



ฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากฟางข้าว Rice Straw Insulation Sheet

วรรณวิทย์ เต็มทอง

Wannawit Taemthong

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* Correspondent author: wannawit@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการผลิตวัสดุที่สามารถใช้เป็นฉนวนกันความร้อนในผนัง และบนฝ้าเพดาน จากการทำวิจัยเชิงทดลองกับวัสดุธรรมชาติหลายชนิด ได้แก่ ผักตบชวา ชานอ้อย และฟางข้าว นำมาทดลองผสมกับวัสดุผสม ได้แก่ ดินเหนียว ยิปซัม และกาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ นอกจากนี้ยังได้ออกแบบเครื่องมือเพื่ออัดขึ้นรูปแผ่นฉนวนขนาด 60x60x3 cm. จากการทดลองพบว่าเมื่อนำฟางข้าว และกาวยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ มาคลุกเคล้ากันและอัดให้ได้ความหนาแน่น 275 kg/m³ โดยประมาณ ฉนวนดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ผลิตเป็นฉนวนเพื่อนำมาติดตั้งที่รอบอาคาร โดยฉนวนฟางข้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 0.153 W/m²•K สามารถกันความร้อนได้ 2.7°C ในเวลากลางวัน ในขณะที่ฉนวนยิปซัมมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 0.197 W/m²•K สามารถกันความร้อนได้ถึง 3.6°C จากการทดลองที่อาคารจริงภายใต้สภาวะเดียวกัน ในขณะที่ต้นทุนการผลิตแผ่นฉนวนฟางข้าวอยู่ที่ 237 บาท/m² ซึ่งถูกกว่าฉนวนยิปซัมหนา 3 นิ้วประมาณ 25%

Abstract

The objective of this research is to produce insulation sheet made from natural materials for walls and ceilings. The natural materials used in this research were java weed, bagasse, and rice straw, while combine materials were clays, gypsum powders, and urea formaldehyde resin. A production of an insulator is made by compressing mixed raw material in a mold with a hydraulic jack. A size of the sheet is 60x60x3 centimeters. An appropriated insulation sheet, found in this research, is made from rice straw and urea formaldehyde resin with a density of 275 kg/m³. Production cost of the sheet is 237 Baht/m², which is 25% cheaper than the fiber glass insulator. The rice straw insulator is moderately good for using as insulation comparing to the fiber glass. It has a thermal transmittance coefficient of 0.153 W/m²•K and can withstand heat for 2.7°C, whereas the fiber glass has thermal transmittance coefficient of 0.197 W/m²•K and can withstand heat for 3.6°C by measuring temperature at ceiling of a building under the same conditions.

คำสำคัญ: ฉนวน, วัสดุ, ธรรมชาติ

Keywords: insulation, material, natural

1. บทนำ

ผนัง และ หลังคาเปรียบเสมือน เสื้อผ้าของมนุษย์ อุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมของบ้านคือ 22-27 °C และ 20-75% ตามลำดับ (1) วัสดุฉนวนควรมีคุณสมบัติทางการนำความร้อนต่ำ (Low Thermal Conductivity) ดูดซึมความชื้นได้ต่ำ และเป็นแผ่นที่มีความแข็งแรงพอ และราคาพอสมควร แต่คุณสมบัติทางการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี และกำลังแผ่นวัสดุแข็งแรง มักไม่มีอยู่ในวัสดุก่อสร้างชนิดเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติทางการเป็นฉนวนกันความร้อนขึ้นอยู่กับปริมาณของช่องว่างหรือความพรุน ฉนวนกันความร้อนถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ฉนวนมวลสาร และฉนวนสะท้อนความร้อน (2)

Nankongnab (3) ได้ผลิตขึ้นการศึกษาการผลิตไม้อัดจากเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าว พบว่าอัตราส่วนผสมและความหนาแน่นมีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดโดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกทุเรียนและใยมะพร้าวคือ 1:9 โดยน้ำหนัก ที่ความหนาแน่นเท่ากับ 856 kg/m³ ซึ่งจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.134 W/m•K ทำให้ไม้อัดชนิดนี้มีค่าการนำความร้อนต่ำสามารถนำมาใช้เป็นฉนวนของกำแพงและฝ้าเพดาน Panyawai (4) ได้ผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ได้จากเปลือกมะพร้าว แกลบ ชั่งข้าวโพด ผักตบชวา โดยนำวัสดุทั้ง 4 ชนิดมาทำให้แห้งและผสมกันที่อัตราส่วนอย่างละ 25% โดยน้ำหนัก โดยการใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของขึ้นพาร์ทิเคิลแห้ง เพื่อเป็นสารยึดติดในการผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน และในการอัดแผ่นฉนวนกันความร้อนกระทำโดยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 130 °C ความดันในการบีบอัดเพื่อขึ้นรูป 150 kg/m² ใช้เวลาในการอัด 5 นาที แผ่นฉนวนที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบขึ้นเดียวขนาด กว้าง 350 mm ยาว 350 mm และหนา 10 mm ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจาก เปลือกมะพร้าว แกลบ ชั่งข้าวโพด ผักตบชวา เมื่อนำวัสดุทั้ง 4 ชนิดผสมกันที่อัตราส่วนอย่างละ 25% จัดเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง ซึ่งพิจารณาจากค่าการนำความร้อน อยู่

