วว.TISTR

โครงการวิจัยที่ ภ. 49-10 / ย. 1 / รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

การวิจัยและพัฒนาการขึ้นรูปฉนวนจากเส้นใยวัสดุเหลือทิ้ง

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ. 49-10
การวิจัยและพัฒนาการขึ้นรูปฉนวนจากเส้นใยวัสดุเหลือทิ้ง

โครงการย่อยที่ 1
การวิจัยและพัฒนาการขึ้นรูปฉนวนจากเส้นใยวัสดุเหลือทิ้ง

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)
การวิจัยและพัฒนาการขึ้นรูปฉนวนจากเส้นใยวัสดุเหลือทิ้ง

โดย

รมณีย์ หวังดีธรรม **พนิดา เทพขุน**
ธเนศ อุทิศธรรม **วีรชัย สุนทรรังสรรค์**
ชันษา จิรสุวรรณ **ศรัทธา วัฒนธรรม**
ประสงค์ เจริญพรพิทักษ์ **โสภณ พรหมสุวรรณ**

บรรณาธิการ วว., ปทุมธานี 2557
นฤมล รื่นไวย์
บุญเรียม น้อยชุมแพ

สงวนลิขสิทธิ์

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท คิมเบอร์รี่คลาคประเทศไทยจำกัด ในการเอื้อเฟื้อตัวอย่างเศษเยื่อจากบ่อบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย และคุณโสภาพรรณ สัญญาณเสนาะ ที่ได้ช่วยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาทดลองในครั้งนี้.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	13
3. ผลการทดลองและวิจารณ์	21
4. สรุปผลการทดลอง	47
5. ข้อเสนอแนะ	49
6. เอกสารอ้างอิง	50
7. ภาคผนวก	52

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	ความหนาแน่นและการนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างบางประเภท	8
ตารางที่ 3.1	ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว	26
ตารางที่ 3.2	ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก	32
ตารางที่ 3.3	ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว	39
ตารางที่ 3.4	คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด	41
ตารางที่ 3.5	ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากการทดลองต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่น	43
ตารางที่ 3.6	เปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุ 3 ชนิด	44
ตารางที่ 3.7	เปรียบเทียบคุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวกับแผ่นฉนวนเชิงพาณิชย์	45
ตารางที่ 3.8	เปรียบเทียบการใช้วัสดุเส้นใยสังเคราะห์กับเส้นใยธรรมชาติ	46

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	9
รูปที่ 1.2	เซลลูโลส	9
รูปที่ 1.3	โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	10
รูปที่ 1.4	โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	11
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อฟางข้าว	15
รูปที่ 2.2	ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบไม่ใช้ตัวประสาน	16
รูปที่ 2.3	ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อหญ้าแฝก	18
รูปที่ 3.1	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว	22
รูปที่ 3.2	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว	24
รูปที่ 3.3	คุณสมบัติค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบไม่มีตัวประสานที่ค่าความหนาและความหนาแน่นต่างๆ	25
รูปที่ 3.4	เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนตามอุณหภูมิการใช้งานของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว	27
รูปที่ 3.5	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนตามอุณหภูมิการใช้งานของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก	28
รูปที่ 3.6	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก	30
รูปที่ 3.7	คุณสมบัติค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบไม่มีตัวประสานที่ค่าความหนาและความหนาแน่นต่างๆ	31
รูปที่ 3.8	เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก	33
รูปที่ 3.9	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนของเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว	35

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3.10	เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว	36
รูปที่ 3.11	คุณสมบัติค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วแบบไม่มีตัวประสานที่ค่าความหนาและความหนาแน่นต่างๆ	38
รูปที่ 3.12	เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว	40
รูปที่ 3.13	ค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุ 3 ชนิด	42

STUDY AND RESEARCH ON INSULATION CASTING FROM AGRICALTURAL WASTE FIBER

Romanie Wungdheethum, Panida Thepkhun, Thanes Utistham, Wirachai Soonthornrangson, Chunsa Jirasuwan, Sattha Wattanathum, Prasong Charoenponpithak and Sophon phromsuwan

ABSTRACT

Insulators from three types of biomasses, namely vetiver, rice straw, recycled paper and waste wood pulp from the pulp mill were made via pulp molding method. By this method, insulators were also added with and without gypsum cement binder. The results indicated that insulator without gypsum cement binder had less average thermal conductivity than that of with binder. Without using gypsum cement binder, the insulator from rice straw showed the highest insulation characteristics, followed by vetiver, recycled paper and waste wood pulp, respectively.

Insulator produced from rice straw showed lower thermal conductivity than those from synthetic fiber materials, particularly from gypsum and particle board types, but higher than those from fibre glass and foam types. Moreover, rice straw insulator was promising over synthetic fiber insulator since it was made from natural material having no -environmental impact.

Thermal conductivity values per density and thermal conductivity were 0.2737 (Watt/m-^{o}K)/(g/cm^{3}) and 0.1536 m^{2}-^{o}K/watt for rice straw, 0.3267 (Watt/m-^{o}K)/(g/cm^{3}) and 0.1352 m^{2}-^{o}K/watt for vetiver, and 0.3411 (Watt/m-^{o}K)/(gm/cm^{3}) and 0.1060 m^{2}-^{o}K/watt for recycled paper and waste wood pulp.

การวิจัยและพัฒนาการขึ้นรูปฉนวนจากเส้นใยวัสดุเหลือทิ้ง

รมณีย์ หวังดีธรรม[1], พนิดา เทพขุน[1], ธเนศ อุทิศธรรม[1], วีรชัย สุนทรรังสรรค์[1], ชันษา จิรสุวรรณ[1], ศรัทธา วัฒนธรรม[1], ประสงค์ เจริญพรพิทักษ์[1], และ โสภณ พรหมสุวรรณ[1]

บทคัดย่อ

แผ่นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง 3 ชนิด คือ หญ้าแฝก, ฟางข้าว และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว ด้วยวิธีพัลพ์โมลดิง (Pulp molding) มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานการยึดเกาะ. แผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานมีคุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานการยึดเกาะ. สำหรับแผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานนั้น, แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวมีคุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนดี, ตามด้วยหญ้าแฝก, เศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว. จากการวัดค่าการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่นและค่าการต้านทานความร้อน พบว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว, หญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว มีค่าการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่น 0.2737, 0.3267 และ 0.3411 (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) ตามลำดับ และมีค่าการต้านทานความร้อน 0.1536, 0.1352 และ 0.1060 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ ตามลำดับ.

เมื่อเปรียบเทียบแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวกับแผ่นฉนวนที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว พบว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวมีค่าการนำความร้อนดีกว่าแผ่นฉนวนประเภทยิปซัมและไม้อัด, แต่เลวกว่าแผ่นฉนวนประเภทใยแก้วและโฟม. อย่างไรก็ตาม แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวเป็นวัสดุประเภทเส้นใยธรรมชาติที่หาได้ง่ายภายในประเทศ และก่อให้เกิดมลภาวะน้อยกว่า จึงมีความเหมาะสมกว่าแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์.

