 °C ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นทดลองทุกชั้น แสดงให้เห็นว่า ฝ้ายเพดานตันอ้อขนาด 2 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นทดลองทุกชั้น หลังจากปิดไฟพบว่าฝ้ายเพดานตันอ้อมีการคายความร้อนช้ากว่ายิปซัมบอร์ดเล็กน้อยจนเริ่มมีอุณหภูมิกึ่งที่หลังจากปิดไฟประมาณ 1 ชั่วโมง 20 นาที

สาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิผิวด้านนอกของฝ้ายเพดานตันอ้อ 2 cm. มีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นทดลองอื่นๆเพราะ เมื่อวัสดุมีความเป็นฉนวนมากขึ้นทำให้ความร้อนเดินทางจากผิวภายนอกไปสู่ผิวภายในได้ยากขึ้น จึงทำให้ผิวด้านนอกของวัสดุร้อนมากขึ้น

ตารางที่ 5 สรุปอุณหภูมิจากการทดลองผ้าเพดานทั้งหมด

ประเภทวัสดุผ้า เพดาน	อุณหภูมิผิวด้านใน (°C)			อุณหภูมิผิวด้านนอก (°C)			ความแตกต่าง ระหว่างอุณหภูมิ อากาศภายนอกและ ภายใน (°C)		
	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย	ต่ำสุด	สูงสุด	เฉลี่ย
แผ่นยิปซัมบอร์ด ขนาด 0.9 cm.	25.7	42.2	33.8	26.4	47.7	36.6	0.1	5.9	2.8
ผ้าเพดานตันอ่อน ขนาด 1 cm.	25.5	39.5	32.6	26.0	51.2	38.9	0.4	12.2	6.3
ผ้าเพดานตันอ่อน ขนาด 1.5 cm.	25.9	37.9	31.9	26.2	56.0	41.3	0.3	18.6	9.3
ผ้าเพดานตันอ่อน ขนาด 2 cm.	25.9	39.4	32.8	26.0	59.4	43.6	0.1	20.5	10.8



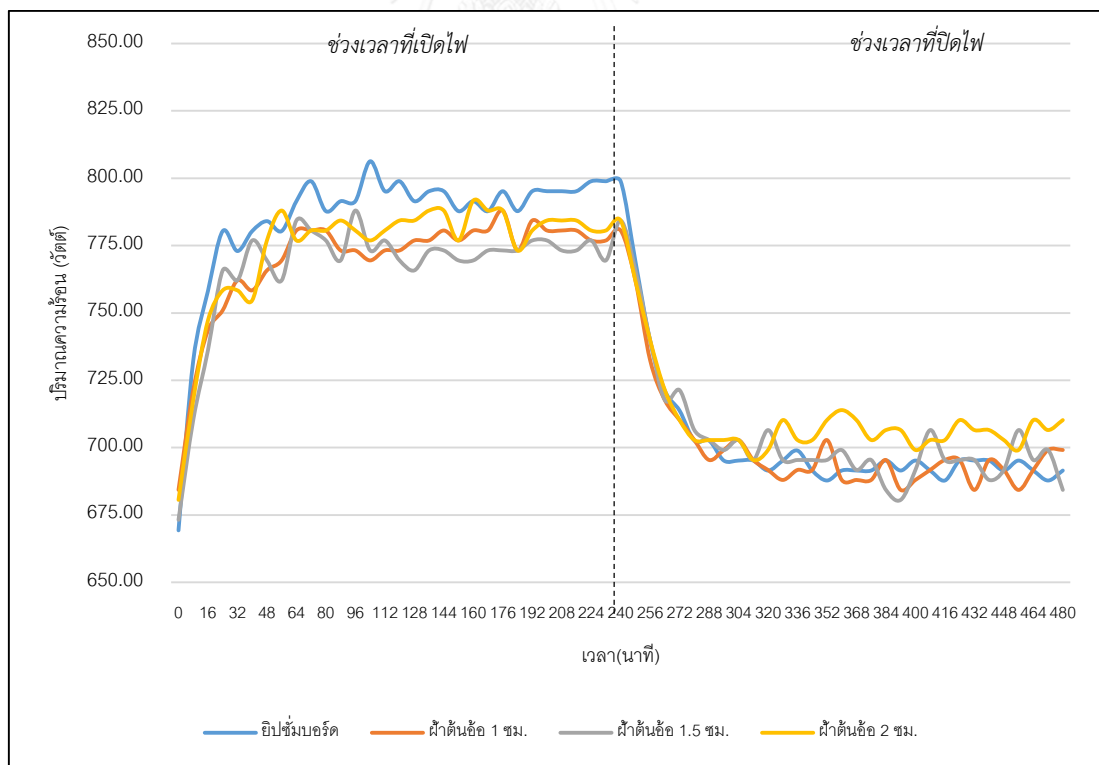
แผนภูมิที่ 5 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิผิวด้านนอกกับภายในวัสดุ(ΔT)ในแต่ละช่วงเวลา.

4.1.2 การหน่วงเหนี่ยวความร้อน(Time-lag) ของวัสดุ

นำข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิ ไปคำนวณค่า Q หรือปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านวัสดุ แต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ(Time-lag) ในสภาพคล้ายการใช้งานจริงที่ไม่ปรับอากาศ โดยคำนวณค่า Q ได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q = CFM(1.08) \Delta T$$

- Q คือ ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายโดยอากาศ (Btu/h)
 CFM คือ ปริมาณการไหลของอากาศในกล่องทดลองที่เกิดจากพัดลมระบายอากาศที่ใช้ (ft³/minute)
 ΔT คือ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิช่องอากาศเข้าและอุณหภูมิช่องระบายอากาศออก (°F)



แผนภูมิที่ 6 ปริมาณความร้อน (Q) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในแต่ละช่วงเวลา

จากแผนภูมิที่ 7 พบว่า ในช่วงที่เปิดไฟ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านชิปบอร์ดจะมากกว่า ฝ้าเพดานตันอ่อน ทุกขนาดความหนา หลังจากปิดไฟพบว่า ฝ้าเพดานตันอ่อนขนาด 2 cm. มีการคายความร้อนออกมาสูงกว่าชั้นทดลองอื่นเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า ฝ้าเพดานตันอ่อนที่มีความหนา มากจะกักเก็บความร้อนไว้มากทำให้คายความร้อนออกมาได้ช้ากว่าวัสดุอื่น

วิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 1

จากการทดลองเพื่อดูลักษณะการป้องกันความร้อนและการหน่วงเหนี่ยวความร้อนของวัสดุ ฝ้าเพดานทั้ง 4 แบบในสภาพคล้ายการใช้งานจริง โดยไม่ปรับสภาพอากาศ พบว่า ฝ้าเพดานทั้ง 4 แบบ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 20 นาทีแรกและเมื่อหยุดให้ความร้อนวัสดุทั้ง 4 ชนิด จะมีการคายความร้อนต่างกัน โดยฝ้าเพดานตันอ่อน 1 cm. และชิปบอร์ด 0.9 cm. จะมีการคายความร้อนที่ใกล้เคียงกัน เร็วกว่า ฝ้าเพดานตันอ่อนขนาด 1.5 cm. และ 2.0 cm. เล็กน้อย โดยรวมฝ้าเพดานทั้ง 4 ชนิดมีการคายความร้อนที่รวดเร็ว เหมาะกับบ้านพักอาศัยที่มีการใช้งานในช่วงกลางวันเป็นหลัก ในส่วนของการป้องกันความร้อนพบว่าฝ้าเพดานตันอ่อน 2 cm. มีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิพื้นผิวภายในและภายนอกสูงสุดถึง 20.5 °C ดังแผนภูมิที่ 5 ซึ่งมากกว่าฝ้าเพดานตันอ่อน 1.5, 1 cm. และชิปบอร์ด 0.9 cm. ที่มีค่าความแตกต่างอุณหภูมิพื้นผิวภายในและภายนอกสูงสุดอยู่ที่ 18.6, 12.2 และ 5.9 °C แสดงให้เห็นว่า ฝ้าเพดานตันอ่อนขนาด 2 cm. มีค่าการกักความร้อนที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชั้นทดลองอื่น ซึ่งสอดคล้องกับแผนภูมิที่ 6 ที่แสดงค่าการต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุ ในแต่ละช่วงเวลา

4.2 ผลการทดลองส่วนที่ 2 การทดลองในห้องทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อน

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ของฝ้าเพดานตันอ่อน ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ โดยส่งชิ้นวัสดุที่มีความหนาต่าง 3 ขนาด เข้าห้องทดลองของคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 6 แสดงคุณสมบัติด้านความร้อนของฝ้าเพดานตันอ่อนที่ได้จากเครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อน

ค่าที่วัด	ฝ้าเพดานตันอ่อน		
	1.0 cm.	1.5 cm.	2.0 cm.
Resistance ($m^2.k/W$)	0.0778	0.1039	0.1424
Conductivity (W/mk)	0.1285	0.1372	0.1405
Density (kg/m^3)	515	526.6	440

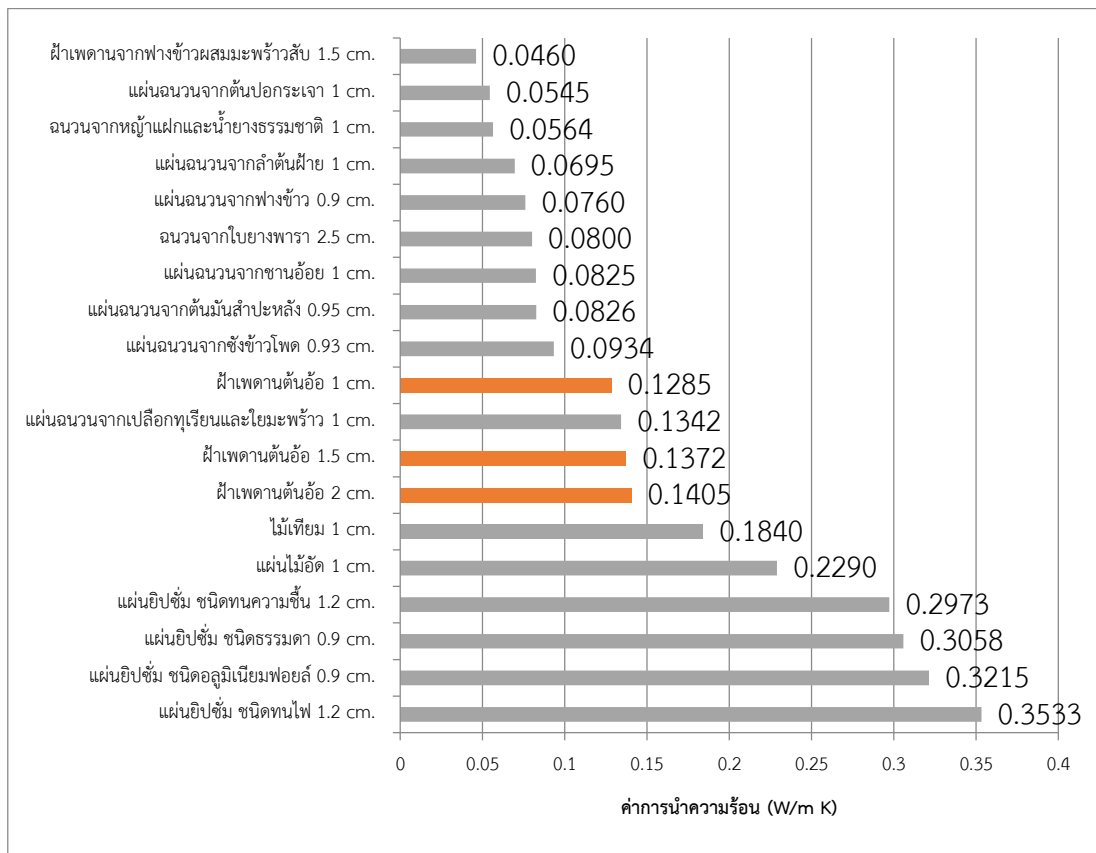
การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนและค่าการต้านทานความร้อนของฝ้าเพดาน
ตันอ้อกับวัสดุชนิดอื่น

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านความร้อนของฝ้าเพดานตันอ้อกับวัสดุชนิดอื่น

ชนิดวัสดุ	ความ หนา (มม.)	ความ หนาแน่น (kg/m ³)	สัมประสิทธิ์การนำ ความร้อน (W/m.k)	ค่าการ ต้านทาน ความร้อน (m ² .k/W)
แผ่นไม้อัด	10.00	907	0.2290	0.057
ไม้เทียม	10.00	1488	0.1840	0.054
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดธรรมดา	9.00	725	0.3058	0.029
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดทนไฟ	12.00	885	0.3533	0.042
ฉนวนจากหญ้าแฝกและน้ำยาง ธรรมชาติ [6]	10.00	180	0.0564	0.177
แผ่นฉนวนจากเปลือกทุเรียนและใย มะพร้าว [13]	10.00	856	0.1342	0.075
แผ่นฉนวนจากต้นปอกระเจา	10.00	150-200	0.051-0.058	0.184
แผ่นฉนวนจากลำต้นฝ้าย	10.00	150-450	0.058-0.081	0.144
ฉนวนจากเส้นใยเซลลูโลส	10.00	30-80	0.040-0.045	0.235
ฉนวนจากใยแก้วและใยหิน	10.00	20-200	0.035-0.045	0.250
ฝ้าเพดานตันอ้อ	10.00	515	0.1285	0.078
ฝ้าเพดานตันอ้อ	15.00	526.6	0.1372	0.104
ฝ้าเพดานตันอ้อ	20.00	440	0.1405	0.142
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดอลูมิเนียม พอยล์	9.00	745	0.3215	0.029
แผ่นยิปซัมตราช้าง ชนิดทนความชื้น	12.00	775	0.2973	0.040
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว [4]	9.00	600-700	0.0564-0.0957	0.104