ระหว่าง 0.042 ถึง 0.091 W/m•K ส่วนการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ และสมบัติเชิงกล สรุปได้ว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นมาก จะมีค่าคุณสมบัติตามมาตรฐาน JIS A 5905-1994 ของแผ่นที่ดีกว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีความหนาแน่นน้อย

จากการศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนที่มีวัสดูธรรมชาติเป็นส่วนผสม มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ ติดตั้งง่าย และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าฉนวนกันความร้อนทั่วไปในท้องตลาด

2. วิธีวิจัย

การศึกษาค้นคว้านี้มีแผนการวิจัย ดังนี้ เริ่มจากการเลือกวัสดูธรรมชาติ 3 ชนิด โดยต้องเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากภาคการเกษตรหรือวัชพืช ได้แก่ ฟางข้าว ผักตบชวา และชานอ้อย และวัสดูประสาน 3 ชนิด โดยเป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นตัวประสานในงานขึ้นรูปวัสดูธรรมชาติ ได้แก่ ดินเหนียว ผงยิปซัม กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เรซินเกรด EU 617 มาทำการผสมและขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนเพื่อหาว่าวัสดูธรรมชาติและวัสดูประสานชนิดใดที่มีความเหมาะสมในการผลิตฉนวนกันความร้อน เมื่อได้วัสดูธรรมชาติที่เหมาะสมแล้วดำเนินการหาความหนาแน่นที่เหมาะสมในการกันความร้อน เพื่อดำเนินการผลิตและติดตั้งบนฝ้าเพดานใต้หลังคาของอาคารจริงเพื่อหาคุณสมบัติของแผ่นฉนวนที่ผลิตและเพื่อเก็บข้อมูลค่าส่งผ่านความร้อนของฝ้าเพดาน

2.1 วัสดุทางธรรมชาติและวัสดูประสาน

ฟางข้าว ต้องมีลักษณะเป็นเส้นใยที่แห้งสนิท สีเหลืองหรือสีน้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลแก่ โดยมีขนาดความยาวประมาณ 5-10 cm ชานอ้อย ส่วนที่นำมาใช้คือ ส่วนของลำต้นขนาดของเส้นใยมีความยาวประมาณ 1-5 cm โดยผ่านการปลอกเปลือก คั้นน้ำออกจนหมด และตากแดดให้แห้งสนิท ลักษณะของเส้นใยค่อนข้างแข็ง มีสีขาวขมพูอ่อนหรือเหลืองอ่อน และผักตบชวา ส่วนที่นำมาใช้ในการหล่อเป็นแผ่นฉนวนกันความร้อนคือส่วนลำต้น

ผ่านการตากแดดจนแห้งสนิท ฉีกให้ขนาดของเส้นใย เล็กกลง และมีขนาดความยาวของเส้นใยประมาณ 5-10 cm

ดินเหนียว ดินที่นำมาใช้เป็นดินเหนียวที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม หรือที่ใช้ในการปั้นหม้อ มีลักษณะคือสีออกเทาดำ มีความสามารถในการขึ้นรูปได้ และไม่มีกลิ่นเหม็น ผงยิปซัม ลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ไม่มีกลิ่น กายูเรียฟอर्मัลดีไฮด์เรซิน ผสมร่วมกับ สารบ่มแข็ง (Hardener) ซึ่งใช้โดยทั่วไปในการผลิตแผ่นไม้อัด แผ่นพาร์ทิเคิล แผ่นใส่ไม้ระแนง และนิยมใช้กันมากในการปิดผิวไม้บางบนงานเครื่องเรือน เป็นกาวที่เหมาะสมต่อการใช้งาน ทนทานต่อความชื้น แต่ไม่ต้านทานน้ำ ลักษณะเหลว สีขาวขุ่น มีคุณสมบัติ ในการยึดติด ทำหน้าที่ประสานวัสดุทางธรรมชาติ ส่วนสารบ่มแข็ง (Hardener) ที่ใช้ผสม เป็นสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 25% มีคุณสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้กายูเรียฟอर्मัลดีไฮด์ แข็งตัวเร็วขึ้น และน้ำที่ใช้จะต้องสะอาด ปราศจากสิ่งเจือปน

2.2 เครื่องอัดขึ้นรูปและการทำแผ่นฉนวน

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการผลิตเครื่องอัดแผ่นฉนวนขึ้นมาสองรุ่น โดยรุ่นแรก สามารถผลิตแผ่นฉนวนได้ประมาณวันละ 1-2 แผ่น ส่วนในรุ่นที่ 2 นั้นสามารถผลิตแผ่นฉนวนได้เร็วขึ้น ประมาณวันละ 8-10 แผ่น เครื่องอัดแผ่นฉนวนกันความร้อนทั้งสองรุ่นใช้ในการอัดขึ้นรูปแผ่นฉนวนกันความร้อนขนาด กว้าง 60 cm ยาว 60 cm หนา 3 cm