---

[1]ฝ่ายเทคโนโลยีพลังงาน, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, วว.

1. บทนำ

1.1 ที่มาของโครงการ

วัสดุเหลือทิ้งชีวมวลเป็นผลผลิตที่เกิดจากการทำเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ซึ่งยังมีอยู่หลายชนิดที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ เช่น เปลือกมะพร้าว, เศษเยื่อกระดาษจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ, เศษกระดาษใช้แล้ว, เศษเชือกป่าน และปอ เป็นต้น. วัสดุเหลือทิ้งชีวมวลเหล่านี้จึงมักทิ้งเป็นขยะและก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด. แม้ว่าวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มีคุณ-สมบัติในการติดไฟซึ่งสามารถนำไปเป็นเชื้อเพลิงได้, แต่ไม่เป็นที่นิยมมากนักเนื่องจากมีความ ชื้นสูง ทำให้ต้องมีการออกแบบระบบเพิ่มเติมเพื่อการอบแห้งให้มีความเหมาะสมต่อการนำไปเป็นเชื้อ เพลิง, จึงทำให้ไม่สามารถแข่งขันด้านราคากับเชื้อเพลิงประเภทอื่นได้. แนวคิดการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นแทนการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหาวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลเหล่านี้. เนื่องจากวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลเหล่านี้ประกอบด้วยเส้นใยจำนวนมาก จึงมีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำ, ดังนั้น การพัฒนาเป็นวัสดุเพื่อการก่อสร้างที่มีการนำความร้อนต่ำหรือวัสดุฉนวนในอาคารและที่พักอาศัย จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าจะได้มีการศึกษา.

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานของประเทศในปี 2549, ภาคธุรกิจการค้าและบ้านอยู่อาศัยมีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 21.4 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2549) ระบบปรับอากาศเป็นระบบหนึ่งที่มีการใช้พลังงานสูงในภาคธุรกิจการค้าและบ้านอยู่อาศัย. ดังนั้น การลดภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศโดยการลดปริมาณความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้วยการใช้วัสดุก่อสร้างที่มีการนำความร้อนต่ำหรือติดตั้งวัสดุฉนวนในบริเวณที่ได้รับความร้อนจากแสงแดด เช่น หลังคา, ผนัง เป็นต้น, จึงเป็นแนวทางในการลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในภาคธุรกิจการค้าและบ้านอยู่อาศัยที่มีศักยภาพสูง.

ด้วยเหตุนี้ ทางสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จึงได้จัดทำโครงการวิจัยเพื่อลดการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศในภาคธุรกิจการค้าและบ้านอยู่อาศัย ด้วยชุดโครง การวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตวัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงานจากวัสดุเหลือทิ้ง, ซึ่งประกอบ ด้วย 3 โครงการย่อย คือ:

- โครงการวิจัยย่อยที่ 1: โครงการการวิจัยและพัฒนาการขึ้นรูปฉนวนจากเส้นใยวัสดุเหลือทิ้ง, โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาและวิจัยเทคนิควิธีการขึ้นรูปฉนวนจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใย.
- โครงการวิจัยย่อยที่ 2: โครงการการวิจัยและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากฉนวนเส้นใยวัสดุเหลือทิ้งในรูปวัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงาน, โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อวิจัยและพัฒนาการนำฉนวนจากวัสดุเหลือทิ้งมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงาน.
- โครงการวิจัยย่อยที่ 3: โครงการก่อสร้างอาคารจำลองเพื่อทดสอบภาระการทำความเย็นภายในอาคาร, โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบภาระการทำความเย็นจากวัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงานในอาคารจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และสภาพจริง.

รายงานการวิจัยฉบับนี้ เป็นการจัดทำขึ้นตามโครงการวิจัยย่อยที่ 1: โครงการการวิจัยและพัฒนาการขึ้นรูปฉนวนจากเส้นใยวัสดุเหลือทิ้ง ที่ได้มีการดำเนินการจนลุล่วงตามวัตถุประสงค์แล้ว.

1.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยการนำวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลมาใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้าง พบว่า มีข้อดีหลายประการด้วยกัน, ประการแรกคือวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มีราคาถูก. Sulaiman, Mansoor and Khan (1983) ได้ศึกษาการนำขี้เถ้าแกลบผสมกับปูนขาว แทนการใช้ซีเมนต์ในการสร้างบ้านตัวอย่างราคาถูก. ประการที่สอง คือ เส้นใยในชีวมวลบางชนิดช่วยเพิ่มความแข็งแรงทนทานให้แก่วัสดุก่อสร้าง. Fageiri (1983) ศึกษาการนำเส้นใยจากปอแก้ว (kenaf) มาเป็นส่วนผสมในการผลิตกระเบื้องลอน, พบว่า นอกจากจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงแล้ว ยังทำให้กระเบื้องลอนมีน้ำหนักเบาทำให้สะดวกในการขนส่ง. Paramasivam, *et al*. (1984) ได้นำเส้นใยจากมะพร้าวมาเพิ่มความแข็งแรงในซีเมนต์ (cement paste) มอร์ตา (mortar) และคอนกรีต. นอกจากนี้แล้ว วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทเส้นใยยังช่วยลดค่าการนำความร้อนของวัสดุก่อสร้าง, ดังเช่นงานวิจัยของ Falconer (1974) และสุทธิสงค์ (2542) ได้ศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งประเภทเปลือกผลไม้ ได้แก่ เปลือกทุเรียน, เปลือกมะพร้าว, มาเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ โดยผสมในซีเมนต์ร้อยละ 10 และ 20 พบว่า สามารถลดค่าการนำความร้อนเข้าในอาคารลงได้ร้อยละ 50 และ 60, ตามลำดับ. Asasutjarit (2005) ได้ศึกษาการนำวัสดุเส้นใยจากเปลือกมะพร้าว มาผลิตเป็นแผ่นซีเมนต์ (cement board), โดยผสมซีเมนต์ต่อเส้นใยต่อน้ำ ที่ 2:1:2 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อน, พบว่า แผ่นซีเมนต์จากเส้นใยเปลือกมะพร้าว ที่มีความหนาแน่นช่วง 200 – 800 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร, มีค่าการนำความร้อน 0.06 – 0.12 วัตต์/เมตร-เคลวิน ซึ่งใกล้เคียงกับ

ฉนวนทั่วๆ ไป. นอกจากนี้ เมื่อมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางความชื้นกับแผ่นบอร์ด VIVA ที่มีการขายในเชิงพานิชย์ พบว่า แผ่นบอร์ด VIVA มีคุณสมบัติการป้องกันความชื้นดีกว่าแผ่นซีเมนต์จากเส้นใยเปลือกมะพร้าว, แต่คุณสมบัติการนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกัน.