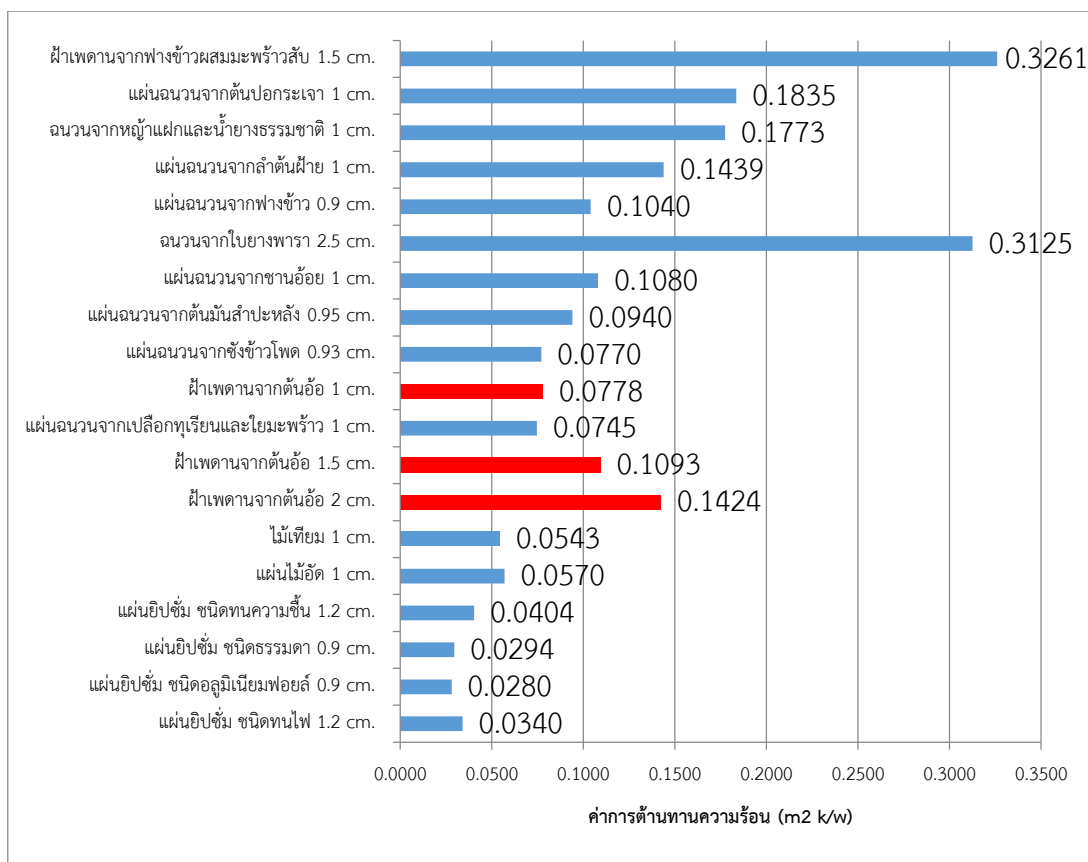
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อกับวัสดุชนิดอื่น (ต่อ)

ชนิดวัสดุ	ความหนา (มม.)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.k)	ค่าการต้านทานความร้อน (m ² .k/W)
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย [3]	10.00 -	458-688 350	0.0724-0.0925 0.055	0.108 -
แผ่นฉนวนจากขี้ข้าวโพด [2]	9.35	200-800	0.0632-0.1236	0.077
แผ่นฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง [2]	9.51	200-800	0.0593-0.1058	0.094
ฉนวนจากใยยางพารา [5]	25.00	96.5	0.080	0.313
ฝ้าเพดานจากฟางข้าวผสมมะพร้าว สืบ [2]	15.00	450	0.0460	0.326



แผนภูมิที่ 7 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฝ้าเพดานตันอ้อกับวัสดุชนิดอื่นๆ

จากแผนภูมิที่ 9 พบว่า ฝ้าเพดานตันอ้อทุกขนาดมีค่าการสัมประสิทธิ์นำความร้อน (k) ต่ำกว่าไม้เทียม ไม้อัด และยิปซัมบอร์ดทุกชนิด โดยฝ้าเพดานตันอ้อทุกขนาดมีค่าการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกัน และใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนจากเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว



แผนภูมิที่ 8 การเปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนของฝ้าเพดานตันอ้อกับวัสดุชนิดอื่นๆ

จากแผนภูมิที่ 10 พบว่าฝ้าเพดานตันอ้อทุกขนาดมีค่าการต้านทานความร้อน (R) ดีกว่าไม้เทียม ไม้อัด และยิปซัมบอร์ดทุกชนิด และฝ้าเพดานตันอ้อขนาด 2 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนดีที่สุด จากทั้งสามขนาด และมีค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าแผ่นฉนวนจากเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว แผ่นฉนวนจากซังข้าวโพด แผ่นฉนวนจากต้นมันสำปะหลัง แผ่นฉนวนจากขานอ้อยและแผ่นฉนวนจากฟางข้าว

4.3 ผลการทดลองส่วนที่ 3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่าง โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

หลังจากทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติของขึ้นต้นแบบด้วยกล่องทดลองและการส่งขึ้นต้นแบบเข้าเครื่องวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนของวัสดุแล้ว จึงนำมาทดสอบกับฝ้าเพดานโครงคร่าว T-Bar โดยนำแผ่นฝ้าเพดานจากเพดานต้นอ้อและซีลื้อย ทั้งสามขนาดมาใส่เป็นวัสดุจริง โดยการจำลองกับสภาพอากาศรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารตลอดทั้งปี ด้วยโปรแกรม Visual Doe 4.1 เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นดังนี้

- 1.แผ่นไม้อัด 1 cm. ความหนาแน่น 907 kg/m³
- 2.แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case) ความหนาแน่น 725 kg/m³
- 3.แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว หนาโยแก้ว ความหนาแน่น 16 kg/m³ + แผ่นยิปซัมบอร์ด ความหนาแน่น 725 kg/m³
- 4.แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว หนาโยแก้ว ความหนาแน่น 12 kg/m³ + แผ่นยิปซัมบอร์ด ความหนาแน่น 725 kg/m³
- 5.แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว หนาโยแก้ว ความหนาแน่น 12 kg/m³ + แผ่นยิปซัมบอร์ด ความหนาแน่น 725 kg/m³
- 6.แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm. ความหนาแน่น 600-700 kg/m³
- 7.แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm. ความหนาแน่น 458-688 kg/m³
- 8.แผ่นฝ้าเพดานต้นอ้อ 1 cm. ความหนาแน่น 515 kg/m³
- 9.แผ่นฝ้าเพดานต้นอ้อ 1.5 cm. ความหนาแน่น 526.6 725 kg/m³
- 10.แผ่นฝ้าเพดานต้นอ้อ 2 cm. ความหนาแน่น 440 kg/m³

4.3.1 ข้อมูลอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ทำการเปรียบเทียบข้อมูลและวัสดุดังกล่าวกับอาคารบ้านพักอาศัยชั้นเดียว 3 ห้องนอน 2 ห้องน้ำ พื้นที่ใช้สอยรวม 92.16 m² โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐมวลเบาหนา 0.10 m. ทาสีอ่อน ค่า U-Value = 1.1 W/m²°C อัตราส่วนพื้นที่หน้าต่างต่อผนัง(WWR) = 15.2% หลังคากระเบื้องคอนกรีตขนาดมาตรฐาน ค่า R-Value = 0.54 m²k/W ฝ้ายิปซัม ทีบาร์ ค่า R-Value = 0.029 m²k/W ช่องกระจกใส 6 มม. ค่า U-Value = 6.171 W/m²°C ผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก 0.10 m. ปูกระเบื้องเซรามิก ค่า Lighting power density(LPD) = 13 W/m² ค่า Equipment power density(EPD) = 2.7 W/m² เครื่องปรับอากาศแบบ Split type ค่า EER = 13.76 ค่า COP = 4 ผู้อยู่อาศัย 4 คน หน้าบ้านหันไปทางทิศใต้

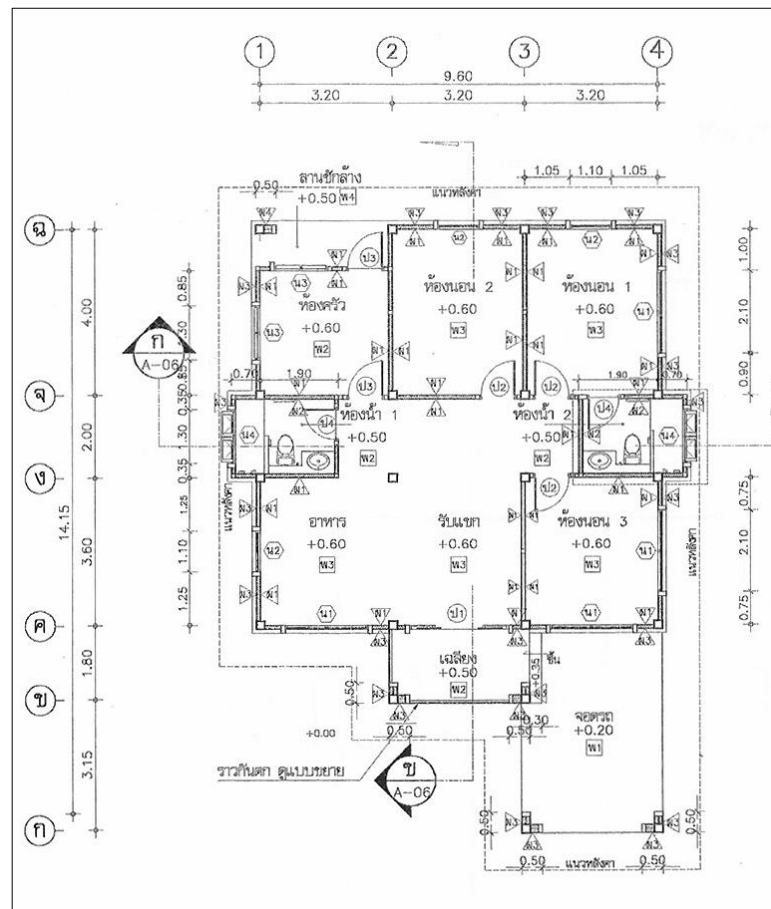
การทดลองด้วยการจำลองแบบบ้านมาตรฐานนี้ ทำการจำลองเป็น 3 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ตลอดทั้งปี

กรณีที่ 2 กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางวัน ตลอดทั้งปี

กรณีที่ 3 กรณีเปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืน ตลอดทั้งปี

โดยจะทำการศึกษาเฉพาะพลังงานในการทำความเย็น (cooling energy) ให้กับอาคารเท่านั้น



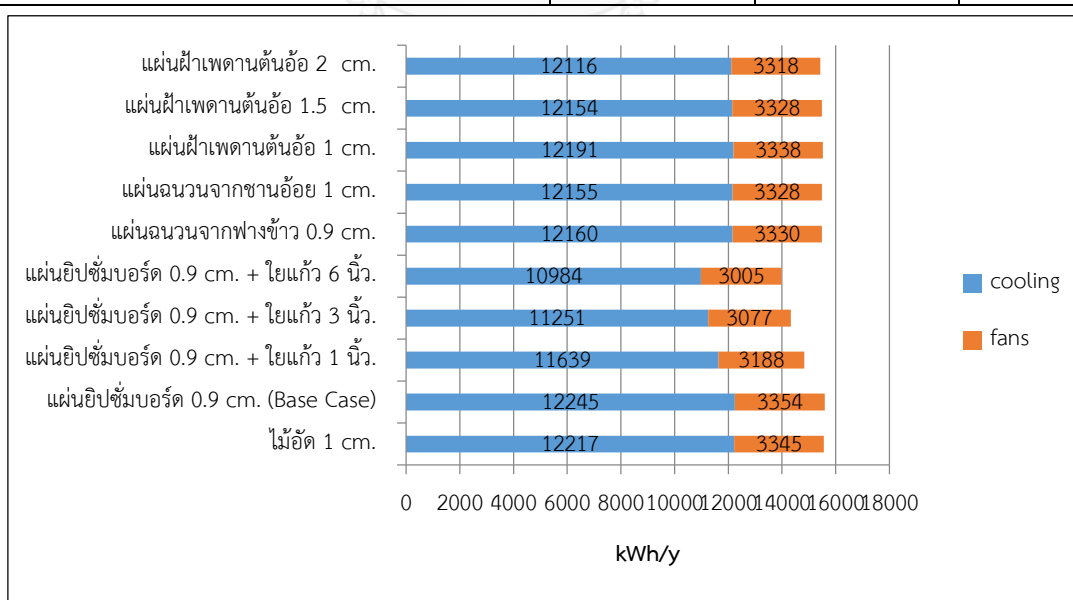
รูปที่ 30 ผังอาคารที่นำมาทดลอง โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.3.2 ผลการทดลอง

กรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดาน
แต่ละชนิด (กรณีที่ 1)