เตรียมเครื่องอัดแผ่นฉนวนกันความร้อน โดยการทำความสะอาดและทาน้ำมันเคลือบที่ผิวแบบให้ทั่ว เพื่อไม่ให้วัสดุประสานติดแบบ จากนั้นจัดเตรียมวัสดุธรรมชาติและวัสดุประสานตามที่ได้อธิบายไว้ในรายงานฉบับสมบูรณ์ของงานวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการกันความร้อนที่กรอบอาคารโดยใช้วัสดุธรรมชาติเป็นฉนวน (5) นำวัสดุเส้นใยธรรมชาติและวัสดุประสานแต่ละชนิดที่เตรียมไว้คลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดกำลัง 10 ton ทิ้งไว้ในแบบประมาณ 1 คืนเพื่อให้วัสดุประสานมีการยึดเกาะกับเส้นใย แล้วจึงนำออกจากแบบตากแดดทิ้งไว้จนแห้งประมาณ 1 วันและนำเก็บไว้ในที่แห้ง จะได้แผ่นฉนวนดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. แผ่นฉนวนกันความร้อนหลังจากตากแดด

2.3 การเลือกวัสดุธรรมชาติและวัสดุประสาน

ชนิดของแผ่นที่ผลิตขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบมีความหนาแน่นแห้งของแผ่นฉนวน ดัง แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยค่าความหนาแน่นเป็นค่าที่เฉลี่ยจากน้ำหนักต่อปริมาตรของแผ่นฉนวน จำนวน 3 แผ่น

ตารางที่ 1. ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นฉนวนแต่ละชนิด

ลำดับที่	ชนิดของแผ่นฉนวนกันความร้อน	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m ³)
1	ฟางข้าว + ดินเหนียว (FD)	616.2
2	ฟางข้าว + ยิปซั่ม (FG)	576.7
3	ฟางข้าว + กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (FU)	228.6
4	ฝักตบชวา + ดินเหนียว (JD)	497.1
5	ฝักตบชวา + ยิปซั่ม (JG)	388.2
6	ฝักตบชวา + กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (JU)	377.1
7	ชานอ้อย + ยิปซั่ม (SG)	485.8
8	ชานอ้อย + กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (SU)	238.1

2.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

กล่องทดสอบการถ่ายเทความร้อน มีขนาดความกว้าง 60 cm ยาว 120 cm สูง 60 cm ภายในกล่องบุด้วยฉนวนใยแก้วขนาดความหนา 2.5 cm โดยรอบ และติดตั้งหลอดไฟขนาด 300 Watt จำนวน 1 หลอดไว้ภายในกล่อง ดังแสดงในรูปที่ 2 ในขณะที่ทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิที่แตกต่างกันทั้งสองด้านของแผ่นฉนวนด้วยชุดเครื่องมือวัดอุณหภูมิ และบันทึกอุณหภูมิ จำนวน 1 ชุด สำหรับวัดค่าอุณหภูมิในตำแหน่ง ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3 และบันทึกข้อมูลลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยที่ T1 หมายถึง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของกล่องทดสอบในด้านที่ให้ความร้อน T2 หมายถึง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งผิวของชั้นทดสอบในด้านที่ให้ความร้อน T3 หมายถึง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งผิวของชั้นทดสอบในด้านเย็น T4 หมายถึง อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของกล่องทดสอบในด้านเย็น และ T5 หมายถึง อุณหภูมิห้องซึ่งอยู่ภายนอกกล่องทดสอบ



รูปที่ 2. แสดงภาพกล่องทดสอบการถ่ายเทความร้อน

2.3.2 ผลการทดสอบเบื้องต้น

จากการทดสอบเปรียบเทียบทั้งด้านความหนาแน่น และการถ่ายเทความร้อนของแผ่นฉนวนทั้ง 8 ชนิดภายในกล่องทดสอบพบว่า แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากฟางข้าวประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะมีผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี คือมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด 228.6 kg/m³ (ตารางที่ 1) และมีการป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดีเป็นอันดับ 2 คือ 28.3 °C ดังแสดงในตารางที่ 2 รองลงมาคือแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากชานอ้อยประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ แม้ว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากฝักตบชวาประสานด้วยยิปซั่ม

จะทำให้การป้องกันการถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ 30.9 °C แต่เนื่องจากผักตบชวาเป็นวัสดุที่มีความชื้นคงค้างอยู่ในตัววัสดุมาก เนื่องจากขณะที่ทดสอบนั้นพบว่ามียุคน้ำเกาะอยู่ที่แผ่นพลาสติกด้านหน้าของผู้ตั้งนั้นเมื่อมีการนำวัสดุนี้ไปใช้งานในระยะยาวอาจมีการเสื่อมสภาพได้ง่าย

ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากฟางข้าวประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ และแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากขานอ้อยประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อทดสอบหาความหนาแน่นที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นฉนวนต่อไป

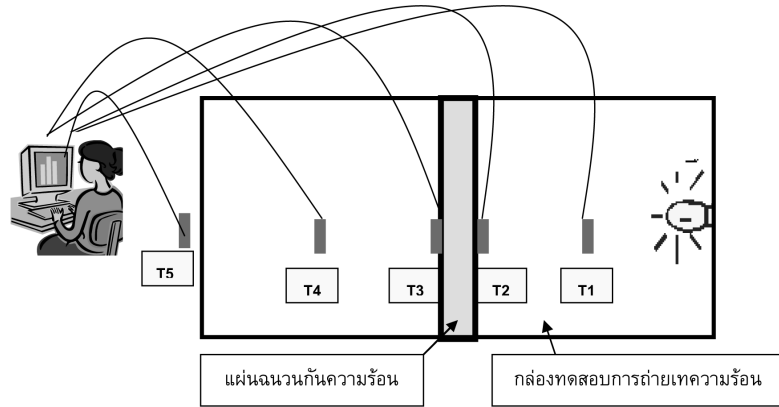
ตารางที่ 2. การเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ T2 และ T3 (°C)

	ฟางข้าว	ผักตบชวา	ขานอ้อย
ดินเหนียว	25.8	28.1	—
ยิปซั่ม	24.3	30.9	28.1
กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	28.3	24.5	28.1

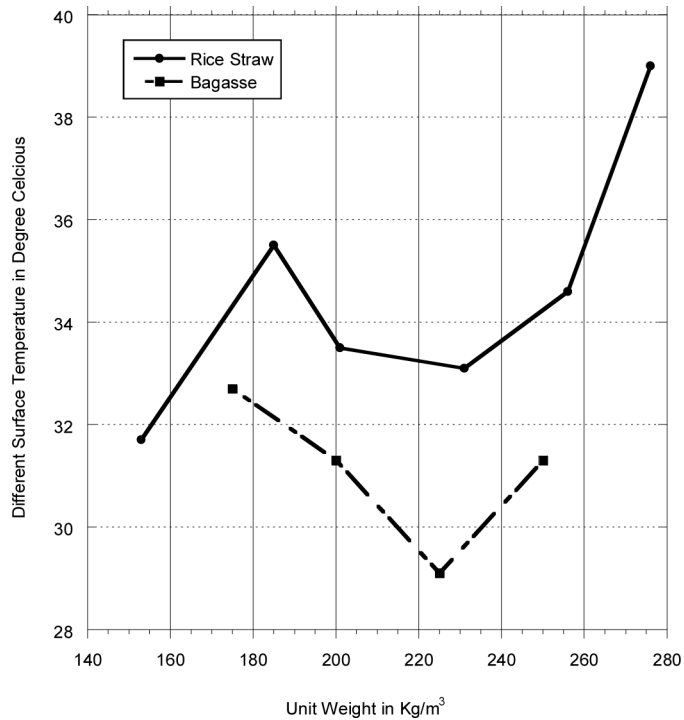
2.4 การหาความหนาแน่นที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปขึ้นทดสอบแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากฟางข้าวประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ตั้งแต่ 150 kg/m³ จนถึง 275 kg/m³ รวมทั้งหมด 18 แผ่น ส่วนแผ่นฉนวนที่ความหนาแน่นมากกว่า 275 kg/m³ ไม่ได้จัดทำเพราะเกินความสามารถของเครื่องอัดแผ่นในครั้งนี้ สำหรับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากขานอ้อยประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปขึ้นทดสอบจำนวน 12 แผ่น ที่ความหนาแน่นแตกต่างกัน ตั้งแต่ 175 kg/m³ จนถึง 250 kg/m³ เมื่อนำความแตกต่างของอุณหภูมิ T2 และ T3 ณ ตำแหน่งที่ตั้งแสดงในรูปที่ 3 ของแผ่นฉนวนทั้งสองชนิดจากการทดสอบการถ่ายเทความร้อน มาเปรียบเทียบ ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่าแผ่นฉนวนฟางข้าว ที่ความหนาแน่นประมาณ 275 kg/m³ มีความเหมาะสมที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยได้เลือกผลิตฉนวนที่คุณสมบัติดังกล่าวเพื่อ นำไป

ติดตั้งที่ฝ้าเพดานและทดสอบคุณสมบัติโดยละเอียดต่อไป จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเส้นใยฟางข้าวมีความละเอียดสามารถอัดได้แน่น ยกเว้นชั้นที่ 185 kg/m³ ซึ่งเกิดจากการผลิตแผ่นที่คุณภาพไม่สม่ำเสมอมีการเรียงตัวแน่นในบางตำแหน่ง ในส่วนของแผ่นขานอ้อยนั้นแนวโน้มของการต้านทานความร้อนจะลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากขานอ้อยมีขนาดใหญ่กว่าฟางข้าว เมื่อนำมาอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นจะเกิดช่องโหว่ในบางตำแหน่งของแผ่น ทำให้อากาศร้อนถ่ายเทไปด้านเย็นได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มการต้านทานความร้อนของฟางข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นของแผ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่การต้านทานความร้อนของขานอ้อยจะลดลงเมื่อความหนาแน่นของแผ่นเพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ผลิตแผ่นกันความร้อนที่ทำจากฟางข้าวที่ความหนาแน่น 275 kg/m³ ไปทำการเปรียบเทียบกับฉนวนกันความร้อนที่มีขายในท้องตลาด