1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฉนวนจากเส้นใยธรรมชาติ

การนำชีวมวลประเภทเส้นใยธรรมชาติมาทำเป็นฉนวนรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ในอาคารและบ้านเรือน, มีส่วนที่ต้องพิจารณาประกอบอยู่ 4 ส่วนหลักคือ การส่งผ่านความร้อน, คุณสมบัติของฉนวนความร้อน, วัสดุเส้นใยธรรมชาติ และกระบวนการผลิตเยื่อ. โดยมีรายละเอียดดังนี้:

1.3.1 การส่งผ่านความร้อน

ความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร เป็นผลให้เกิดการส่งผ่านความร้อนจากด้านที่ร้อนไปสู่ด้านที่เย็น. หลังคาและผนังอาคารเป็นส่วนที่ความร้อนจากด้านนอกไหลผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร จึงควรมีการติดตั้งวัสดุฉนวนเพื่อลดความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร. กระบวนการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่อาคารประกอบด้วยการนำ, การพา และการแผ่รังสี.

การส่งผ่านความร้อนโดยการนำ จำเป็นต้องมีตัวกลางเพื่อการส่งผ่าน, เช่น การนำความร้อนผ่านผนังอาคาร, การนำความร้อนผ่านหลังคา, เป็นต้น. ทั้งนี้ คุณสมบัติการส่งผ่านความร้อนโดยการนำของวัสดุแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน เช่น อากาศมีคุณสมบัติการนำความร้อนต่ำกว่าน้ำ เป็นต้น.

การส่งผ่านความร้อนโดยการพา มีการอาศัยตัวกลางเพื่อการส่งผ่านเช่นเดียวกับการนำ แต่ตัวกลางการส่งผ่านจะต้องมีการเคลื่อนไหว, โดยทั่วไปแล้วจะเป็นของเหลวและก๊าซเท่านั้น. ดังนั้นการส่งผ่านความร้อนแบบนี้จึงเกิดขึ้นเฉพาะในส่วนพื้นผิวที่ตัวกลางสัมผัสเท่านั้น เช่น การพาความร้อนของผนังด้านนอกหรือด้านในอาคาร, เป็นต้น. ตัวแปรที่มีผลต่อการส่งผ่านความร้อนโดยการพาความเร็วของตัวกลาง, ความราบเรียบของผิว เป็นต้น.

การส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสี จะเกิดจากแหล่งที่มีความร้อนไปสู่บรรยากาศ, ตัวแปรที่มีผลต่อการส่งผ่านความร้อนโดยการแผ่รังสีอย่างมากจึงเป็นอุณหภูมิของวัสดุนั่นเอง.

ในการใช้ฉนวนเพื่อลดการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารและบ้านเรือน, กระบวนการส่งผ่านความร้อนนี้เกิดจากการนำมากกว่าการส่งผ่านความร้อนโดยการพาและแผ่รังสี ซึ่งการแผ่รังสี

ในฉนวนมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการพาและการนำ. โดยทั่วไปแล้ว, จึงไม่มีการนำค่าการแผ่รังสีมาพิจารณาในฉนวน, คุณสมบัติการส่งผ่านความร้อนที่เกี่ยวเนื่องกับฉนวน มีดังนี้

1.3.1.3 การนำความร้อน (Thermal conductivity)

เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการนำความร้อนไหลผ่านวัสดุฉนวน (วัตต์) ต่อหน่วยพื้นที่ (ตารางเมตร), โดยให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 1 องศาเซลเซียส ตามที่แสดงในสมการ

$$k = (W/m^2) * (m/^oC) = W/m^oC$$

แม้ว่า ค่าการนำความร้อนจะมีความสัมพันธ์อยู่กับอุณหภูมิ แต่ไม่มีผลมากนัก, ตัวแปรที่มีผลอย่างมากได้แก่ ความหนาแน่น, ความพรุน และความชื้น (Nankongnab 2002). ตัวแปรทั้ง 3 นี้จะมีการออกแบบให้สัมพันธ์กับค่าการนำความร้อน เช่น การลดความหนาแน่นของวัสดุฉนวนจะทำให้เพิ่มความพรุนและเป็นสาเหตุของการซึมซับความชื้นได้ง่าย ซึ่งทำให้ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น เป็นต้น.

1.3.1.3 การต้านทานความร้อน (Thermal resistance)

เป็นค่าที่แสดงการต้านทานความร้อนที่ความหนาใดๆ ของที่วัสดุชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดต่อค่าการนำความร้อน, ตามที่แสดงในสมการ

$$R = m / (W/m^oC) = m^2\ ^oC/W$$

ในการพิจารณาค่าการต้านทานของวัสดุใดๆ มักจะกำหนดค่าการนำความร้อนของวัสดุคงที่, ซึ่งหมายความว่าค่าการต้านทานจะแปรผันตรงกับความหนานั่นเอง.

1.3.1.3 การส่งผ่านความร้อน (Thermal transmittance)

การส่งผ่านความร้อนจากด้านที่ร้อนไปสู่ด้านที่เย็นกว่า จะพิจารณาจากอากาศที่สัมผัสกับวัสดุด้านที่ร้อนผ่านวัสดุ และสิ้นสุดที่อากาศที่สัมผัสกับวัสดุด้านที่เย็น. การส่งผ่านความร้อนผ่านตัวกลางทั้งหมดจะมีการต้านทานรวมที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะกำหนดให้การต้านทานนี้เป็นต่อหน่วยพื้นที่และความต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้าน, ตามที่แสดงในสมการ

$$U = W/m^{2o}C$$

1.3.2 คุณสมบัติของฉนวนความร้อน

วัสดุฉนวนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานต่างๆ กัน, การเข้าใจถึงคุณสมบัติบางประการของฉนวนจะทำให้การเลือกใช้ได้ถูกต้อง, ซึ่งข้อควรพิจารณาฉนวนเบื้องต้น มีดังนี้.

1.3.2.3 ชนิดของฉนวนความร้อน

แบ่งออกเป็นประเภทหลักๆ ตามลักษณะทางกายภาพได้ดังนี้

- ฉนวนแบบชั้นอากาศ, เป็นฉนวนที่มีอากาศอยู่ระหว่างชั้นของพื้นผิวซึ่งอาจประกอบกันหลายๆ ชั้น การต้านทานความร้อนรวมจะเกิดจากพื้นผิวและอากาศโดยการพาและการนำความร้อน.
- ฉนวนแบบเส้นใย, เป็นฉนวนที่เกิดจากการใช้เส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยมะพร้าว เป็นต้น, หรือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ใยแก้ว เป็นต้น, มาประกอบเข้าด้วยกันให้มีรูปร่างที่เหมาะต่อการใช้งาน, ทั้งอาจประกอบจากเส้นใยเพียงชนิดเดียว หลายชนิด หรือผสมกับวัสดุประเภทอื่นๆ.
- ฉนวนแบบเกล็ด/แผ่น, เป็นฉนวนที่ประกอบด้วยวัสดุบางชนิดที่มีความเป็นฉนวนที่ถูกทำให้ยึดติดกับอากาศและประกอบเป็นรูปทรงต่างๆ ฉนวนแบบเกล็ดที่มีการใช้แพร่หลาย เช่น เพอร์ไรต์ และเวอร์มิคูไรต์.
- ฉนวนแบบโพรง (granule), ประกอบด้วยโพรงเล็กๆ ที่เชื่อมถึงกันที่ภายในบรรจุด้วยอากาศ, วัสดุที่ใช้ทำฉนวนประเภทนี้มีหลายชนิด เช่น แมกนีเซียม, ซิลิเกต เป็นต้น.
- ฉนวนแบบเซลล์ (cellular) มีลักษณะเป็นช่องๆ ที่ภายในบรรจุด้วยอากาศ แต่ละช่องจะแยกออกจากกัน, วัสดุที่ใช้ทำฉนวนประเภทนี้ทำจากวัสดุหลายประเภท เช่น แก้ว, ยาง, พลาสติก, เป็นต้น.
- ฉนวนแบบแผ่นสะท้อนรังสี, ทำจากวัสดุที่มีการสะท้อนรังสีได้ดี, โดยทั่วไป ฉนวนแบบนี้จะนำไปประกอบติดกับฉนวนแบบอื่นๆ.