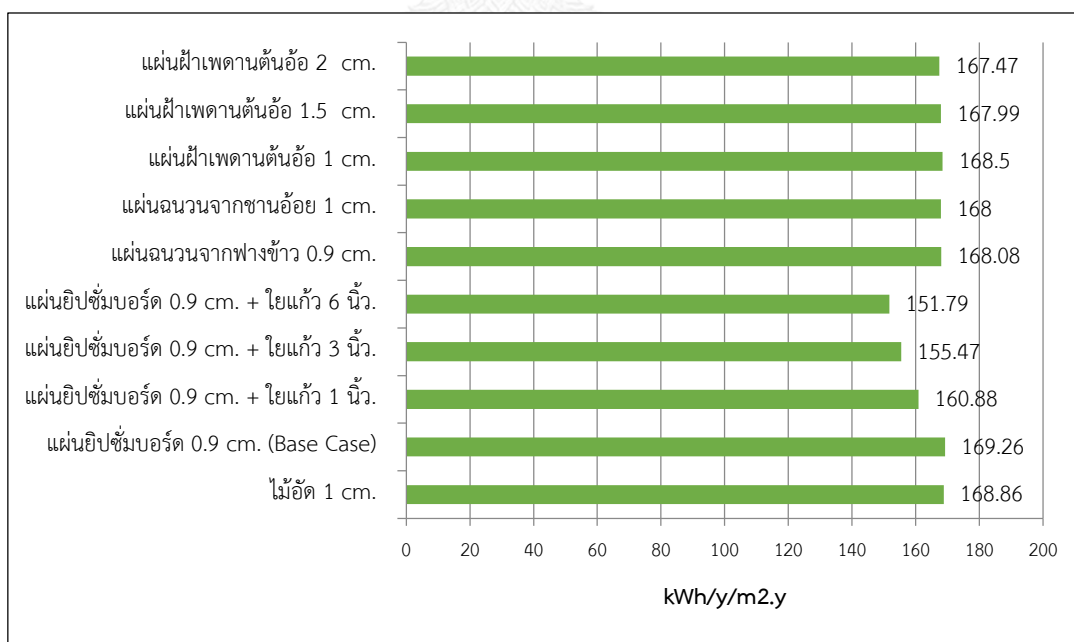
วัสดุ	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำ ความเย็นตลอดทั้งปี (kWh)		รวม (kWh)
	Cooling	Fans	
ไม้อัด 1 cm.	12,217	3,345	15,562
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	12,245	3,354	15,599
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	11,639	3,188	14,827
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	11,251	3,077	14,328
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	10,984	3,005	13,989
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	12,160	3,330	15,490
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm.	12,155	3,328	15,483
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	12,191	3,338	15,529
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	12,154	3,328	15,482
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	12,116	3,318	15,434



แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดาน
แต่ละชนิด (กรณีที่ 1)

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 1)

วัสดุ	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำความเย็นตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (kWh/m ² .y)
ไม้อัด 1 cm.	168.86
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	169.26
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	160.88
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	155.47
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	151.79
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	168.08
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm.	168.00
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	168.50
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	167.99
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	167.47

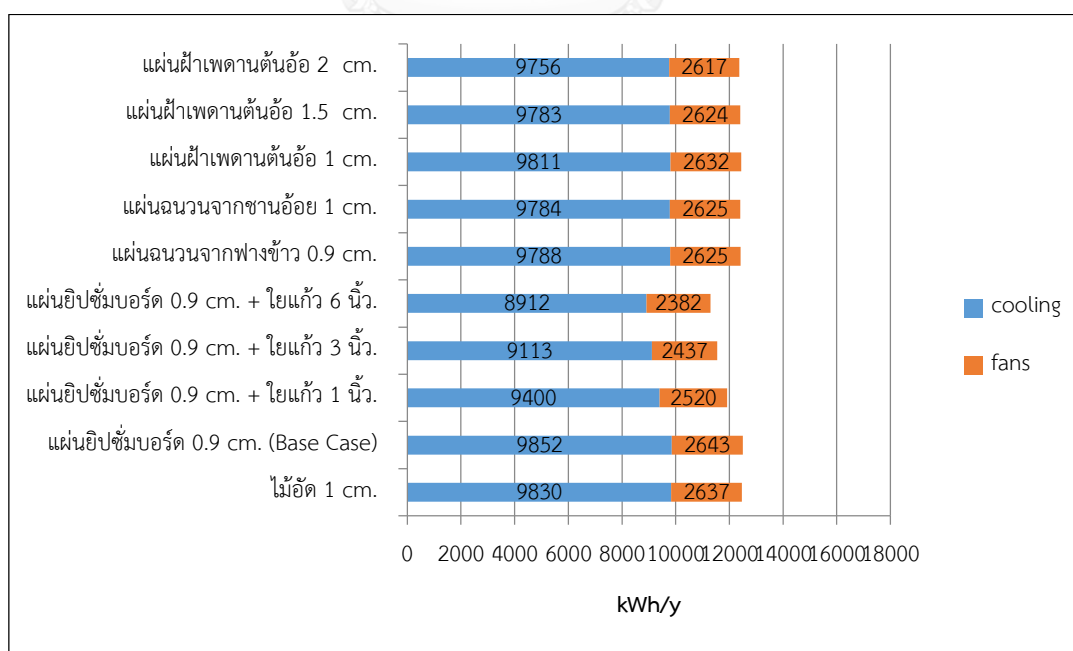


แผนภูมิที่ 10 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 1)

กรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางวันตลอดทั้งปี

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดาน
แต่ละชนิด (กรณีที่ 2)

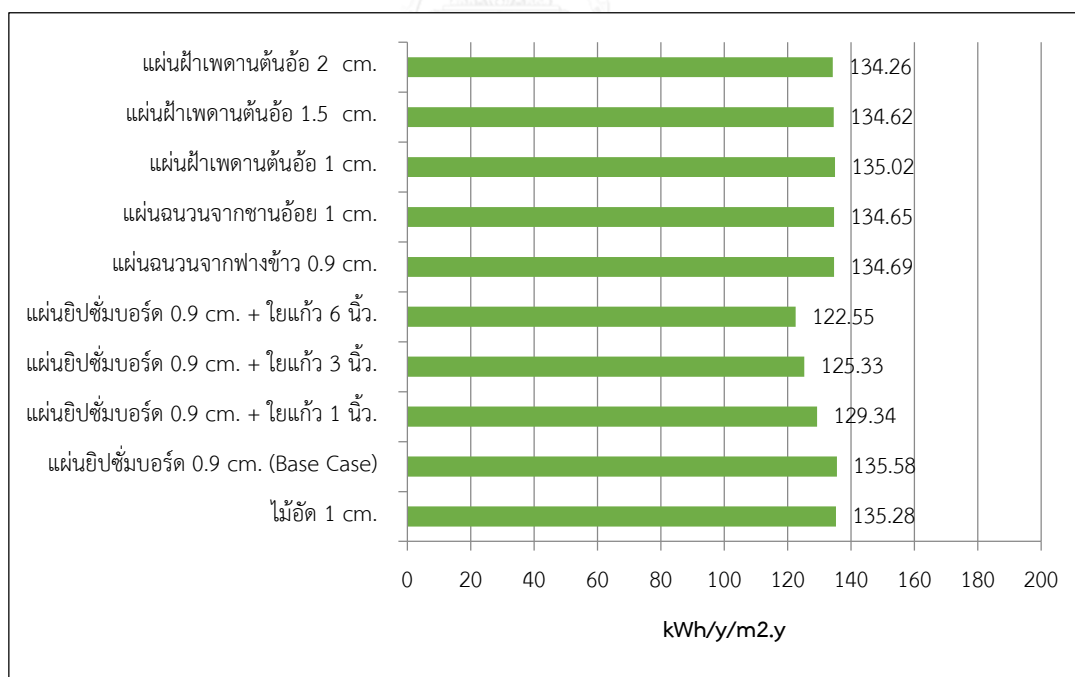
วัสดุ	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำ ความเย็นตลอดทั้งปี (kWh)		รวม (kWh)
	Cooling	Fans	
ไม้อัด 1 cm.	9,830	2,637	12,467
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	9,852	2,643	12,495
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	9,400	2,520	11,920
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	9,113	2,437	11,550
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	8,912	2,382	11,294
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	9,788	2,625	12,413
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm.	9,784	2,625	12,409
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	9,811	2,632	12,443
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	9,783	2,624	12,407
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	9,756	2,617	12,373



แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดาน
แต่ละชนิด (กรณีที่ 2)

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 2)

วัสดุ	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำความเย็นตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (kWh/m ² .y)
ไม้อัด 1 cm.	135.28
แผ่นอิพซิมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	135.58
แผ่นอิพซิมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	129.34
แผ่นอิพซิมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	125.33
แผ่นอิพซิมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	122.55
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	134.69
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm.	134.65
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	135.02
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	134.62
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	134.26

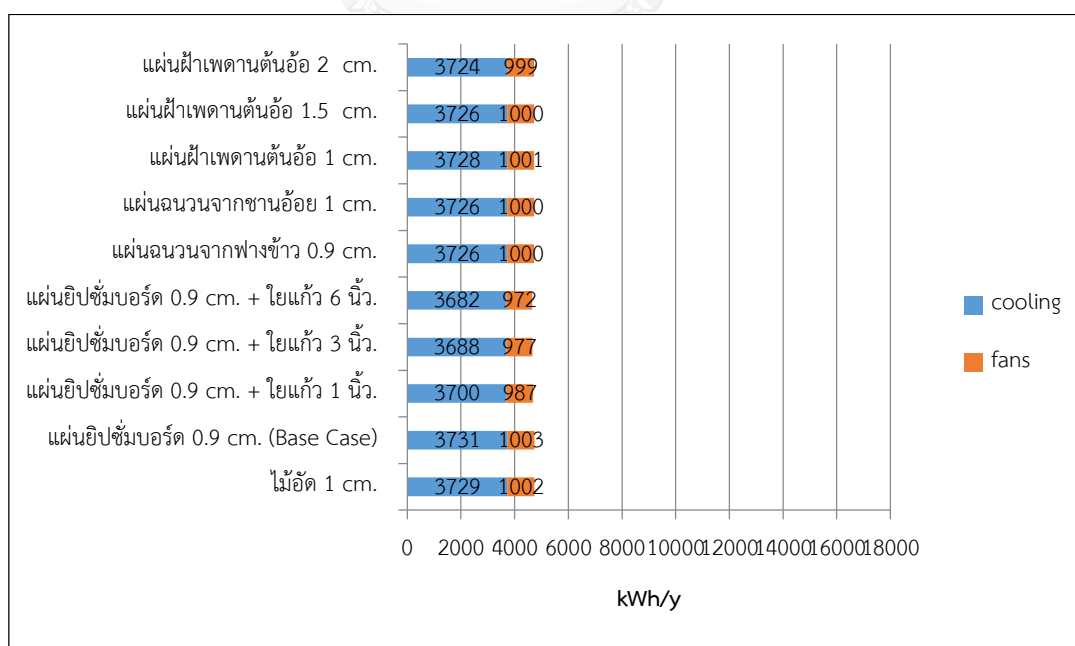


แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 2)

กรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนตลอดทั้งปี

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดาน
แต่ละชนิด (กรณีที่ 3)

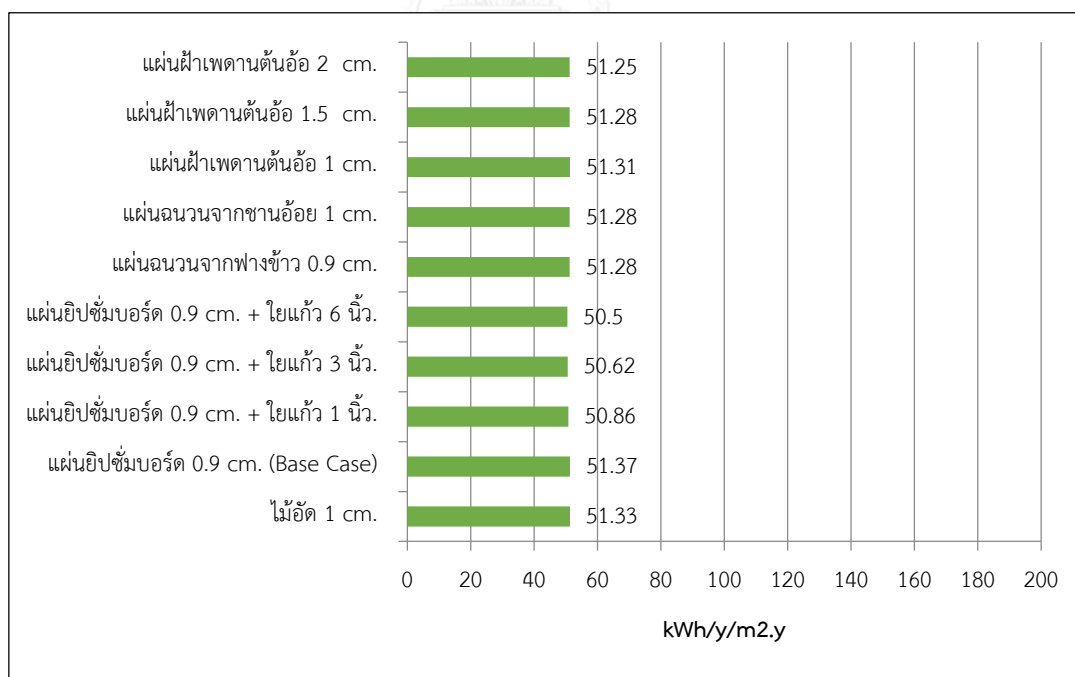
วัสดุ	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำ ความเย็นตลอดทั้งปี (kWh)		รวม (kWh)
	Cooling	Fans	
ไม้อัด 1 cm.	3,729	1,002	4,731
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	3,731	1,003	4,734
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	3,700	987	4,687
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	3,688	977	4,665
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	3,682	972	4,654
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	3,726	1,000	4,726
แผ่นฉนวนจากชานอ้อย 1 cm.	3,726	1,000	4,726
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	3,728	1,001	4,729
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	3,726	1,000	4,726
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	3,724	999	4,723



แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารเมื่อใช้ฝ้าเพดาน
แต่ละชนิด (กรณีที่ 3)

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 3)

วัสดุ	ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการทำความเย็นตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (kWh/m ² .y)
ไม้อัด 1 cm.	51.33
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	51.37
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	50.86
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	50.62
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	50.50
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	51.28
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm.	51.28
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	51.31
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	51.28
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	51.25



แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นในอาคารตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อพื้นที่ (กรณีที่ 3)