รูปที่ 3. แสดงการติดตั้งตำแหน่งของแผ่นทองแดงวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)



รูปที่ 4. การเปรียบเทียบความแตกต่างอุณหภูมิผิวของแผ่นฉนวน 2 ชนิด

2.5 คุณสมบัติทางกายภาพและการกันความร้อนของแผ่นฉนวน

ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพของฉนวนจากฟางข้าวในด้านความหนาแน่น ความชื้น การพองตัว ความต้านทานแรงคัด และโมดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยจาก 3 ชั้นทดสอบ พบว่าแผ่นฉนวนชุดที่ทำการทดสอบ

มีความหนาแน่นของฉนวนเฉลี่ย 263.7 kg/m³ มีค่าปริมาณความชื้น 8.6% ซึ่งอยู่ในช่วงค่าตามมาตรฐาน JIS A5905-1994 คือ 3-12% มีค่าการพองตัว 6.2% ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานการพองตัวตามมาตรฐาน JIS A 5905-1994 ที่ 12% มีค่าความต้านทานแรงคัด 49 kg/cm² และมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 3,297 kg/cm²

ผลการทดสอบคุณสมบัติการกันความร้อนใช้การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Guarded Hot Box) ตามมาตรฐาน ASTM C 236 ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบคุณสมบัติการกันความร้อนของวัสดุก่อสร้างต่างประเภทต่างความหนา ตารางที่ 3 แสดงอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบแผ่นฉนวนฟางข้าวประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ที่ความหนาแน่น 275 kg/m³ เปรียบเทียบกับฉนวนใยแก้วซึ่งได้รับความนิยมใช้ และแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 mm โดยทำการทดลองวัสดุแต่ละชนิดจำนวน 3 ครั้งโดยใช้วัสดุแผ่นเดิมในกล่องทดสอบ จากนั้นนำค่าอุณหภูมิที่ได้และค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ไปหาสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของแต่ละการทดลองด้วยสมการที่ 1 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (k) ของวัสดุเฉลี่ย 3 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ฉนวนฟางข้าวมีค่า k เฉลี่ยเท่ากับ 0.153 W/m•K ฉนวนใยแก้วมีค่า k เฉลี่ยเท่ากับ 0.197 W/m•K และแผ่นยิปซัมบอร์ดหนา 9 mm มีค่า k เฉลี่ยเท่ากับ 0.207

W/m•K โดยค่าที่ได้จากการทดสอบนี้ไม่ตรงกับข้อมูลจากผู้ผลิตเนื่องจากวิธีทดสอบและเครื่องทดสอบในแต่ละห้องทดสอบอาจให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ใช้เครื่องทดสอบตัวเดียวกันทุกการทดลอง ในส่วนของความหนาของวัสดุที่แตกต่างกันนั้นได้มีการคำนึงถึงตัวแปร L ในสมการที่ 1 แล้ว

$$k = \frac{qL}{A(T_h - T_c)} \tag{1}$$

โดยที่

- k = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m•K)
- q = ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ (W)
- L = ความหนาของวัสดุ (m)
- A = พื้นที่ของแผ่นทดสอบที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน (m²)
- T_h = อุณหภูมิทางด้านร้อน (K)
- T_c = อุณหภูมิทางด้านเย็น (K)

ตารางที่ 3. คุณสมบัติของแผ่นฉนวนและอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบ

วัสดุ	ความหนา (m)	พื้นที่ (m ²)	ทดลองครั้งที่	ความร้อน (W)	อุณหภูมิด้านร้อน (°C)			อุณหภูมิด้านเย็น(°C)		
ฉนวนฟางข้าว	0.03	0.1849	1	19.39	41.1	42.5	42.8	22.1	22.1	22.1
			2	19.06	44.2	46.2	45.2	25.7	25.1	25.4
			3	19.15	43.2	45.4	44.2	24	23.4	23.7
ฉนวนใยแก้ว	0.068	0.1849	1	21.63	60.7	60.6	61.3	22.4	22.3	22.3
			2	20.45	60.2	60.5	60.3	22.3	22.2	22.2
			3	20.05	60.5	60.8	60.6	21.9	21.5	21.7
ยิปซัมแผ่นเรียบ	0.009	0.1849	1	39.89	40.8	41.4	41.1	32.2	31.4	31.8
			2	44.15	37.8	38.3	38.1	28.6	27	27.8
			3	43.74	41.2	41.8	41.5	31.4	30.9	31.1