1.3.2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของวัสดุก่อสร้างและฉนวน

วัสดุก่อสร้างที่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์มีหลากหลายประเภท, แต่จะมีการพิจารณาวัสดุก่อสร้างส่วนที่เป็นผนังและฝ้าเพดานซึ่งเป็นส่วนที่จะทำหน้าที่การเป็นวัสดุฉนวน. โดยที่คุณสมบัติทางกายภาพและความร้อนของวัสดุก่อสร้างที่นำมาพิจารณา คือ ความหนาแน่นและการนำความร้อน, ดังแสดงในตารางที่ 1.1.

ตารางที่ 1.1 ความหนาแน่นและการนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างบางประเภท

ประเภทวัสดุ	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	การนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน)
อิฐ (ความชื้น 6%)	1,270	1.21
อิฐฉาบปูน	1,510	0.81
คอนกรีต	2,100	1.44
แผ่นยิปซัมบอร์ด	801	0.16
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นต่ำ	593	0.08
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง	801	0.14
แผ่นชิ้นไม้อัดความหนาแน่นสูง	1001	0.17
แผ่นชิ้นไม้อัดใช้รองรับ	641	0.31
ไม้อัด	545	0.14
แผ่นหุ้มความหนาแน่นปานกลาง	352	0.06
แผ่นหุ้มความหนาแน่นปกติ	288	0.05
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นสูงภายใต้อุณหภูมิใช้งาน	881	0.12
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นสูงภายใต้อุณหภูมิมาตรฐาน	1009	0.14
แผ่นอัดแข็งหนาแน่นปานกลาง	801	0.09

แหล่งข้อมูล: 1. สุนทรรังสรรค์ และคณะ (2549)

2. ก้าวกสิกรรม (2540)

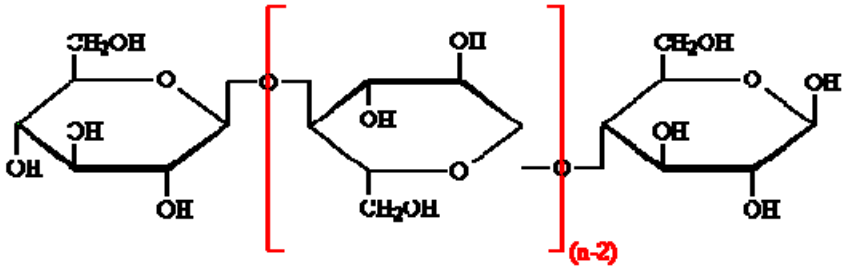
1.3.3 วัสดุเส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)

วัสดุชีวมวลประเภทเส้นใยธรรมชาติ แบ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติจากพืชและเส้นใยธรรมชาติจากขนสัตว์. เส้นใยธรรมชาติจากพืชได้รับความนิยมนำมาใช้ประโยชน์มากกว่า เนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก. ในการเลือกใช้เส้นใยธรรมชาติจากพืชประเภทใดจะขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานเป็นหลัก, ทั้งนี้เนื่องจากพืชแต่ละชนิดหรือชนิดเดียวกัน แต่อายุหรือสภาพแวดล้อมที่ต่างกันมีองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติที่ต่างกัน. พืชเส้นใยประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 45 – 50, ลิกนินร้อยละ 16 – 33, เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 15 – 30, สารอินทรีย์อื่นๆ ร้อยละ 3 – 5 และแร่ธาตุอีกประมาณร้อยละ 0.5 – 3 โดยน้ำหนัก. รายละเอียดขององค์ประกอบหลักๆ ดังนี้.

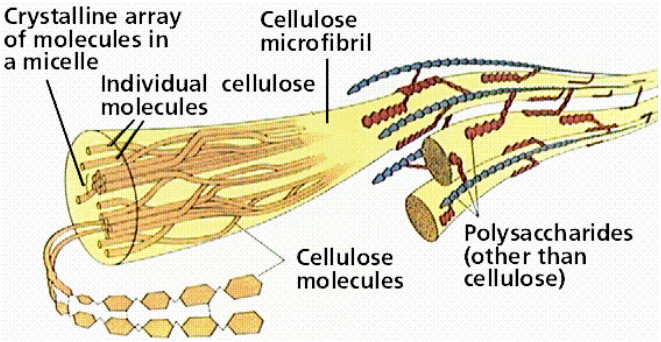
1.3.3.3 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลส เป็นสารพอลิเมอร์จำพวกพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันของน้ำตาลกลูโคสเรียงตัวกันเป็นระเบียบจำนวนมาก, มีสูตรโมเลกุล $C_6H_{12}O_6$ (ดังแสดงในรูปที่ 1.1). เซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักของท่อลำเลียงน้ำและอาหารในเนื้อเยื่อของพืชเส้นใย (ดัง

แสดงในรูปที่ 1.2) พบรวมกับเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose), ลิกนิน, เพนโตแซน, ยางเหนียว (gum), แทนนิน เป็นต้น. เซลลูโลสเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก, กรดซัลฟิวริก. แต่จะเกิดการบวมตัวในสารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ หรือละลายได้ถ้าเป็นเซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ. โดยธรรมชาติเซลลูโลสจะมีการดูดซับหรือคายความชื้นกับของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัวจนถึงจุดสมดุล, ทั้งนี้ยังสามารถแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ.



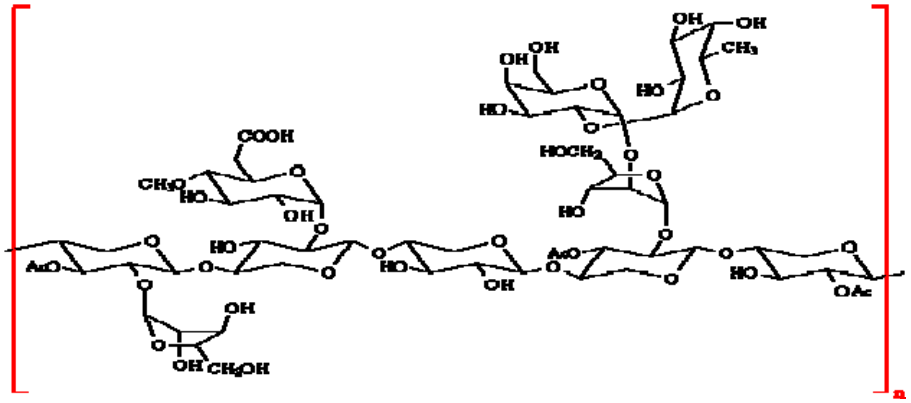
รูปที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.