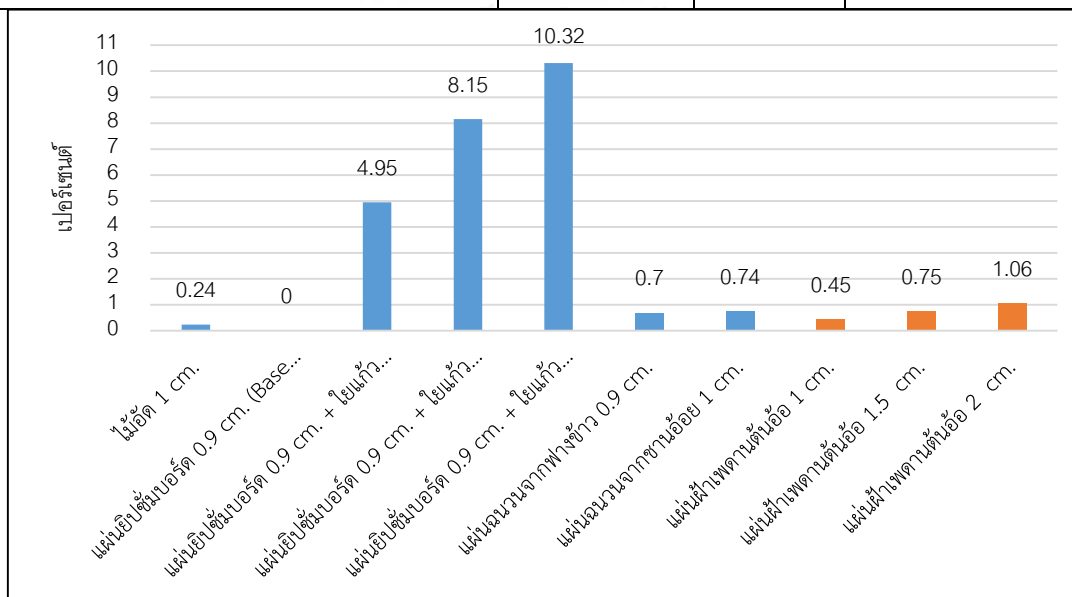
สรุปค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในการทำความเย็น

ค่าไฟฟ้า 3.5 บาทต่อหน่วย พื้นที่บ้าน 92.16 m²

กรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นกรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี

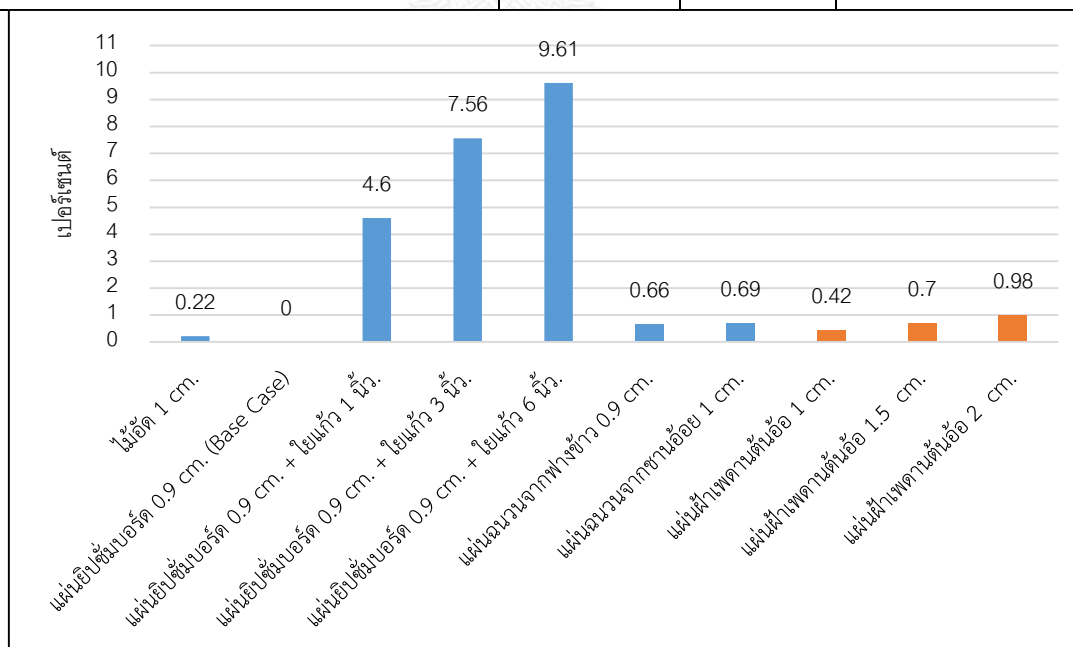
วัสดุ	ปริมาณการใช้ พลังงาน (kWh/y)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ประหยัดได้(บาท)
ไม้อัด 1 cm.	15,562	54,467.00	129.50 (0.24 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	15,599	54,596.50	-
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	14,827	51,894.50	2,702 (4.95 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	14,328	50,148.00	4,448.50 (8.15 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	13,989	48,961.50	5,635.00(10.32 %)
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	15,490	54,215.00	381.50 (0.70 %)
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm.	15,483	54,190.50	406.00 (0.74 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	15,529	54,351.50	245.00 (0.45 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	15,482	54,187.00	409.50 (0.75 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	15,434	54,019.00	577.50 (1.06%)



แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการทำความเย็นกรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี

กรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางวันตลอดทั้งปี
 ตารางที่ 15 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นกรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา
 กลางวัน ตลอดทั้งปี

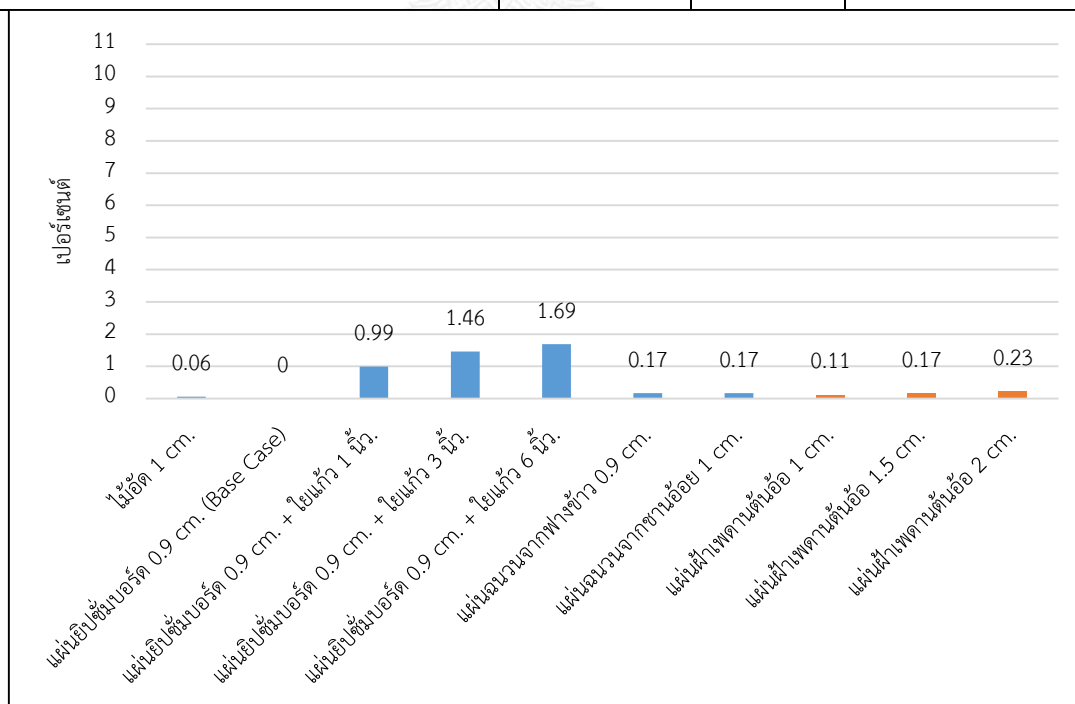
วัสดุ	ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/y)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ประหยัดได้(บาท)
ไม้อัด 1 cm.	12,467	43,634.50	98.00 (0.22 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	12,495	43,732.50	-
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	11,920	41,720.00	2,012.50 (4.60 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	11,550	40,425.00	3,307.50 (7.56 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	11,294	39,529.00	4,203.50 (9.61 %)
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	12,413	43,445.50	287.00 (0.66 %)
แผ่นฉนวนจากขานอ้อย 1 cm.	12,409	43,431.50	301.00 (0.69 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	12,443	43,550.50	182.00 (0.42 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	12,407	43,424.50	308.00 (0.70 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	12,373	43,305.50	427.00 (0.98 %)



แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการทำความเย็นกรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศ
 เฉพาะเวลากลางวัน ตลอดทั้งปี

กรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนตลอดทั้งปี
ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในการทำความเย็นกรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะใน
ช่วงเวลากลางคืนตลอดทั้งปี

วัสดุ	ปริมาณการใช้พลังงาน (kWh/y)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ประหยัดได้(บาท)
ไม้อัด 1 cm.	4,731	16,558.50	10.5 (0.06 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. (Base Case)	4,734	16,569.00	-
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว.	4,687	16,404.50	165.00 (0.99 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว.	4,665	16,327.50	241.50 (1.46 %)
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว.	4,654	16,289.00	280.00 (1.69 %)
แผ่นฉนวนจากฟางข้าว 0.9 cm.	4,726	16,541.00	28.00 (0.17 %)
แผ่นฉนวนจากชานอ้อย 1 cm.	4,726	16,541.00	28.00 (0.17 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	4,729	16,551.50	17.50 (0.11 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	4,726	16,541.00	28.00 (0.17 %)
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	4,723	16,530.50	38.50 (0.23 %)

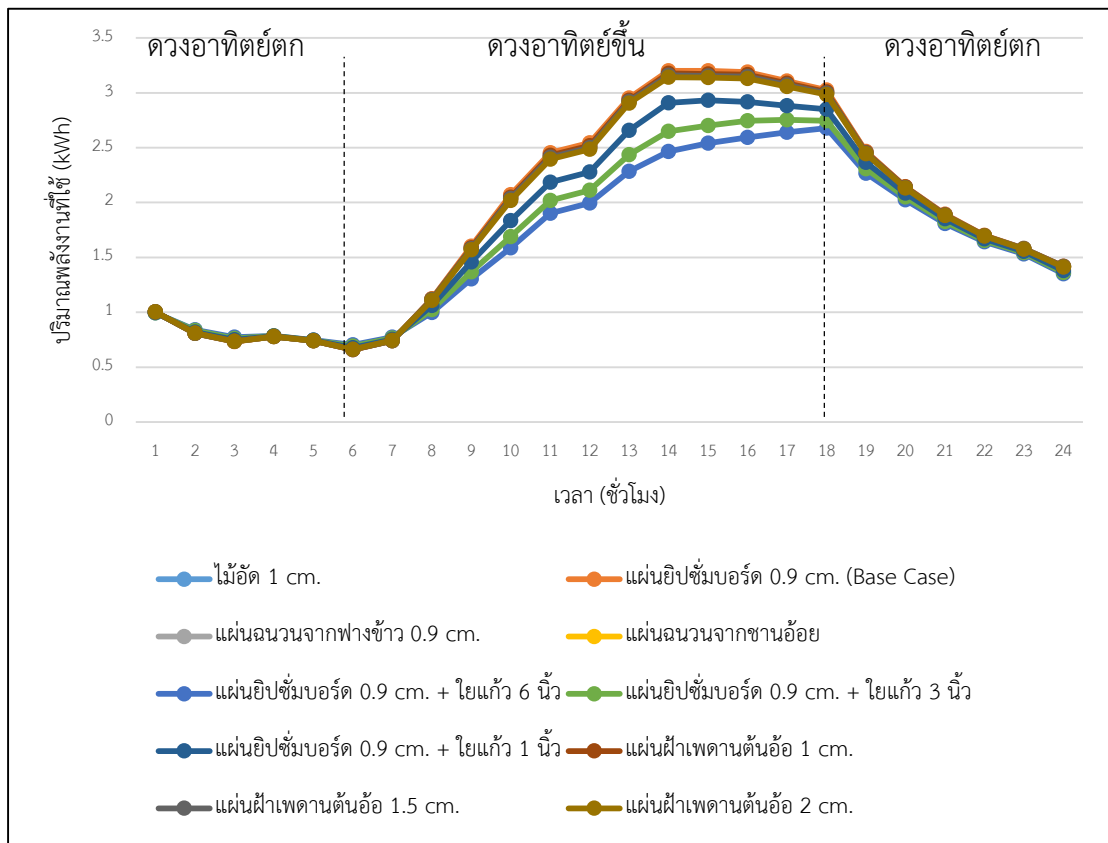


แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ในการทำความเย็นกรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศ
เฉพาะช่วงเวลากลางคืนตลอดทั้งปี

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานการทำความเย็นใน 24 ชม. ของวันที่ 21 มีนาคม