ตารางที่ 4. ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

วัสดุ		ฉนวนฝ้าข้าง			ฉนวนใยแก้ว			ยิปซัมแผ่นเรียบ		
K การทดลอง	W/m•K	0.152	0.156	0.152	0.204	0.197	0.190	0.209	0.209	0.205
K เฉลี่ย	W/m•K	0.153			0.197			0.207		

2.6 ทดลองติดตั้งจริงและเก็บข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทำจาก ฟางข้าวประสานด้วยกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ มาเปรียบ เทียบกับแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทำจากเส้นใยแก้ว สังเคราะห์ โดยนำมาติดตั้งไว้บนฝ้าเพดาน ได้หลังคาคลุม ทางเดินเชื่อมต่อตึกวิศวกรรมศาสตร์ ของมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ผลการเก็บข้อมูล ด้านความแตกต่างอุณหภูมิด้านบนกับใต้ฝ้าสำหรับ ฉนวนฟางข้าว และฉนวนใยแก้ว ได้นำเสนอในรูปแบบที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ แกนนอนหมายถึง เวลาของวัน ที่บันทึกข้อมูลอุณหภูมิซึ่งแสดงในแกนตั้งในหน่วย °C ส่วน RO หมายถึงฉนวนฟางข้าวด้านบน RI หมายถึง ฉนวนฟางข้าวด้านล่าง ส่วน EE หมายถึงอาคารที่ใช้ ทดลอง ในขณะที่ GO หมายถึงฉนวนใยแก้วด้านบน GI หมายถึงฉนวนใยแก้วด้านล่าง

3. การวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งเป็นสองส่วน คือ การวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนและราคา

3.1 การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

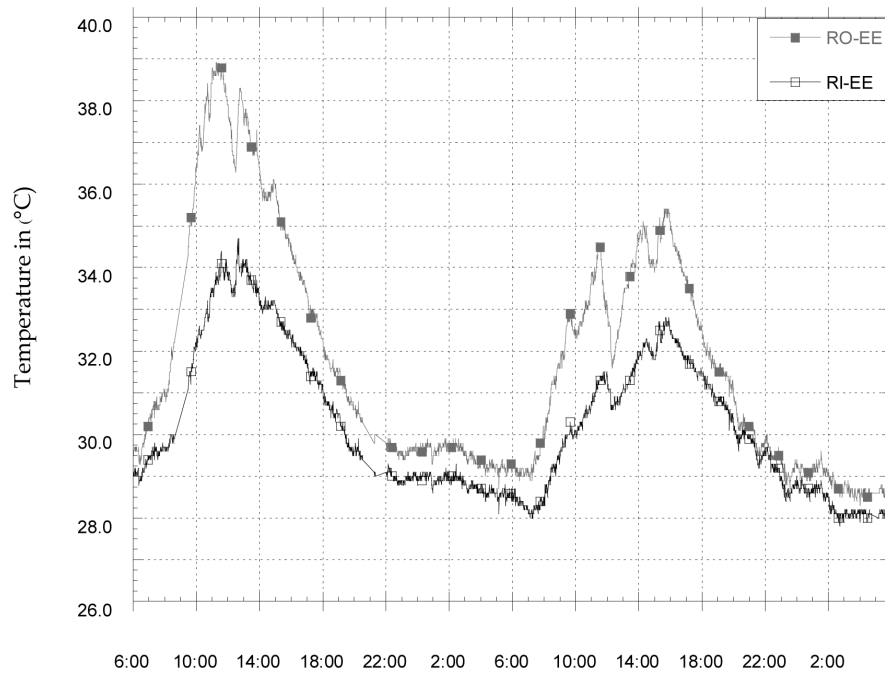
อุณหภูมิจากการบันทึก ณ สถานที่ทำการ ทดลองได้ถูกนำมาเฉลี่ยและแสดงในตารางที่ 5 เพื่อ ทำการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อน (Heat Gain) ด้วย สมการที่ 2 เนื่องจากในการทดลองนี้มีฉนวนที่ใช้สอง ชนิด ดังนั้น ค่า L_1 จะเท่ากับ 0.03 m สำหรับฉนวนฟาง ข้าว และเท่ากับ 0.068 m สำหรับฉนวนใยแก้ว ในขณะที่ ค่า k_1 จะเป็น 0.153 W/m•K สำหรับฉนวนฟางข้าว และ

เท่ากับ 0.197 W/m•K สำหรับฉนวนใยแก้ว ส่วนค่า k_2 ของฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ดหนา 9 mm คือ 0.207 W/m•K ค่าการถ่ายเทความร้อน ได้ถูกนำเสนอในตารางที่ 6 พบ ว่าในเวลากลางคืนการใช้ฉนวนธรรมชาติจากฟางข้าวจะ มีการถ่ายเทความร้อน 3.34 W/m² ซึ่งต่ำที่สุดซึ่งเป็นข้อดี ของวัสดุธรรมชาติ เพราะคล้ายกับทำให้เพดานหรือฝ้า บ้านหายใจได้โดยอนุญาตให้อากาศร้อนออกไปได้โดยจากรูปที่ 5 เวลาประมาณ 21:00 - 22:00 น. นั้นอุณหภูมิด้าน นอกกับด้านในเกือบจะเป็นค่าเดียวกัน ซึ่งปรากฏการณ์ นี้จะไม่เกิดสำหรับฉนวนใยแก้ว ส่วนในเวลากลางวัน ฉนวนใยแก้วมีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำสุดคือ 9.26 W/ m² ซึ่งสามารถป้องกันความร้อนได้ดีมากกว่าฉนวนฟาง ข้าว