รูปที่ 1.2 เซลลูโลส.

1.3.3.3 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

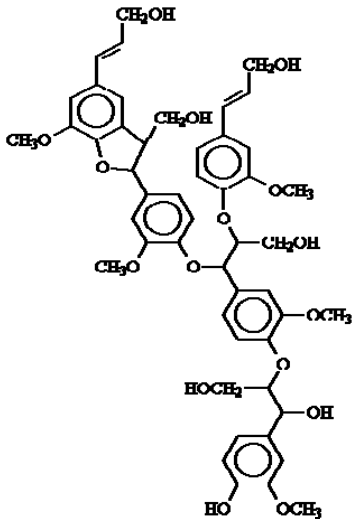
เฮมิเซลลูโลส เป็นสารพอลิเมอร์จำพวกพอลิแซ็กคาไรด์อีกชนิดหนึ่งที่คล้ายกับเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส, กาแล็กโทส, แมนโนส, ไซโลส, อะราบิโนส, รวมถึงกรดกลูคูโรนิกและกาแล็กทูโรนิก. เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชเส้นใยโดยอยู่รวมกับสารอื่นๆ เช่นเดียวกับเซลลูโลส มีสูตรโมเลกุล $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$, ดังแสดงในรูปที่ 1.3.



รูปที่ 1.3 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส.

1.3.3.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (รูปที่ 1.4) พบรวมอยู่กับเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส. ลิกนินจัดเป็นสารพอลิเมอร์อสัณฐานประเภทแอโรมาติก ประกอบด้วยคาร์บอน, ไฮโดรเจน และออกซิเจน, รวมกันเป็นหน่วยย่อยๆ หลายชนิด. มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายกรดหรือด่าง, ไม่มีความยืดหยุ่น, ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์เชื่อมต่อเส้นใยเซลลูโลสให้มีความแข็งแกร่งมากขึ้น. ดังนั้น พืชเส้นใยที่มีสารลิกนินมากจะมีความแข็งแรงทนทานสูง. เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase). พืชเส้นใยแต่ละชนิดมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุ, ในพืชเส้นใยชนิดเดียวกันที่มีอายุมากกว่าจะมีปริมาณลิกนินสูงกว่า.



รูปที่ 1.4 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.

การใช้ประโยชน์จากเส้นใยพืช จำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติของเส้นใยในพืชชนิดนั้นว่า มีคุณสมบัติเพียงพอต่อการนำมาใช้งานตามวัตถุประสงค์หรือไม่, เช่น ใช้ในงานวัสดุก่อสร้างที่ต้องการความแข็งแรง ต้องเลือกใช้เส้นใยที่มีความเหนียวและความทนทานสูงในการเสริมแรงเมทริกซ์. ถ้าต้องการความเป็นฉนวน, กันเสียงหรือน้ำหนักเบา ต้องเลือกใช้พืชเส้นใยที่มีคุณสมบัติความเป็นฉนวน, กันเสียง หรือน้ำหนักเบาอย่างใดอย่างหนึ่ง, หรือหลายอย่างผสมกัน. อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากพืชเส้นใยมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติตรงกับความต้องการ. ในการทำวัสดุฉนวนของโครงการนี้. สิ่งที่จะนำมาใช้ประโยชน์คือ เส้นใยซึ่งเป็นส่วนของเซลลูโลสที่ถูกเชื่อมต่อหรือประสานเข้ากันอย่างเหนียวแน่นด้วยสารลิกนินและสารสกัดอื่นๆ. ดังนั้น การที่จะนำเซลลูโลสมาใช้งานจึงต้องทำการแยกสารลิกนินและสารสกัดอื่นๆ ออกให้มากที่สุด, โดยให้มีการทำลายโครงสร้างของเซลลูโลสน้อยที่สุด, ทั้งนี้ เพื่อให้ได้เยื่อหรือเส้นใยที่ดี, มีคุณภาพ, ซึ่งกระบวนการแยกสารลิกนินและสารสกัดอื่นๆ ออกจากพืชเส้นใยนั้นมีหลายกรรมวิธี เช่น กระบวนการทางเคมี, กระบวนการทางกล และกระบวนการกึ่งเคมีและทางกล, เป็นต้น.

1.3.4 กระบวนการผลิตเส้นใย

ในการนำเส้นใยธรรมชาติจากพืชมาใช้งานนั้น มีกระบวนการผลิตเพื่อแยกเส้นใยอยู่ 3 วิธีหลักๆ ดังนี้.

1.3.4.3 กระบวนการทางกล (Mechanical pulping)

เป็นการแยกหรือกระจายเส้นใยในเนื้อไม้ออกจากกันด้วยกระบวนการทางกล เช่น การบด, การตี, เป็นต้น. เส้นใยที่ผลิตด้วยกรรมวิธีนี้ มีคุณสมบัติกระด้าง, ไม่มีความทนทาน, เนื่องจากยังมีสารลิกนินและสารสกัดเหลือตกค้างอยู่จำนวนมาก.

1.3.4.3 กระบวนการกึ่งเคมี (Semi-chemical pulping)

เป็นการแยกหรือกระจายเส้นใยในเนื้อไม้ด้วยสารเคมีร่วมกับกระบวนการทางกล เส้นใยที่ได้จากกรรมวิธีนี้สามารถกำจัดสารลิกนินออกได้มากกว่ากระบวนการทางกล จึงได้เส้นใยเยื่อที่มีความเหนียวทนทานต่อแรงดึงและแรงกดสูงขึ้น. นอกจากนี้ การแยกเส้นใยเยื่อด้วยกระบวนการกึ่งเคมีมีการใช้พลังงานน้อยกว่าวิธีแรก.

1.3.4.3 กระบวนการทางเคมี (Chemical pulping)

วิธีการนี้ใช้สารเคมีเพื่อสกัดสารลิกนินให้ออกจากเนื้อไม้ เส้นใยที่ได้จากกรรมวิธีนี้ยังมีสารลิกนินเหลือตกค้างบ้างแต่มีปริมาณน้อยมาก. ดังนั้น เส้นใยเยื่อนี้จึงมีความเหนียว ทนทานกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีกระบวนการทางกลและกึ่งเคมี.

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในการดำเนินการโครงการได้เลือกวัสดุเหลือทิ้งชีวมวล 3 ชนิด คือ ฟางข้าว, หญ้าแฝก และเศษเยื่อจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว เป็นวัตถุดิบในการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาเทคนิคการขึ้นรูปแผ่นฉนวน. สาเหตุที่เลือกวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลทั้ง 3 ชนิด ดังกล่าวข้างต้นเนื่องจากมีศักยภาพสูงกว่าชีวมวลประเภทอื่นๆ ตามที่ได้มีการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ (สุนทรรังสรรค์ และคณะ 2549). นอกจากวัสดุเหลือทิ้งชีวมวล 3 ชนิด แล้วยังมีการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการเตรียมเส้นใย, เยื่อวัสดุชีวมวล และปูนพลาสเตอร์สำหรับทำหน้าที่เป็นตัวประสาน.