เวลา (ชม.)	ไม้อัด 1 cm.	ยิปซัม บอร์ด 0.9 cm.	ฉนวน ฟางข้าว 0.9 cm.	ฉนวน ขาน อ้อย 0.9 cm.	ยิปซัม บอร์ด + ใยแก้ว 6 นิ้ว	ยิปซัม บอร์ด + ใยแก้ว 3 นิ้ว	ยิปซัม บอร์ด + ใยแก้ว 1 นิ้ว	ฝ้า เพดาน ตันอ้อ 1 cm.	ฝ้า เพดาน ตันอ้อ 1.5 cm.	ฝ้า เพดาน ตันอ้อ 2 cm.
1	1.005	1.005	1.004	1.004	0.994	0.996	0.998	1.005	1.004	1.003
2	0.808	0.807	0.809	0.809	0.841	0.833	0.821	0.809	0.809	0.81
3	0.734	0.733	0.736	0.736	0.772	0.762	0.75	0.735	0.736	0.736
4	0.779	0.779	0.779	0.779	0.786	0.784	0.781	0.779	0.779	0.779
5	0.741	0.74	0.741	0.741	0.747	0.745	0.743	0.741	0.741	0.741
6	0.659	0.658	0.661	0.661	0.703	0.692	0.678	0.66	0.661	0.662
7	0.741	0.74	0.742	0.742	0.772	0.764	0.754	0.741	0.742	0.743
8	1.119	1.122	1.114	1.113	0.998	1.025	1.063	1.117	1.113	1.109
9	1.594	1.601	1.58	1.579	1.305	1.369	1.46	1.587	1.579	1.57
10	2.059	2.072	2.037	2.035	1.588	1.689	1.835	2.049	2.035	2.02
11	2.441	2.455	2.415	2.413	1.903	2.018	2.186	2.429	2.412	2.396
12	2.529	2.543	2.504	2.502	1.996	2.111	2.278	2.517	2.501	2.485
13	2.941	2.953	2.921	2.919	2.283	2.437	2.659	2.932	2.919	2.905
14	3.187	3.201	3.163	3.161	2.464	2.648	2.909	3.176	3.16	3.143
15	3.184	3.2	3.158	3.155	2.541	2.703	2.933	3.172	3.155	3.138
16	3.175	3.19	3.15	3.148	2.595	2.745	2.917	3.164	3.147	3.131
17	3.096	3.108	3.075	3.073	2.641	2.753	2.883	3.086	3.072	3.058
18	3.015	3.025	2.999	2.998	2.679	2.744	2.851	3.008	2.997	2.986
19	2.461	2.466	2.451	2.45	2.268	2.308	2.366	2.456	2.45	2.444
20	2.142	2.145	2.137	2.136	2.026	2.051	2.087	2.14	2.136	2.132
21	1.89	1.892	1.886	1.886	1.81	1.827	1.852	1.888	1.889	1.883
22	1.699	1.7	1.696	1.698	1.642	1.654	1.67	1.697	1.696	1.694
23	1.58	1.581	1.577	1.577	1.532	1.542	1.556	1.579	1.577	1.575
24	1.419	1.418	1.415	1.414	1.352	1.362	1.381	1.417	1.414	1.412

จากตารางที่ 17 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารบ้านพักอาศัยชั้นเดียวในวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งเป็นวันที่มีอากาศร้อนที่สุดของปี โดยจำลองแบบกรณีที่ 1 เปิดแอร์ 24 ชม. พบว่าในช่วงเวลากลางวันบ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ใยแก้ว 6 นิ้ว จะมีการใช้พลังงานในการทำความเย็นน้อยที่สุด รองลงมาเป็นบ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ใยแก้ว 3 นิ้ว และบ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ใยแก้ว 1 นิ้ว ตามลำดับ ฝ้าทดลองอื่นๆทำให้บ้านมีค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นใกล้เคียงและใช้พลังงานสูงกว่า บ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด + ใยแก้วทุกขนาด ส่วนในช่วงเวลากลางคืนค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นมีความแตกต่างกันเป็นสัดส่วนน้อยมากในทุกชนิดของฝ้าเพดาน



แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานการทำความเย็นใน 24 ชม. ของวันที่ 21 มีนาคม

4.3.3 การคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากผลการทดสอบ เรื่องคุณสมบัติในความเป็นฉนวนและการใช้พลังงานในอาคารจะเห็นว่า แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ มีศักยภาพดีกว่ายิปซัมบอร์ดทุกกรณี ซึ่งในการผลิตวัสดุนอกจากจะใช้ตันอ้อและซีลี้อย่างเป็นวัสดุธรรมชาติแล้ว ยังมีการใช้กาวลาเท็กซ์เป็นวัสดุประสาน ดังนั้นต้นทุนในการผลิตแผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ ความหนาแน่น 515 kg/m^3 ขนาด $0.60 \times 0.60 \times 0.010 \text{ m}$. จะใช้กาวลาเท็กซ์ประมาณ 2000 กรัม/แผ่น คิดเป็นเงิน 66 บาท ดังตารางที่ 4.13 ราคาจะสูงกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดาและราคาส่วนใหญ่จะมาจากกาวซึ่งเป็นวัสดุประสาน

ตารางที่ 18 สรุปต้นทุนการผลิตฝ้าเพดานตันอ้อที่ใช้ในบ้านที่นำมาจำลองการใช้พลังงาน

วัสดุ	ราคาต่อชิ้น 60x60 cm. หนา 10 มม. (บาท)
ตันอ้อ	-
ซีลี้อย	5
กาวลาเท็กซ์	66
ผงปูนยิปซัม	1
ไม้แบบ	0.22
ค่าแรง	2
ค่าดำเนินการ	2
อื่นๆ	2
รวม/แผ่น	78.22

ตารางที่ 19 รายละเอียดวัสดุทั้งหมดในการผลิตฝ้าเพดานตันอ้อ

วัสดุ	ราคา (บาท)
ตันอ้อ	-
ซีลี้อย	10
กาวลาเท็กซ์	3300
ผงปูนยิปซัม	20
ไม้แบบ	220

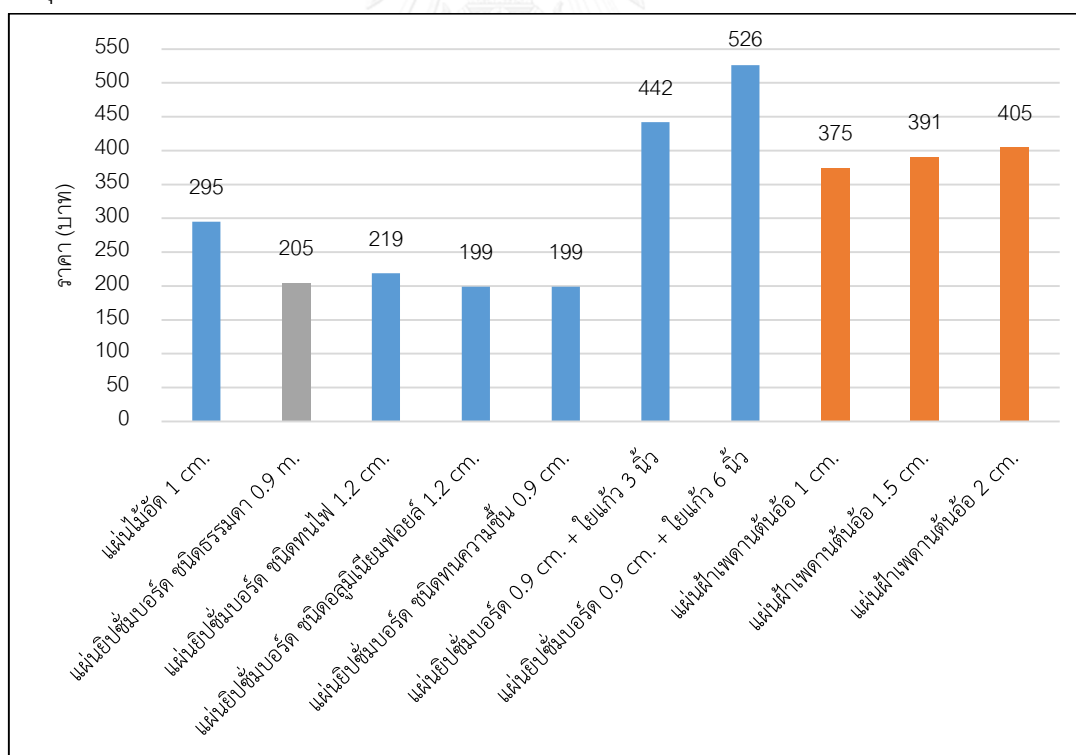
หมายเหตุ

- ซีลี้อย 1 ถุง สามารถผลิตวัสดุขนาด $60 \times 60 \text{ cm}$. ได้ = 2 แผ่น
- กาวลาเท็กซ์ 1 ถังใหญ่ (100 kg) สามารถผลิตวัสดุขนาด $60 \times 60 \text{ cm}$. ได้ = 50 แผ่น
- ผงปูนยิปซัม 1 ถุง สามารถผลิตวัสดุขนาด $60 \times 60 \text{ cm}$. ได้ = 20 แผ่น

ตารางที่ 20 ต้นทุนราคาแผ่นฝ้าเพดานตันอ้อต่อตารางเมตรเปรียบเทียบกับวัสดุตามท้องตลาด

ชนิดวัสดุ	ต้นทุนเฉพาะแผ่นฝ้า (บาท/m ²)	ค่าติดตั้ง + ค่าวัสดุ ยึดติด*(บาท/m ²)
แผ่นไม้อัด 1 cm.	170	125
แผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา 0.9 m.	50	155
แผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดทนไฟ 1.2 cm.	94	125
แผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดอลูมิเนียมพอยล์ 1.2 cm.	74	125
แผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดทนความชื้น 0.9 cm.	74	125
แผ่นยิปซัมบอร์ด + โยแก้ว 3 นิ้ว	237	205
แผ่นยิปซัมบอร์ด + โยแก้ว 6 นิ้ว	321	205
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	220	155
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	236	155
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	250	155

*วัสดุยึดติดจำพวกเหล็กตัวซี ลวด เหล็กโครงคร่าวที่บาร์



แผนภูมิที่ 19 ต้นทุนราคาแผ่นฝ้าเพดานตันอ้อต่อตารางเมตรเปรียบเทียบกับวัสดุตามท้องตลาด (รวมค่าติดตั้ง)

จากการพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารแล้ว ทั้ง 3 กรณี กรณีที่ 1 แบบเปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี กรณีที่ 2 แบบเปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางวันตลอดทั้งปี และกรณีที่ 3 แบบเปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะช่วงเวลากลางคืนตลอดทั้งปี พบว่าค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของบ้านพักอาศัยที่ใช้ฝ้าเพดานตันอ้อมมีค่าที่ใกล้เคียงกับบ้านพักอาศัยที่ใช้ฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด(Base Case) 0.9 cm. มากที่สุดในกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นลักษณะของบ้านพักอาศัยส่วนใหญ่ในประเทศไทย โดยในกรณีศึกษาที่ 1 ฝ้าเพดานตันอ้อม 2 cm. สามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ 577.5 บาท/ปี ดังตารางที่ 14 ในกรณีศึกษาที่ 2 ฝ้าเพดานตันอ้อม 2 cm. สามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ 427.0 บาท/ปี ดังตารางที่ 15 และในกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่ใกล้เคียงกับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยมากที่สุดฝ้าเพดานตันอ้อม 2 cm. สามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ 38.5 บาท/ปี ดังตารางที่ 16 สาเหตุมาจากในการทดลองนี้มีการปรับเปลี่ยนวัสดุฝ้าเพดานเพียงอย่างเดียว จึงอาจไม่ส่งผลต่อการลดภาระในการทำความเย็นของอาคารลงมากนัก

การคำนวณระยะเวลาคืนทุน เมื่อติดตั้งในอาคารบ้านพักอาศัย(Base Case)

สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนได้จาก สมการต่อไปนี้

$$\text{ระยะคืนทุน(ปี)} = \frac{\text{ต้นทุนที่เพิ่มจาก Base Case}}{\text{ราคาค่าไฟที่ประหยัดต่อปี}}$$

กรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของกรณีที่ 1 เปิดเครื่องปรับอากาศตลอด 24 ชม. ตลอดทั้งปี

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ + ค่าแรง ทั้งหมด	ส่วนต่าง ราคา (บาท)	ราคาค่าไฟที่ประหยัด (บาท/ปี)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
แผ่นไม้อัด 1 cm.	27,185	8,292	129.50	67.2
แผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา 0.9 m.	18,893	-	-	-
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ไยแก้ว 3 นิ้ว	40,735	21,842	4,448.50	2.4
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ไยแก้ว 6 นิ้ว	48,476	29,583	5,635.00	2.7
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อม 1 cm.	34,560	15,667	245.00	63.7
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อม 1.5 cm.	36,035	17,142	409.50	41.9
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อม 2 cm.	37,325	18,432	577.50	31.9

กรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางวันตลอดทั้งปี
ตารางที่ 22 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของกรณีที่ 2 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลา
กลางวันตลอดทั้งปี

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ + ค่าแรง ทั้งหมด	ส่วนต่าง ราคา (บาท)	ราคาค่าไฟ ที่ประหยัด (บาท/ปี)	ระยะเวลา คืนทุน (ปี)
แผ่นไม้อัด 1 cm.	27,185	8,292	98.00	88.8
แผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา 0.9 m.	18,893	-	-	-
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว	40,735	21,842	3,307.50	3.2
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว	48,476	29,583	4,203.50	3.7
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	34,560	15,667	182.00	85.8
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	36,035	17,142	308.00	55.7
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	37,325	18,432	427.00	43.2

กรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนตลอดทั้งปี
ตารางที่ 23 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนของกรณีที่ 3 เปิดเครื่องปรับอากาศเฉพาะในช่วงเวลา
กลางคืนตลอดทั้งปี

ชนิดวัสดุ	ราคาวัสดุ + ค่าแรง ทั้งหมด	ส่วนต่าง ราคา (บาท)	ราคาค่าไฟ ที่ประหยัด (บาท/ปี)	ระยะเวลา คืนทุน (ปี)
แผ่นไม้อัด 1 cm.	27,185	8,292	10.50	829.0
แผ่นยิปซัมบอร์ด ชนิดธรรมดา 0.9 m.	18,893	-	-	-
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว	40,735	21,842	241.50	63.8
แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว	48,476	29,583	280.00	54.9
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	34,560	15,667	17.50	892.3
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 1.5 cm.	36,035	17,142	28.00	612.6
แผ่นฝ้าเพดานตันอ้อ 2 cm.	37,325	18,432	38.50	478.8