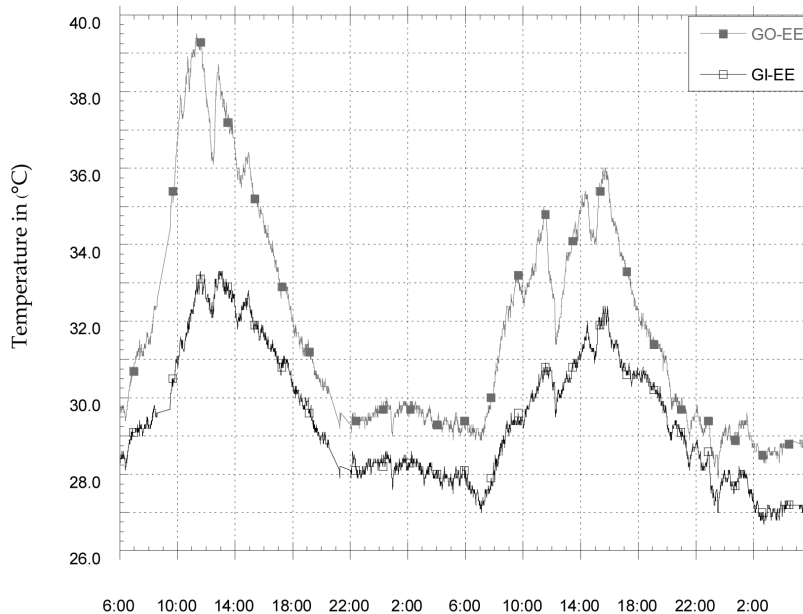
$$\text{Heat Gain} = \frac{T_h - T_c}{\frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2}} \quad (2)$$

โดยที่

- Heat Gain = การส่งผ่านความร้อน (W/m²)
 - L_1 = ความหนาของแผ่นฉนวน (m)
 - L_2 = ความหนาของฝ้าเพดาน (m)
 - k_1 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ ฉนวน
 - k_2 = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของ ฝ้าเพดาน
 - T_h = อุณหภูมิทางด้านร้อนหรือด้านบนฝ้า (K)
 - T_c = อุณหภูมิทางด้านเย็นหรือด้านใต้ฝ้า (K)
- เมื่อ K = อุณหภูมิในหน่วย °C + 273



รูปที่ 5. ข้อมูลอุณหภูมิด้านบนและด้านใต้ฝ้าเพดานที่มีการติดตั้งแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทำจากฟางข้าว ตลอด 48 ชั่วโมง



รูปที่ 6. ข้อมูลอุณหภูมิด้านบนและด้านใต้ฝ้าเพดานที่มีการติดตั้งแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทำจากใยแก้ว ตลอด 48 ชั่วโมง

ตารางที่ 5. ผลต่างอุณหภูมิแยกตามชนิดฉนวนและช่วงเวลา

	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)								
	ฟางข้าว			ใยแก้ว			ไม่มีฉนวน		
	ด้านบน ฝ้า	ด้านใต้ ฝ้า	ผลต่าง อุณหภูมิ ($T_h - T_c$)	ด้าน บน ฝ้า	ด้านใต้ ฝ้า	ผลต่าง อุณหภูมิ ($T_h - T_c$)	ด้าน บนฝ้า	ด้าน ใต้ฝ้า	ผลต่าง อุณหภูมิ ($T_h - T_c$)
กลางวัน	34.7	32	2.7	34.9	31.3	3.6	34.8	32.8	2.00
กลางคืน	29.9	29.1	0.8	29.9	28.5	1.4	29.9	28.9	1.00
24 ชั่วโมง	31.7	30.2	1.5	31.8	29.5	2.3	31.75	30.4	1.35

ตารางที่ 6. ค่าการถ่ายเทความร้อนของฝ้าเพดานของฉนวนทั้งสองชนิด

ฝ้าที่ติดตั้งฉนวน	k (W/m•K)	L (m)	Heat Gain (W/m ²)		
			กลางวัน	กลางคืน	24 ชั่วโมง
ฟางข้าว	0.153	0.030	11.29	3.34	6.27
ใยแก้ว	0.197	0.068	9.26	3.60	5.92
ไม่ติด	0.207	0.009	46.08	23.04	31.11