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย:-

2.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การเตรียมเส้นใย/ขึ้นรูปแผ่นฉนวน

- เครื่องสับย่อยวัสดุชีวมวล
- เครื่องชั่งชนิด 2 ตำแหน่ง
- กระบอกตวงของเหลว
- ภาชนะสเตนเลสมีฝาปิด
- เตาหุงต้ม
- ตะแกรงล้างเยื่อ ขนาดกว้าง 45x45 เซนติเมตร
- แม่พิมพ์ขึ้นรูปฉนวน ขนาด 24x30 เซนติเมตร
- ตะแกรงตากแผ่นฉนวน ขนาด 26x35 เซนติเมตร

2.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์วัดคุณสมบัติวัสดุ

- เครื่องวัดค่าการนำความร้อน (Quick Thermal Conductivity Meter, Kemtherm, Model QTM-500, Japan).
- เครื่องวัดค่าการต้านทานความร้อน (Heat Flow Meter Thermal Conductivity Instrumentation, Netzsch, Model Lambda 2000 Series, USA).

- เครื่องวัดความชื้น (Infrared Dryer, Mettler, Model LP16, Switzerland).

2.3 วิธีการทดลอง

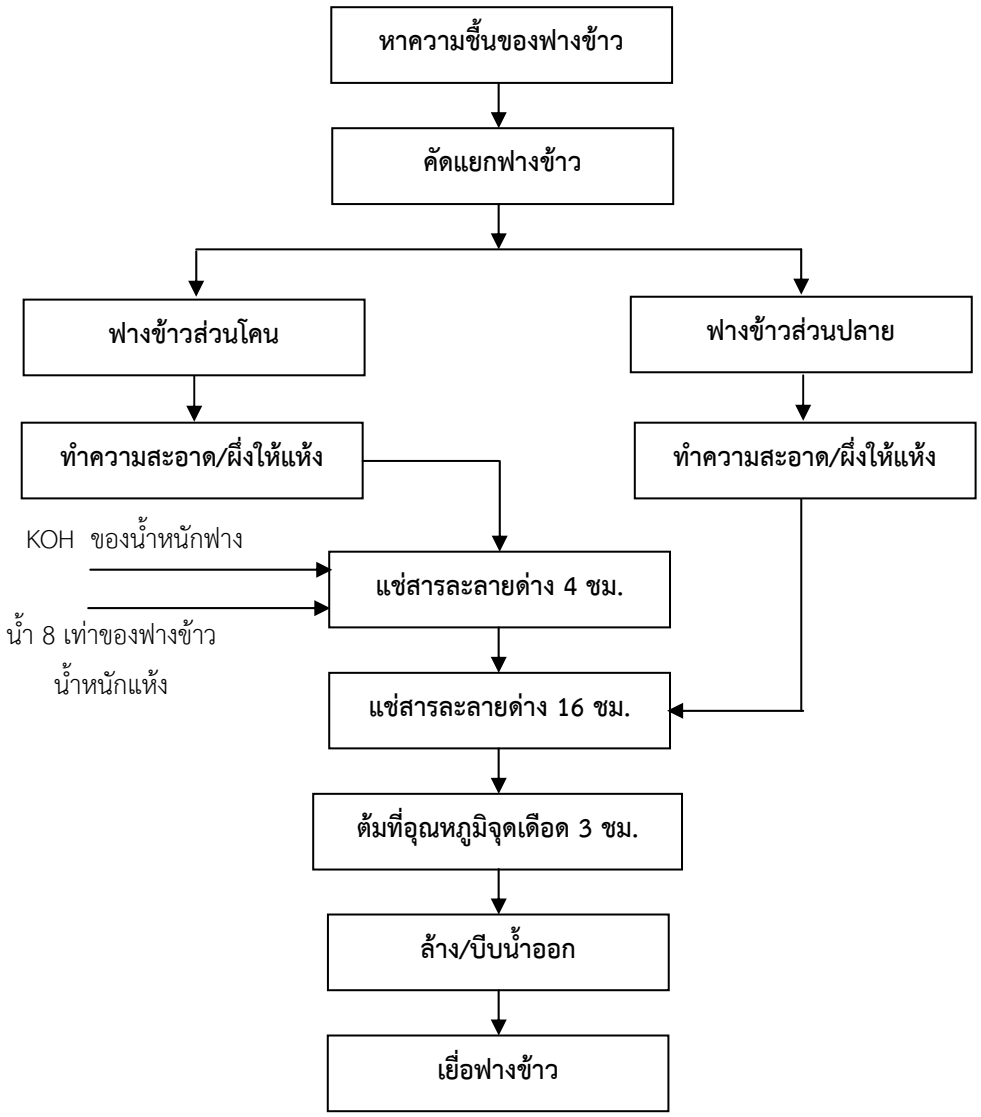
การขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากฟางข้าว, หญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว สามารถดำเนินการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนได้ทั้งแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ตัวประสาน. รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปฉนวนจากวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลทั้ง 3 ชนิด, มีดังนี้.

2.3.1 การขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

ในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.3.1.3 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อฟางข้าว

- นำตัวอย่างฟางข้าวหาค่าความชื้น
- แบ่งฟางข้าวเป็นส่วนโคนและส่วนปลาย (ส่วนปลายเป็นส่วนที่วัดจากโคนต้นขึ้นมาประมาณ 8 นิ้ว) และนำไปตัดย่อยให้ได้ขนาดประมาณ 1 นิ้ว และนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้งบนตะแกรง
- แช่ส่วนโคนฟางข้าวในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีการจัดเตรียมให้ได้สัดส่วนร้อยละ 14 ของน้ำหนักฟางข้าวแห้งผสมกับน้ำจำนวน 8 เท่าของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง, นำฟางข้าวแช่ในสารละลายดังกล่าวเป็นเวลา 4 ชั่วโมง, จากนั้นจึงนำส่วนปลายที่ล้างด้วยน้ำสะอาดและผึ่งให้แห้งแล้วลงแช่ผสมในสารละลายเดิมต่อไปอีก 16 ชั่วโมง.
- นำฟางข้าวและสารละลายทั้งหมดไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.
- ล้างฟางข้าวด้วยน้ำสะอาดจนหมดด่าง และบีบน้ำออก.
- รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อฟางข้าว ดังแสดงในรูปที่ 2.1.



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อฟางข้าว.

2.3.1.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบไม่ใช้ตัวประสาน

- นำเยื่อฟางข้าวที่บีบน้ำออกนี้ไปหาค่าความชื้น.
- จัดเตรียมเยื่อฟางข้าวให้ได้ปริมาณเหมาะสมตามความหนาฉนวนที่ต้องการ.
- นำเยื่อฟางข้าวมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่มีความกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้แรงกด 100 กิโลกรัม.
- นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้งบนตะแกรง.
- รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนได้แสดงในรูปที่ 2.2.

รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบไม่ใช้ตัวประสาน.