จากการพิจารณาระยะเวลาคืนทุนพบว่า บ้านพักอาศัยที่ใช้ใยแก้วขนาด 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุชนิดอื่น โดยกรณีศึกษาที่ 1 แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ใยแก้ว 3 นิ้ว มีระยะเวลาในการคืนทุนเร็วที่สุดจากอยู่ที่ 2.4 ปี ส่วนฝ้าเพดานตันอ้อ 1, 1.5 และ 2 cm. มีระยะเวลาคืนทุน 63.7, 41.9 และ 31.9 ปี ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ 2 แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ใยแก้ว 3 นิ้ว มีระยะเวลาในการคืนทุนเร็วที่สุดอยู่ที่ 3.12 ปี ส่วนฝ้าเพดานตันอ้อ 1, 1.5 และ 2 cm. มีระยะเวลาคืนทุน 85.8, 55.7 และ 43.2 ปี ตามลำดับ และในกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่ใกล้เคียงกับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยมากที่สุด แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + ใยแก้ว 3 นิ้ว มีระยะเวลาในการคืนทุนเร็วที่สุดอยู่ที่ 63.8 ปี ในส่วนของฝ้าเพดานตันอ้อพบว่า มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ค่อนข้างนาน

ในกรณีที่ใช้งานบ้านพักอาศัยทั่วไป ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน การใช้ฉนวนฝ้าเพดานหนา ด้วยใยแก้วจะพบว่าระยะเวลาคืนทุนสูงถึง 64 ปี ตามตารางที่ 27 เพราะบ้านมีการใส่ฉนวนที่มากเกินไป โดยไม่ได้ใช้ให้คุ้มค่ากับประสิทธิภาพของฉนวน การใช้ฉนวนหนามากๆ จะเหมาะกับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุด เช่น ในเวลากลางวัน

ผลจากกล่องทดลองซึ่งเป็นตัวแทนของสภาพการใช้งานจริงในอาคารที่ไม่ปรับอากาศ ยังพบว่าฝ้าเพดานตันอ้อกันความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ด ซึ่งทราบได้จากแผนภูมิที่ 5 และ 6

ผลการจำลองค่าการใช้พลังงานพบว่าแผ่นฝ้าเพดานตันอ้อมีค่าการใช้พลังงานใกล้เคียงกับแผ่นฉนวนจากฟางข้าว แผ่นฉนวนจากขานอ้อยและแผ่นยิปซัมบอร์ด ในทุกกรณีศึกษา ส่วนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งมีต้นทุนที่ต่ำกว่าฉนวนใยแก้ว จึงทำให้วัสดุที่ผลิตขึ้นมีข้อได้เปรียบในเรื่องราคาติดตั้ง แต่ในส่วนของราคาต่อหน่วยของวัสดุพบว่าสูงกว่ายิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดา 3-4 เท่า โดยราคาส่วนใหญ่มาจากค่าเวลาเท็กซ์ซึ่งใช้เป็นวัสดุประสาน แต่ฝ้าเพดานตันอ้อเป็นวัสดุธรรมชาติ ซึ่งในขั้นตอนการผลิตมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ต่ำกว่ายิปซัมบอร์ดมาก จึงทำให้ฝ้าเพดานตันอ้อเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าอีกทั้งชาวบ้านยังสามารถทำเองได้ โดยใช้เพียงวัสดุในท้องถิ่น เป็นการส่งเสริมให้เกิดการพึ่งพาตนเองมากขึ้น

ผลการทดลองในส่วนอื่นๆ มีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลและวรรณกรรมต่างๆ ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษามา ยกตัวอย่างเช่น ค่าการต้านทานความร้อน ที่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ตามแผนภูมิที่ 10 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแตกต่างจากที่คาดการณ์ไว้เล็กน้อย ตามแผนภูมิที่ 9 สาเหตุอาจมาจากกระบวนการผลิตที่ยังไม่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรมมากนัก

นอกจากนี้ยังสามารถระบุได้จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า ช่องอากาศภายในตันอ้อน่าจะมีผลต่อการป้องกันความร้อนนั้น พบว่ายังไม่มีผลมากเพียงพอเพราะตันอ้อมีขนาดเล็กยังมีปริมาณของช่องอากาศน้อย เพราะมีตันอ้อวางเรียงกันเพียงแค่ชั้นเดียวภายในเนื้อวัสดุ หากมีการซ้อนทับของตันอ้อที่มากกว่านี้อาจทำให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง นำเสนอการใช้ต้นอ้อ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการนำวัสดุธรรมชาติมาผลิตเป็นวัสดุฝ้าประกอบอาคารเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกระบวนการผลิต นำมาซึ่งวัสดุประกอบอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยในการผลิต จะคงสภาพของต้นอ้อไว้ไม่ทำให้เสียคุณสมบัติที่ดีในการเป็นฉนวนของช่องอากาศภายในตัววัสดุไป งานวิจัยประกอบด้วยการศึกษาวรรณกรรมต่างๆ ที่เน้นในเรื่องการใช้วัสดุธรรมชาติมาทำเป็นวัสดุประกอบอาคาร เมื่อได้แนวทางปฏิบัติแล้วจึงเริ่มต้นทำการผลิตวัสดุด้วยมือ โดยปราศจากเครื่องจักรอุตสาหกรรม จนได้ชิ้นต้นแบบ 3 ชิ้น ขนาด กว้างxยาว = 30x30 cm. มีความหนา 1,1.5 และ 2 cm. จากนั้นทำการทดลองด้วยกล่องทดลอง ในสภาพคล้ายการใช้งานจริง เพื่อดูแนวโน้มการป้องกันความร้อนและการคายความร้อนของชิ้นต้นแบบ และนำชิ้นต้นแบบทั้ง 3 ขนาด เข้าทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อนตามมาตรฐาน ASTM C518 ที่ห้องทดลองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และค่าการต้านทานความร้อน (R) ของวัสดุ และนำค่าที่ได้มาจำลองการใช้พลังงานการทำความเย็นให้กับอาคารบ้านพักอาศัยชั้นเดียว ภายใต้สภาพอากาศของประเทศไทย เปรียบเทียบกันกับการใช้วัสดุฝ้าเพดานชนิดต่างๆ และสุดท้ายนำปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาคำนวณค่าไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุน

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนของฝ้าเพดานต้นอ้อประกอบไปด้วยการทดลองทั้งหมด 3 ส่วน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการทดลองส่วนที่ 1 ส่วนการทดลองด้วยกล่องทดลอง

การทดลองด้วยกล่องทดลองซึ่งเปรียบเสมือนตัวแทนสภาพการใช้งานจริงที่ไม่ปรับอากาศ สรุปได้ว่าฝ้าเพดานต้นอ้อหนา 2 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนที่ดีที่สุด เมื่อเทียบจากทั้ง 3 ขนาด ซึ่งทราบได้จากแผนภูมิที่ 5 และ 6 และเมื่อเปรียบเทียบกับฝ้าเพดานต้นอ้อหนา 1 cm. กับแผ่นยิปซัมบอร์ดที่มีความหนาใกล้เคียงกัน พบว่าฝ้าเพดานต้นอ้อมีค่าการต้านทานความร้อนที่ดีกว่า ผลการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้ามา ในเรื่องค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ความหนาของวัสดุ

ในด้านการหวั่นเหี่ยวความร้อนของวัสดุได้พบว่า วัสดุที่มีมวลมากย่อมกักเก็บความร้อนไว้ได้มากกว่าวัสดุที่มีมวลน้อย จึงทำให้ฝ้าเพดานต้นอ้อหนา 2 cm. มีการคายความร้อนช้ากว่าชิ้น

ทดลองชนิดอื่นในการทดลองเล็กน้อย โดยผลจากกล่องทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อหยุดให้ความร้อนกับชิ้นทดลองแล้ว ฝ้าเพดานตันอ่อนหนา 2 cm. ยังมีการคายความร้อนออกมาช้ากว่าชิ้นทดลองชิ้นอื่นเล็กน้อยโดยสามารถดูได้จากแผนภูมิที่ 7

5.1.2 สรุปผลการทดลองส่วนที่ 2 การทดลองในห้องทดลองด้วยเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อน

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าการต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ของฝ้าเพดานตันอ่อน ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติ โดยส่งชิ้นวัสดุต้นแบบไปวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และค่าการต้านทานความร้อน (R) ด้วยเครื่องวัดค่าการถ่ายเทความร้อนในห้องทดลองของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมีความหนาต่างกัน 3 ขนาด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 9

วัสดุชนิดเดียวกัน ที่มีความหนาแน่น และความหนาต่างกัน จะมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนต่างกัน คุณสมบัติความเป็นฉนวนของฝ้าเพดานตันอ่อนขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความหนา ผลการทดลองสรุปได้ว่าฝ้าเพดานตันอ่อนทุกขนาดมีคุณสมบัติทางด้านความร้อนที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ใกล้เคียงกันทั้งสามขนาด อยู่ที่ 0.1285 – 0.1405 W/m.k ตามที่ได้แสดงในแผนภูมิที่ 9 และมีค่าการต้านทานความร้อนดีกว่าไม้เทียม ไม้อัด และยิปซัม บอร์ดทุกชนิด โดยฝ้าเพดานตันอ่อน 2 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนดีที่สุด จากทั้งสามขนาดตามที่ได้แสดงในแผนภูมิที่ 10 และฝ้าเพดานตันอ่อน 1 cm. มีค่าการต้านทานความร้อนที่ดีกว่ายิปซัมบอร์ดถึง 2.5 เท่า แต่เนื่องจากข้อจำกัดในกระบวนการผลิต ทำให้การควบคุมความหนาแน่นเป็นไปได้ยาก ฝ้าเพดานตันอ่อนทั้งสามขนาดจึงมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

ผลการทดลองในส่วนนี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับข้อมูลและวรรณกรรมต่างๆที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา มา ยกตัวอย่างเช่น ค่าการต้านทานความร้อน ที่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ตามแผนภูมิที่ 10 ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแตกต่างจากที่คาดการณ์ไว้เล็กน้อย ตามแผนภูมิที่ 9 สาเหตุอาจมาจากกระบวนการผลิตที่ยังไม่ได้มาตรฐานอุตสาหกรรมมากนัก

5.1.3 สรุปผลการทดลองส่วนที่ 3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในอาคารตัวอย่าง โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

5.1.3.1 ในส่วนของการจำลองการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้กับอาคารบ้านพักอาศัยชั้นเดียวทุกกรณี พบว่า การใช้ฝ้าเพดานตันอ่อนช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำความเย็นแตกต่างจากการใช้ยิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดาและวัสดุทดลองชนิดอื่นๆเป็นสัดส่วนไม่มาก อาจเป็นเพราะค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุที่ยังไม่ถึงว่าแตกต่างกันมากนัก และการเปลี่ยนแปลงเพียงแค่วัสดุฝ้าเพดานเท่านั้น จึงยังไม่ส่งผลต่อการลดอัตราการใช้พลังงานในการทำความเย็นโดยรวมของบ้านพักอาศัยมากนัก

จากแผนภูมิที่ 20 ค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นของอาคารบ้านพักอาศัยชั้นเดียวในวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งเป็นวันที่พระอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกับโลกมากที่สุด โดยจำลองแบบกรณีที่ 1 เปิดแอร์ 24 ชม. พบว่า ในช่วงเวลากลางวันบ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 6 นิ้ว จะมีการใช้พลังงานในการทำความเย็นน้อยที่สุด รองลงมาเป็นบ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว และบ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 1 นิ้ว ตามลำดับ ฝ้าทดลองอื่นๆทำให้บ้านมีการใช้พลังงานในการทำความเย็นใกล้เคียงและใช้พลังงานสูงกว่า บ้านที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด + โยแก้วทุกขนาด แต่ในช่วงเวลากลางคืนค่าการใช้พลังงานในการทำความเย็นมีความแตกต่างกันเป็นสัดส่วนน้อยมากในทุกชนิดของฝ้าเพดาน จึงทำให้ทราบว่า การติดฉนวนที่มีความหนาหลายๆ ไม่มีผลต่อการลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้กับบ้านทุกๆ ไป ที่ใช้เครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน

5.1.3.2 ส่วนของต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุน พบว่า

1. ฝ้าเพดานตันอ้อหนา 1 cm. ขนาด 60x60 cm. มีต้นทุนการผลิต = 79 บาท/แผ่น
2. ฝ้าเพดานตันอ้อหนา 1.5 cm. ขนาด 60x60 cm. มีต้นทุนการผลิต = 85 บาท/แผ่น
3. ฝ้าเพดานตันอ้อหนา 2 cm. ขนาด 60x60 cm. มีต้นทุนการผลิต = 90 บาท/แผ่น

จากการพิจารณาระยะเวลาคืนทุนพบว่า บ้านพักอาศัยที่ใช้แผ่นยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. + โยแก้ว 3 นิ้ว มีระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุชนิดอื่น โดยกรณีศึกษาที่ 1 ฝ้าเพดานตันอ้อ 1, 1.5 และ 2 cm. มีระยะเวลาคืนทุน 63.7, 41.9 และ 31.9 ปี ตามลำดับ กรณีศึกษาที่ 2 ฝ้าเพดานตันอ้อ 1, 1.5 และ 2 cm. มีระยะเวลาคืนทุน 85.8, 55.7 และ 43.2 ปี ตามลำดับ และในกรณีศึกษาที่ 3 ซึ่งเป็นกรณีศึกษาที่ใกล้เคียงกับบ้านพักอาศัยในประเทศไทยมากที่สุด ฝ้าเพดานตันอ้อพบว่า มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ค่อนข้างนาน

ในกรณีที่ใช้งานบ้านพักอาศัยทุกๆ ไป ที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศในเวลากลางคืน การใช้ฉนวนฝ้าเพดานหนา ด้วยโยแก้วจะพบว่าระยะเวลาคืนทุนสูงถึง 64 ปี ตามตารางที่ 27 เพราะบ้านมีการใส่ฉนวนที่มากเกินไป โดยไม่ได้ใช้ให้คุ้มค่ากับประสิทธิภาพของฉนวน การใช้ฉนวนหนาหลายๆ จะเหมาะกับอาคารที่ใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาที่ร้อนที่สุด เช่น ในเวลากลางวัน