3.2 การวิเคราะห์ปัจจัยด้านราคา

การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทำจากฟางข้าวประสานกาวยูเรียฟอรั่มลดีไฮด์ที่มีค่าความหนาแน่นประมาณ 275 kg/m³ มีค่าใช้จ่ายต่อแผ่น เท่ากับ 85 บาทต่อแผ่น โดยแผ่นฉนวนกันความร้อนหนึ่งแผ่นจะมีพื้นที่เท่ากับ 0.36 m² ในขณะที่แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ทำจากเส้นใยแก้วสังเคราะห์จะมีราคาขายอยู่ที่ 450 บาทต่อม้วน ซึ่งเป็นราคาของฉนวนหนา 3 นิ้วชนิดพรีเมียมที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นราคาขณะทำการทดลองในปี 2553 โดยใน 1 ม้วนจะมีพื้นที่ เท่ากับ 1.44 m² เมื่อนำมาคำนวณราคาต่อพื้นที่ 1 m² พบว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนชนิดฟางข้าวประสานกาวยูเรียฟอรั่มลดีไฮด์ มีราคา ค่าใช้จ่ายต่อพื้นที่ ถูกกว่าแผ่นฉนวนกันความร้อนชนิดเส้นใยสังเคราะห์ประมาณ 25% ส่วนยิปซัมบอร์ดเป็นวัสดุปิดผิวจึงไม่นำมาวิเคราะห์ด้านราคา

4. สรุปและอภิปรายผล

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่า Heat Gain ของฉนวนฟางข้าว 11.29 W/m² สูงกว่าฉนวนใยแก้ว 9.26 W/m² เฉพาะเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคือฉนวนฟางข้าว มีค่า Heat Gain 3.34 W/m² ต่ำกว่าฉนวนใยแก้วที่ 3.60 W/m² หมายความว่าฉนวนฟางข้าวมีความสามารถในการป้องกันการถ่ายความร้อนได้ดีกว่าฉนวนใยแก้วในเวลากลางวัน แต่ในเวลากลางวันฉนวนใยแก้วดีกว่า ในขณะที่ด้านราคา ฉนวนฟางข้าวถูกกว่าฉนวนใยแก้ว 25% นอกจากนี้ค่า Heat Gain จากการทดสอบของฉนวนฟางข้าว ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืนมีค่าต่ำกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ที่ 25 W/m² (6) ดังนั้นหากผู้บริโภคหรือประชาชนต้องการบ้านที่ประหยัดพลังงานโดยมีการเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันและมีกำลังทรัพย์ ผู้วิจัยแนะนำให้หา

ซื้อฉนวนใยแก้วที่วางขายในท้องตลาด เพราะสามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากช่องหลังคาผ่านฝ้าลงสู่ส่วนพักอาศัยในเวลากลางวันได้ดีกว่าแต่หากว่ามีกำลังทรัพย์น้อยและมีความต้องการบ้านประหยัดพลังงานและมีการเปิดเครื่องปรับอากาศในเวลากลางวันเป็นหลัก ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้ฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวเพราะมีราคาถูกกว่า 25% และสามารถกันความร้อนได้ดีกว่า นอกจากนี้หากไม่มีการติดฉนวนกันความร้อนแบบใดเลยที่ฝ้าเพดาน เช่นในกรณีที่ดินคิปปซัมบอร์คเพียงอย่างเดียว จะมีการถ่ายเทความร้อนลงมามากถึง 46.08 วัตต์ต่อตารางเมตรในเวลากลางวัน ซึ่งจะทำให้ห้องที่พักอาศัยร้อนมากและหากมีการใช้เครื่องปรับอากาศร่วมด้วยจะเกิดการสิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก ดังนั้นจึงแนะนำให้ติดฉนวนในห้องที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อความประหยัดพลังงาน

5. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาหาจำนวนชั้นของแผ่นพอยล์ที่เหมาะสมในการหุ้มแผ่นฉนวนฟางข้าว เพื่อลดปัญหาด้านการติดไฟง่าย และด้านการสะสมความชื้นลง นอกจากนี้ยังน่าจะเพิ่มความสามารถในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนในเวลากลางวันได้ดีอีกด้วย ราคาของแผ่นฉนวนฟางข้าว หากมีการผลิตในเชิงพาณิชย์ ราคาน่าจะต่ำกว่า 85 บาทต่อแผ่น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- (1) Olgyay V. Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. 4th Ed. New Jersey: Princeton University Press; 1973.
- (2) Boonyatikarn S. How to Design Energy Saving House for Better Quality of Life. Toyota Thailand Foundation; 2002.
- (3) Nankongnab N. A Development of Low Thermal Conductivity Wood Particle with Appropriateness Proportion. A Thesis of Energy and Material Faculty, King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2002.
- (4) Panyawai S. Insulation Sheet Made from Natural Materials. A Project Report of Industrial Technology College, King Mongkut's University of Technology North Bangkok; 2007.
- (5) Taemthong W. Increasing Building Envelope Thermal Protection Efficiency using Natural Material Insulation. A Final Report, King Mongkut's University of Technology North Bangkok; 2009: 12-20.
- (6) The Overall Thermal Transfer Value of the Building. Division 2 – Energy Conservation in Buildings. The Energy Conservation Promotion Act. 1992; Section 19.