2.3.1.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบใช้ตัวประสาน

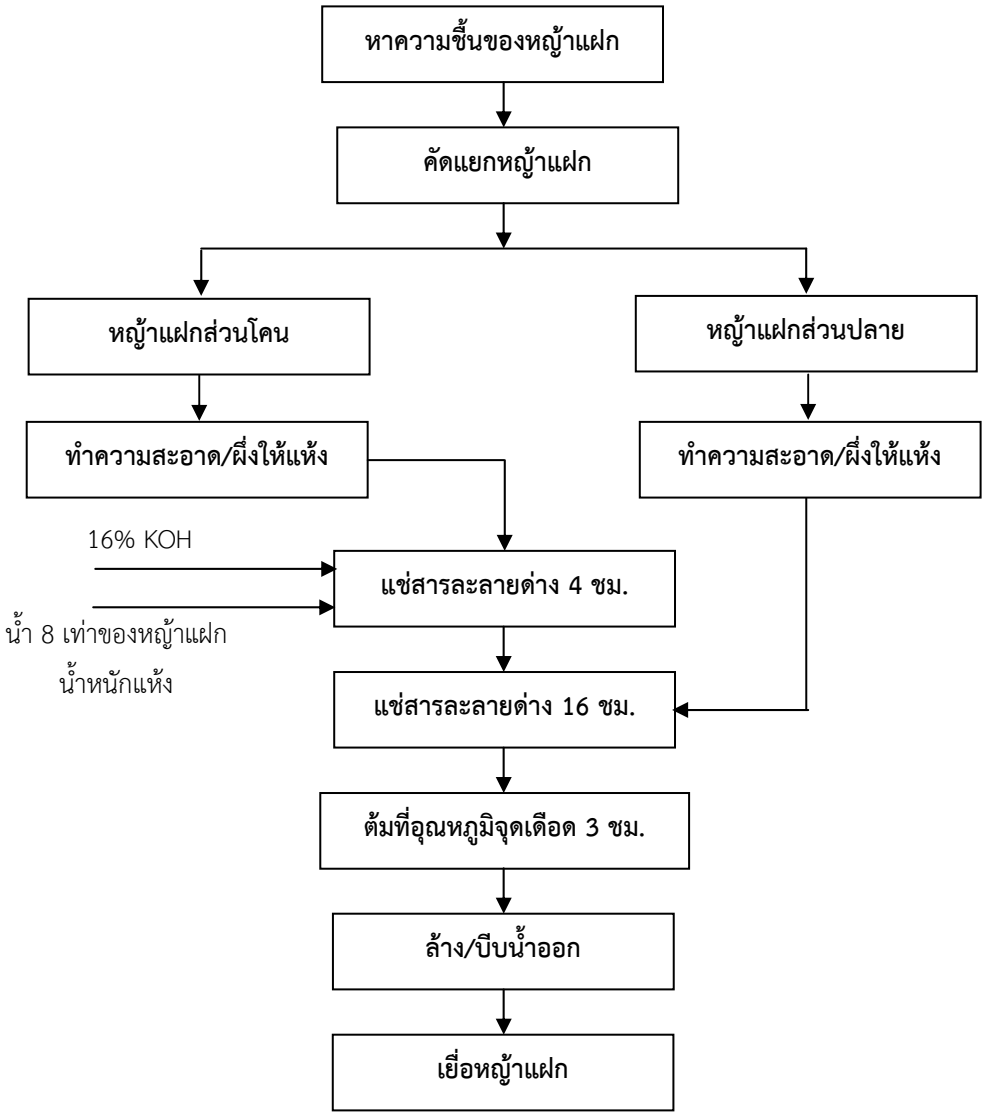
- นำเยื่อฟางข้าวที่บีบน้ำออกนี้ไปหาค่าความชื้น.
- ผสมเยื่อฟางข้าว (น้ำหนักแห้ง) และตัวประสานปูนพลาสเตอร์ ที่อัตราส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1.
- นำเยื่อฟางข้าวที่ผสมปูนพลาสเตอร์มาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่มีความกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้แรงกด 100 กิโลกรัม.
- นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้งบนตะแกรง.
- รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนตามที่แสดงในรูปที่ 2.2.

2.3.2 การขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก

ในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้:

2.3.2.3 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อหญ้าแฝก

- นำตัวอย่างหญ้าแฝกไปหาค่าความชื้น.
- แบ่งหญ้าแฝกเป็นส่วนโคนและส่วนปลาย (ส่วนปลายเป็นส่วนที่วัดจากโคนต้นขึ้นมาประมาณ 8 นิ้ว) และนำไปตัดย่อยให้ได้ขนาดประมาณ 1 นิ้ว และนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้งบนตะแกรง.
- แช่ส่วนโคนหญ้าแฝกในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีการจัดเตรียมให้ได้สัดส่วนร้อยละ 16 ของน้ำหนักหญ้าแฝกแห้ง ผสมกับน้ำจำนวน 8 เท่าของน้ำหนักหญ้าแฝกแห้ง นำหญ้าแฝกแช่ในสารละลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้น จึงนำส่วนปลายที่ล้างด้วยน้ำสะอาดและผึ่งให้แห้งแล้วลงแช่ผสมต่อไปอีก 16 ชั่วโมง.
- นำหญ้าแฝก และ สารละลายทั้งหมดไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.
- ล้างหญ้าแฝกด้วยน้ำสะอาดจนหมดด่าง นำเยื่อฟางข้าวนี้ไปบีบน้ำออก.
- รายละเอียดขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อหญ้าแฝก ดังแสดงในรูปที่ 2.3.



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเยื่อหญ้าแฝก.

2.3.2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบไม่ใช้ตัวประสาน

- นำเยื่อหญ้าแฝกที่บีบน้ำออกนี้ไปหาค่าความชื้น.
- จัดเตรียมเยื่อหญ้าแฝกให้ได้ปริมาณเหมาะสมตามความหนาฉนวนที่ต้องการ.
- นำเยื่อหญ้าแฝกมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่มีความกว้าง 24 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้แรงกด 100 กิโลกรัม.
- นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้งบนตะแกรง.
- รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนตามที่แสดงในรูปที่ 2.2.

2.3.2.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบใช้ตัวประสาน

- นำเยื่อหญ้าแฝกที่บีบน้ำออกนี้ไปหาค่าความชื้น.
- ผสมเยื่อหญ้าแฝก (ที่น้ำหนักแห้ง) และตัวประสานเป็นปูนพลาสเตอร์ ที่อัตราส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1.
- นำเยื่อหญ้าแฝกมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่มีความกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้แรงกด 100 กิโลกรัม.
- นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้งบนตะแกรง.
- รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนตามที่แสดงในรูปที่ 2.2.

2.3.3 การขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

เนื่องจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วนี้ มีคุณสมบัติเป็นเส้นใยเยื่อที่มีความเหมาะสมต่อการนำมาขึ้นรูปแผ่นฉนวนแล้ว, ดังนั้น จึงไม่ต้องมีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเส้นใยเยื่อ จึงมีเพียงขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวน.