โดยรวมฝ้าเพดานตันอ้อหนา 1 cm. ต้นทุนสูงกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดชนิดธรรมดาประมาณ 45 บาท/แผ่น หรือ 170 บาท/ตารางเมตร โดยราคาส่วนใหญ่มาจากกาวลาเท็กซ์ซึ่งใช้เป็นวัสดุประสาน โดยสามารถดูสัดส่วนราคาส่วนประกอบต่างๆได้จากตารางที่ 22 หากสามารถปรับเปลี่ยนวัสดุประสานนี้ได้จะทำให้ฝ้าเพดานตันอ้อมีต้นทุนที่ต่ำลงได้ ฝ้าเพดานตันอ้อเป็นวัสดุธรรมชาติ ในกระบวนการผลิตมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยกว่ายิปซัมบอร์ดมาก จึงเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่ายิปซัมบอร์ด อีกทั้งในกระบวนการผลิตยังส่งเสริมให้ชาวบ้านพึ่งพาตนเองมากขึ้น เพราะกรรมวิธีการผลิตสามารถทำได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดในเรื่องเครื่องมืออุปกรณ์ในการผลิต การผลิตวัสดุทุกขั้นตอนเป็นการทำมือ โดยไม่ใช่เครื่องจักรในระบบอุตสาหกรรม อาจทำให้มีขั้นตอนที่ซับซ้อนเล็กน้อย แต่ชาวบ้านสามารถผลิตวัสดุใช้เองได้ และเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านการผลิตทำให้วัสดุทดลอง มีความหนาแน่น (Density) ที่ไม่แน่นอน การทดลองครั้งต่อไปควรมีการควบคุมความหนาแน่นของชิ้นวัสดุให้ใกล้เคียงกัน โดยการวัดปริมาตรของส่วนผสมที่แน่นอนหรือเปลี่ยนวิธีการวางต้นอ้อ เพื่อการเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านความร้อนที่ง่ายขึ้น

5.2.2 ในส่วนของการทดลองด้วยกล่องทดลอง การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้หลอดไฟอินฟราเรดเป็นแหล่งความร้อนแทนดวงอาทิตย์ เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องสถานที่ทำการทดลอง จำนวนกล่องทดลอง และเครื่องวัดอุณหภูมิ เพราะหากต้องการวัดค่าจากวัสดุหลายชิ้นพร้อมกัน จำเป็นต้องใช้กล่องทดลอง และเครื่องวัดอุณหภูมิหลายชิ้น การทดลองครั้งต่อไปอาจมีการทดลองในสภาพท้องฟ้าจริง เพื่อศึกษาผลกระทบจากแสงอาทิตย์จริง

5.2.3 ในการทดลองนี้พบว่าต้นทุนส่วนใหญ่ในการผลิตวัสดุ มาจากเวลาเท็กซ์ซึ่งเป็นวัสดุประสาน ซึ่งเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 80 ของค่าวัสดุทั้งหมด การทดลองครั้งต่อไปควรมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุในส่วนนี้เพื่อลดต้นทุนในการผลิตชิ้นวัสดุ

5.2.4 การศึกษาครั้งนี้ได้มีการทดลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จำลองสภาพอากาศภายนอกตลอดทั้งปีเพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานในการทำความเย็นตลอดทั้งปี ภายในอาคาร ตัวอย่างเปรียบเทียบกับอาคารที่ใช้ฝ้าเพดานต้นอ้อ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงแค่วัสดุฝ้าเพดานเท่านั้น การทดลองครั้งต่อไปอาจมีการเปลี่ยนแปลงวัสดุในส่วนอื่นเพิ่มเติมด้วย

5.2.5 การศึกษาวิจัยครั้งนี้พิจารณาเฉพาะคุณสมบัติทางด้านการป้องกันความร้อนของแผ่นฝ้าเพดานเท่านั้น การทดลองครั้งต่อไปอาจศึกษาเพิ่มเติมในคุณสมบัติด้านอื่นเช่น การกันแมลง การป้องกันเพลิงไหม้ หรือเรื่องความแข็งแรงของวัสดุ เป็นต้น

5.2.6 เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านระยะเวลา ทำให้การศึกษานี้ ไม่ได้มีการทำการทดลองนำร่องอย่างละเอียด จึงทำให้ผลการทดลองออกมาผิดจากที่คาดการณ์ไว้เล็กน้อย การวิจัยครั้งต่อไปควรมีการทำการทดลองนำร่องที่ละเอียดมากขึ้น โดยเฉพาะการจำลองการใช้พลังงานในการทำความเย็นด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

5.3 การนำไปประยุกต์ใช้จริง

ฝ้าเพดานตันอ่อนได้รับการพัฒนาโดยยังคงมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนในระดับหนึ่ง จึงอาจส่งผลต่อการผลิตในปริมาณมาก การนำเข้าผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรมยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป ส่วนแนวคิดในเรื่องการใช้วัสดุที่มีช่องอากาศภายในมาเพิ่มคุณสมบัติความเป็นฉนวน โดยการนำตันอ่อนมาวางเรียงกันในเนื้อวัสดุเพียงชั้นเดียวนั้น ยังไม่ส่งผลต่อความสามารถในการป้องกันความร้อนมากนักควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยลองนำตันอ่อนหรือวัสดุที่มีช่องอากาศอื่นมาวางซ้อนกันหลายๆ ชั้น เพื่อเพิ่มปริมาณของช่องอากาศภายในตัววัสดุซึ่งจะทำให้ตัววัสดุมีความเป็นฉนวนมากขึ้น

แม้ว่าฝ้าเพดานตันอ่อนจะมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่ายิปซัมบอร์ดทั่วไป แต่เมื่อเทียบจากงานวิจัย [16] พบว่า ในกระบวนการผลิตนั้น ฝ้าเพดานตันอ่อนซึ่งทำจากไม้ธรรมชาติมีลักษณะคล้ายคลึงกับแผ่น chipboard มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกมาน้อยกว่ายิปซัมบอร์ดถึงเกือบ 4 เท่าตัว และจากการคำนวณปริมาณ Carbon Footprint โดยอาศัยอาคารอาคารตัวอย่างจากงานวิจัย [17] พบว่า ในการก่อสร้างบ้านที่มีการใช้ฝ้าเพดานตันอ่อน 1 cm. จะมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าบ้านที่มีการใช้ยิปซัมบอร์ด + โยแก้ว 6 นิ้ว ถึงประมาณ 2,139 kgCO₂ และจากการคำนวณ Carbon Footprint จากการใช้พลังงานของบ้านพักอาศัยในงานวิจัยนี้เมื่อมีการใช้งานไป 30 ปี ยังพบว่า บ้านที่ใช้ฝ้าเพดานตันอ่อน 2 cm. มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานน้อยกว่าบ้านที่มีการใช้ยิปซัมบอร์ดอย่างเดียวประมาณ 174 kgCO₂ แสดงให้เห็นว่าฝ้าเพดานตันอ่อนเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่ายิปซัมบอร์ดและโยแก้ว และยังทำให้บ้านที่ใช้ผลิตภัณฑ์นี้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นอีกด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- [1] วุฒิสวรรค์ ลิ้มปิยพันธ์, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความร้อนของผนังไม้จริงตัดขวาง, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- [2] พลพัฒน์ นิลอุบล, การพัฒนาวัสดุประกอบอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- [3] ประยูร สุรินทร์, การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากขานอ้อย, คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2544, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ.
- [4] กิตติศักดิ์ บัวศรี, การการผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว, คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2544, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ.
- [5] จักรกริสน์ พิสุตรเสียง, ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานของฉนวนใยยางพารา, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- [6] สมเจตน์ พัชรพันธ์ พัฒนะ รักความสุข ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ วรธรรม อุ๋นจิตติชัย ชลาธร จันทร์ทัตศกุนธิ สมบูรณ์วิทย์ และ รุ่งอรุณ ประเสริฐศักดิ์, การผลิตฉนวนความร้อนจากเส้นใยหญ้าแฝกและน้ำยางธรรมชาติ, คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] สโรชา เจริญวัย, การพัฒนาต้นแบบแผ่นฉนวนขึ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนและมะพร้าวที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ, คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2543, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ.
- [8] สมสิทธิ์ นิตยยะ, การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศในเขตร้อนชื้น. 2541, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [9] ปิติณัตต์ ตรีวงศ์, การประยุกต์ใช้แผ่นใยไม้อัดเป็นฝ้าเพดานกันความร้อน. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 1.
- [10] ธัญลักษณ์ จงมี, การนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน, คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2553, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา: ปทุมธานี.
- [11] ธัญชัย ปกรณ์วรกิจ ผศ.ดร.พันธุ์ดา พุฒิไพโรจน์ วรธรรม อุ๋นจิตติชัยและพรรณจิรา ทิศาวิภาต, ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 2006. 4: p. 3-13.

- [12] ผกามาศ ชูสิทธิ์ และ ภาณุเดช ชัดเงางาม, **การพัฒนาแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จากการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติจากกากมะพร้าวและต้นข้าวโพด**, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 2556, มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์: กรุงเทพฯ.
- [13] นพรัตน์ นานคงแนบ, **การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำโดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสม ระหว่างเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว**, คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2545, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ.
- [17] อรรถนัย เศรษฐบุต, **ค่าดัชนีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหัวของผู้ใช้อาคารในประเทศไทย**. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2012. **61**: p. 147-162.

ภาษาอังกฤษ

- [14] SattaPanyakaew and Steve Fotios, **New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse**. Energy and Building, 2011. **43**: p. 1732-1739.
- [15] AnabelaPaiva, S.P., Ana Sáa, Daniel Cruza, HumbertoVarumc and Jorge Pintoa, **A contribution to the thermal insulation performance characterization of corncob particleboards**. Energy and Building, 2012. **45**: p. 274-279.
- [16] Antti Ruuska, **Carbon Footprint for Building products**. Research Highlights Visions Science Technology, 2013. **115**: p. 22.



การคิดราคาวัสดุ

แผ่นไม้อัด 1 cm. ขนาด 1.2x2.4 m. ราคา 410 บาท/แผ่น = 143 บาท/m²

ยิปซัมบอร์ด 0.9 cm. ขนาด 0.6x0.6 m. ราคา 18 บาท/แผ่น = 50 บาท/m²

ยิปซัมบอร์ดชนิดทนไฟ 1.2 cm. ขนาด 1.2x2.4 m. ราคา 270 บาท/แผ่น = 94 บาท/m²

ยิปซัมบอร์ดชนิดอลูมิเนียมพอยล์ 0.9 cm. ขนาด 1.2x2.4 m. ราคา 212 บาท/แผ่น = 74 บาท/m²

ยิปซัมบอร์ดชนิดทนความชื้น 0.9 cm. ขนาด 1.2x2.4 m. ราคา 212 บาท/แผ่น = 74 บาท/m²

ใยแก้ว ตราช่าง Stay Cool 3 นิ้ว ขนาด 0.6x4 m. ราคา 450 บาท/ม้วน = 187 บาท/m²

ใยแก้ว ตราช่าง Stay Cool 6 นิ้ว ขนาด 0.6x4 m. ราคา 650 บาท/ม้วน = 271 บาท/m²

*หมายเหตุ การใช้ใยแก้วต้องปูบนฝ้ายิปซัมบอร์ด การคิดราคาจึงต้องรวมกับราคาฝ้ายิปซัมบอร์ด 0.9 cm. ด้วย จึงทำให้ต้นทุนวัสดุสูง

การคิดราคาค่าแรงติดตั้ง

ราคาค่าติดตั้งฝ้าฉาบเรียบ

พื้นที่น้อยกว่า 200 m² = 250 บาท/m² (ค่าแรง+วัสดุ)

พื้นที่น้อยกว่า 200 m² = 75 บาท/m² (ค่าแรงอย่างเดียว)

ราคาค่าติดตั้งฝ้าทีบาร์

พื้นที่น้อยกว่า 200 m² = 250 บาท/m² (ค่าแรง+วัสดุ)

พื้นที่น้อยกว่า 200 m² = 50 บาท/m² (ค่าแรงอย่างเดียว)

ค่าแรงปูใยแก้ว = 50 บาท/m² (ค่าแรงอย่างเดียว)

อลูมิเนียมโครงทีบาร์ยาว 4 เมตร ราคา = 105 บาท

ค่าเหล็กตัวซี สำหรับทำฝ้าฉาบเรียบยาว 4 เมตร ราคา = 50 บาท

ตารางที่ 24 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิผิวภายนอกกับภายในวัสดุ(ΔT)ในแต่ละช่วงเวลา ($^{\circ}\text{C}$).

นาที	ยิปซัมบอร์ด 0.9 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1.5 cm.	ฝ้าตันอ้อ 2 cm.
0	0.7	0.5	0.3	0.1
8	3.5	7.9	8.6	11.7
16	4.8	10.4	13.5	15.8
24	5.3	11.2	14.4	17.6
32	5.4	11.5	16.1	18.5
40	5.4	11.8	16.7	19.3
48	5.6	11.6	16.7	19.4
56	5.2	11.7	16.8	19.2
64	5.5	11.7	16.9	19.5
72	5.5	11.7	16.3	19.6
80	5.4	11.7	17.2	19.5
88	5.4	11.8	17.7	19.3
96	5.5	11.8	17.7	19.7
104	5.6	11.7	18	19.8
112	5.9	11.8	17.8	19.5
120	5.5	11.6	18.1	19.4
128	5.4	11.7	18	19.6
136	5.4	11.6	17.7	19.8
144	5.3	12	17.6	19.8
152	5.6	12.1	18	20.2
160	5.7	11.7	17.9	20.2
168	5.2	11.8	18	20
176	5.4	11.9	18	20.3
184	5.2	11.9	18.3	20.2
192	5.6	11.9	18.4	20.3
200	5.7	12.1	18.2	20.5
208	5.3	11.7	18.3	20.4
216	5.9	12	18.5	20.4
224	5.3	11.9	18.3	20.4
232	5.3	11.9	18.4	20.5
240	5.6	11.7	18.2	19.9
248	1.9	5.7	8.4	11.6
256	0.7	2.7	5.2	7.2

ตารางที่ 24 แสดงค่าความแตกต่างอุณหภูมิผิวภายนอกกับภายในวัสดุ(ΔT)ในแต่ละช่วงเวลา($^{\circ}\text{C}$)(ต่อ)

นาที	ยิปซั่มบอร์ด 0.9 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1.5 cm.	ฝ้าตันอ้อ 2 cm.
264	0.5	1.7	3.4	4.8
272	0.3	1.4	2.5	3.5
280	0.3	1.1	1.9	2.7
288	0.3	1.1	1.5	2.3
296	0.3	1	1.5	1.9
304	0.3	1	1.3	1.7
312	0.3	1.1	1.2	1.7
320	0.3	1	1.1	1.7
328	0.3	0.9	1.1	1.7
336	0.3	1	1.1	1.7
344	0.2	0.9	1.1	1.7
352	0.2	0.9	1.3	1.8
360	0.2	1	1.1	1.8
368	0.2	0.9	1.2	1.8
376	0.2	0.9	1.2	1.7
384	0.2	0.9	1.2	1.7
392	0.2	1	1.1	1.9
400	0.2	0.9	1	2
408	0.2	0.8	1.1	2
416	0.2	0.7	1	1.8
424	0.2	0.7	1	2
432	0.3	0.5	1.1	2
440	0.3	0.6	0.9	1.9
448	0.3	0.8	0.9	1.7
456	0.1	0.6	1	1.7
464	0.2	0.8	0.6	1.6
472	0.3	0.9	1.1	1.4
480	0.2	0.4	1.1	1.3

ตารางที่ 25 ค่าการต้านทานความร้อน (R) ($m^2 \cdot k/W$) ของวัสดุ ในแต่ละช่วงเวลา

นาที	อิปซิมบอร์ด 0.9 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1.5 cm.	ฝ้าตันอ้อ 2 cm.
0	0.083	0.080	0.080	0.079
8	0.087	0.107	0.111	0.123
16	0.089	0.114	0.127	0.135
24	0.089	0.116	0.126	0.140
32	0.090	0.115	0.133	0.143
40	0.089	0.117	0.133	0.147
48	0.089	0.115	0.134	0.143
56	0.088	0.115	0.136	0.141
64	0.088	0.113	0.132	0.144
72	0.087	0.113	0.131	0.143
80	0.088	0.113	0.135	0.143
88	0.088	0.115	0.138	0.142
96	0.088	0.115	0.135	0.144
104	0.087	0.115	0.139	0.145
112	0.089	0.115	0.137	0.143
120	0.087	0.114	0.140	0.142
128	0.088	0.114	0.140	0.143
136	0.087	0.113	0.137	0.143
144	0.087	0.114	0.137	0.143
152	0.089	0.115	0.139	0.146
160	0.089	0.113	0.139	0.144
168	0.087	0.114	0.139	0.144
176	0.087	0.113	0.139	0.145
184	0.087	0.115	0.140	0.147
192	0.088	0.113	0.139	0.146
200	0.088	0.115	0.139	0.146
208	0.087	0.113	0.140	0.146
216	0.089	0.114	0.141	0.146
224	0.087	0.114	0.139	0.147
232	0.087	0.114	0.141	0.147
240	0.088	0.113	0.137	0.144
248	0.077	0.092	0.102	0.115
256	0.075	0.084	0.093	0.101

ตารางที่ 25 ค่าการต้านทานความร้อน (R) ($m^2 \cdot k/W$) ของวัสดุ ในแต่ละช่วงเวลา(ต่อ)

นาทื	อิปซั่มบอร์ด 0.9 cm.	ฝ้าตัน้อ 1 cm.	ฝ้าตัน้อ 1.5 cm.	ฝ้าตัน้อ 2 cm.
264	0.076	0.081	0.088	0.094
272	0.076	0.081	0.084	0.090
280	0.077	0.080	0.083	0.087
288	0.077	0.081	0.082	0.086
296	0.078	0.080	0.083	0.084
304	0.078	0.080	0.081	0.083
312	0.078	0.081	0.082	0.084
320	0.078	0.081	0.080	0.083
328	0.078	0.081	0.081	0.082
336	0.077	0.081	0.081	0.083
344	0.078	0.081	0.081	0.083
352	0.078	0.080	0.082	0.083
360	0.078	0.082	0.081	0.082
368	0.078	0.081	0.082	0.083
376	0.078	0.081	0.082	0.083
384	0.077	0.080	0.083	0.083
392	0.078	0.082	0.083	0.083
400	0.077	0.081	0.081	0.085
408	0.078	0.080	0.080	0.084
416	0.078	0.080	0.081	0.083
424	0.077	0.080	0.081	0.083
432	0.078	0.080	0.081	0.084
440	0.078	0.079	0.081	0.083
448	0.078	0.080	0.081	0.083
456	0.077	0.080	0.080	0.083
464	0.078	0.080	0.079	0.082
472	0.079	0.080	0.081	0.081
480	0.078	0.078	0.083	0.080

ตารางที่ 26 ปริมาณความร้อน (Q)(วัตต์) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในแต่ละช่วงเวลา

นาที	ยิปซัมบอร์ด 0.9 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1 cm.	ฝ้าตันอ้อ 1.5 cm.	ฝ้าตันอ้อ 2 cm.
0	669.296	684.306	673.196	680.603
8	732.236	721.340	710.230	717.637
16	758.152	743.560	736.154	747.264
24	780.366	750.967	765.781	758.374
32	772.961	762.077	762.077	758.374
40	780.366	758.374	776.891	754.671
48	784.068	765.781	769.484	776.891
56	780.366	769.484	762.077	788.001
64	791.473	780.594	784.298	776.891
72	798.877	780.594	780.594	780.594
80	787.770	780.594	776.891	780.594
88	791.473	773.188	769.484	784.298
96	791.473	773.188	788.001	780.594
104	806.282	769.484	773.188	776.891
112	795.175	773.188	776.891	780.594
120	798.877	773.188	769.484	784.298
128	791.473	776.891	765.781	784.298
136	795.175	776.891	773.188	788.001
144	795.175	780.594	773.188	788.001
152	787.770	776.891	769.484	776.891
160	791.473	780.594	769.484	791.705
168	787.770	780.594	773.188	788.001
176	795.175	788.001	773.188	788.001
184	787.770	773.188	773.188	773.188
192	795.175	784.298	776.891	780.594
200	795.175	780.594	776.891	784.298
208	795.175	780.594	773.188	784.298
216	795.175	780.594	773.188	784.298
224	798.877	776.891	776.891	780.594
232	798.877	776.891	769.484	780.594
240	798.877	780.594	784.298	784.298
248	769.259	762.077	765.781	762.077
256	739.640	732.450	739.857	739.857

ตารางที่ 26 ปริมาณความร้อน (Q)(วัตต์) ที่ถ่ายเทผ่านวัสดุในแต่ละช่วงเวลา(ต่อ)

นาทื	ยิปซัมบอร์ด 0.9 cm.	ฝ้าตัน้อ 1 cm.	ฝ้าตัน้อ 1.5 cm.	ฝ้าตัน้อ 2 cm.
264	721.129	717.637	717.637	721.340
272	713.724	710.230	721.340	710.230
280	702.617	702.823	706.526	702.823
288	702.617	695.416	702.823	702.823
296	695.212	699.120	699.120	702.823
304	695.212	702.823	702.823	702.823
312	695.212	695.416	695.416	695.416
320	691.510	691.713	706.526	699.120
328	695.212	688.009	695.416	710.230
336	698.915	691.713	695.416	702.823
344	691.510	691.713	695.416	702.823
352	687.808	702.823	695.416	710.230
360	691.510	688.009	699.120	713.933
368	691.510	688.009	691.713	710.230
376	691.510	688.009	695.416	702.823
384	695.212	695.416	684.306	706.526
392	691.510	684.306	680.603	706.526
400	695.212	688.009	691.713	699.120
408	691.510	691.713	706.526	702.823
416	687.808	695.416	695.416	702.823
424	695.212	695.416	695.416	710.230
432	695.212	684.306	695.416	706.526
440	695.212	695.416	688.009	706.526
448	691.510	691.713	691.713	702.823
456	695.212	684.306	706.526	699.120
464	691.510	691.713	695.416	710.230
472	687.808	699.120	699.120	706.526
480	691.510	699.120	684.306	710.230

ตารางที่ 27 ตารางคำนวณ Carbon Footprint จากปริมาณวัสดุในการก่อสร้างบ้านที่ใช้ฝ้ายิปซัมบอร์ด + ใยแก้ว 6 นิ้ว

วัสดุ [บ้านพักอาศัย 264 ตรม.]	ปริมาณที่ใช้ในอาคาร		น้ำหนัก	Embodied Energy	Embodied carbon
		หน่วย	กก./หน่วย	Mj/kg	kgCO2
คอนกรีต	88.53	ลบ.ม.	2,400.00	0.75	26,294.18
เหล็กRB6	2,155.80	เมตร	0.22	17.40	1,361.65
เหล็กDB12	2,477.20	เมตร	2.47	17.40	17,566.74
อิฐมอญ	239.36	ตร.ม.	360.00	3.00	42,653.95
ปูนฉาบ	4.79	ลบ.ม.	2,403.00	0.82	1,556.44
เหล็กโครงหลังคา (2x6)	110.80	เมตร	26.00	21.50	10,219.64
เหล็กโครงหลังคา (2x4)	185.30	เมตร	19.10	22.50	13,139.39
เหล็กโครงหลังคา (1x2)	557.90	เมตร	10.10	23.50	21,848.90
กระเบื้องหลังคาซีแพคโมเนีย	204.38	ตร.ม.	81.75	37.00	102,005.23
ใยแก้ว	218.49	ตร.ม.	1.80	28.00	1,816.96
ฝ้ายิปซัมบอร์ด	218.49	ตร.ม.	6.25	1.80	405.57
ฝ้าซีเมนต์แผ่นเรียบ	0.18	ลบ.ม.	1,260.00	10.40	390.14
โครงฝ้า	329.50	เมตร	5.00	21.50	5,844.51
พื้นไม้	94.39	ตร.ม.	14.00	10.00	2,180.41
พื้นกระเบื้องเซรามิค	124.10	ตร.ม.	1.93	12.00	474.24
วงกบและบานกรอบอลูมิเนียม	474.90	เมตร	0.16	214.00	2,716.53
ลูกฟูกกระจกใส	52.08	ตร.ม.	14.60	15.00	1,881.91
วงกบประตูไม้	29.60	ลบ.ม.	510.00	10.00	24,908.40
ประตูไม้	4.08	ตร.ม.	408.00	10.00	2,746.66
ประตูMDF	0.18	ลบ.ม.	900.00	11.00	299.91
รวม					280,311.36

ตารางที่ 28 ตารางคำนวณ Carbon Footprint จากปริมาณวัสดุในการก่อสร้างบ้านที่ใช้ฝ้าเพดาน
 ตันอ้อ 1 cm.

วัสดุ [บ้านพักอาศัย 264 ตรม.]	ปริมาณที่ใช้ในอาคาร		น้ำหนัก	Embodied Energy	Embodied carbon
		หน่วย	กก./หน่วย	Mj/kg	kgCO2
คอนกรีต	88.53	ลบ.ม.	2,400.00	0.75	26,294.18
เหล็กRB6	2,155.80	เมตร	0.22	17.40	1,361.65
เหล็กDB12	2,477.20	เมตร	2.47	17.40	17,566.74
อิฐมอญ	239.36	ตร.ม.	360.00	3.00	42,653.95
ปูนฉาบ	4.79	ลบ.ม.	2,403.00	0.82	1,556.44
เหล็กโครงหลังคา (2x6)	110.80	เมตร	26.00	21.50	10,219.64
เหล็กโครงหลังคา (2x4)	185.30	เมตร	19.10	22.50	13,139.39
เหล็กโครงหลังคา (1x2)	557.90	เมตร	10.10	23.50	21,848.90
กระเบื้องหลังคาซีแพคโมเนีย	204.38	ตร.ม.	81.75	37.00	102,005.23
ฝ้าเพดานตันอ้อ 1 cm.	218.49	ตร.ม.	5.15	0.45	83.55
ฝ้าซีเมนต์แผ่นเรียบ	0.18	ลบ.ม.	1,260.00	10.40	390.14
เคร่าฝ้า	329.50	เมตร	5.00	21.50	5,844.51
พื้นไม้	94.39	ตร.ม.	14.00	10.00	2,180.41
พื้นกระเบื้องเซรามิค	124.10	ตร.ม.	1.93	12.00	474.24
วงกบและบานกรอบอลูมิเนียม	474.90	เมตร	0.16	214.00	2,716.53
ลูกฟูกกระจากไผ่	52.08	ตร.ม.	14.60	15.00	1,881.91
วงกบประตูไม้	29.60	ลบ.ม.	510.00	10.00	24,908.40
ประตูไม้	4.08	ตร.ม.	408.00	10.00	2,746.66
ประตูMDF	0.18	ลบ.ม.	900.00	11.00	299.91
รวม					278,172.38

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสารัช สุภกรรม เกิดวันศุกร์ที่ 6 เมษายน พ.ศ.2533 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนศิลาจารย์พัฒนา จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ในปีการศึกษา 2555 และได้เข้ารับการศึกษาดูในหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในสาขาวิชาสถาปัตยกรรม ในปีการศึกษา 2555