2.3.3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วแบบไม่ใช้ตัวประสาน

- นำเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วนี้ไปหาค่าความชื้น.
- ผสมเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วเข้าด้วยกันตามอัตราส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ที่น้ำหนักแห้ง .
- จัดเตรียมเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วให้ได้ปริมาณเหมาะสม ตามความหนาของฉนวนที่ต้องการ.
- นำเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่มีความกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้แรงกด 100 กิโลกรัม.
- นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้งบนตะแกรง.
- รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนตามที่แสดงในรูปที่ 2.2.

2.3.3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วแบบใช้ตัวประสาน

- นำเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วนี้ไปหาค่าความชื้น.
- ผสมเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วเข้ากับตัวประสานเป็นปูนพลาสเตอร์ ตามอัตราส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ที่น้ำหนักแห้ง.

- จัดเตรียมเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วที่ผสมปูนพลาสเตอร์ให้ได้ปริมาณเหมาะสมตามความหนาของฉนวนที่ต้องการ.
- นำเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วมาขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ ที่มีความกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร โดยใช้แรงกด 100 กิโลกรัม.
- นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้งบนตะแกรง.
- รายละเอียดขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นแผ่นฉนวนตามที่แสดงในรูปที่ 2.2.

2.4 วิธีการทดสอบคุณสมบัติ

- ชั่งน้ำหนักและวัดความกว้าง, ความยาว และความหนาของชิ้นงาน เพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่น.
- วัดค่าการนำความร้อนด้วยวิธีลวดความร้อน โดยเครื่อง Quick Thermal Conductivity Meter ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 40 องศาเซลเซียส (ตามวิธีในมาตรฐาน JIS R2618).
- วัดค่าความต้านทานความร้อนด้วยวิธีการผ่านความร้อน โดยเครื่อง Heat Flow Meter Thermal Conductivity Instrumentation (ตามวิธีในมาตรฐาน ASTM C518).

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ในบทที่แล้วได้แสดงรายละเอียดการขึ้นรูปแผ่นฉนวนจากวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลทั้ง 3 ชนิด คือ ฟางข้าว, หญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว. ในบทนี้ได้มีการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุดังกล่าวข้างต้น โดยจะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติการนำความร้อน, การแตกร้าว และการต้านทานความร้อน. นอกจากนี้ ได้มีการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นฉนวนจากวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลที่ดีที่สุดกับแผ่นฉนวนเชิงพาณิชย์ชนิดต่างๆ.

3.1 แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวที่ผ่านกระบวนการผลิตขึ้นนี้ ถูกนำมาทดสอบหาคุณสมบัติการนำความร้อน, การแตกหัก และการต้านทานความร้อน, ดังนี้.

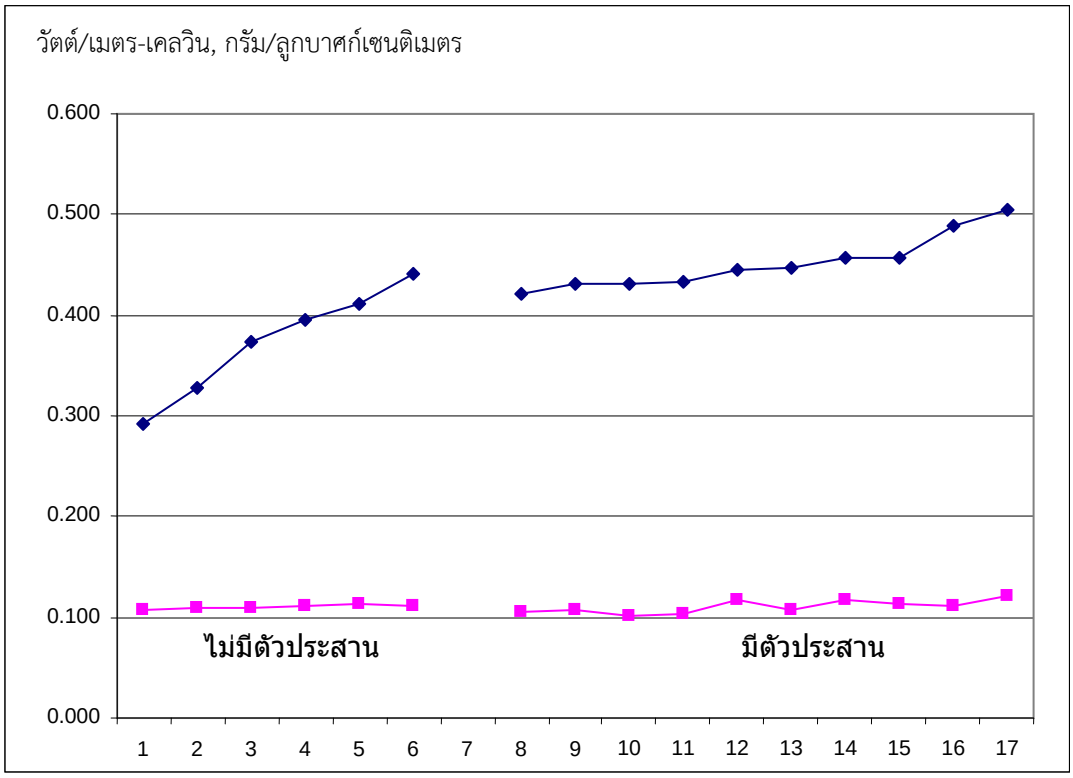
3.1.1 การทดสอบค่าการนำความร้อนและคุณสมบัติการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวที่ผลิตเพื่อการทดสอบนี้ ได้กำหนดให้ขึ้นรูปแผ่นฉนวนเป็น 2 แบบ คือ แบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานการยึดเกาะ, โดยใช้สัดส่วนเยื่อฟางข้าวต่างกัน, ซึ่งเมื่อผ่านแรงกดอัดคงที่บนแม่พิมพ์แล้วจะได้แผ่นฉนวนที่มีความหนาและความหนาแน่นต่างๆ กัน นำแผ่นฉนวนนี้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นฉนวน.

3.1.1.1 คุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน, มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.1100 วัตต์/เมตร-เคลวิน และ 0.1102 วัตต์/เมตร-เคลวิน, ตามลำดับ. แผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานเล็กน้อย, ปูนพลาสเตอร์ที่ผสมเข้าไปในแผ่นฉนวนเป็นส่วนที่ทำให้ค่าการนำความร้อนสูงขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสมต่อการนำมาทำเป็นวัสดุฉนวน แต่ปูนพลาสเตอร์จะเป็นตัวช่วยให้การประสานแผ่นฉนวนเกิดการยึดเกาะได้ดีขึ้น, ในการผลิตแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานมีการใช้สัดส่วนของเยื่อฟางข้าวต่อปูนพลาสเตอร์ตั้งแต่ 0.5 - 2.0 : 1.

นอกจากคุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจะมีผลจากตัวประสานแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและความหนาของแผ่นฉนวนด้วย. แต่ในการผลิตตัวอย่างฉนวนที่ความหนา แน่นเดียวกัน โดยให้มีความหนาต่างๆ กัน หรือที่ความหนาเดียวกันแต่มีความหนาแน่นต่างๆ กันนั้น ไม่สามารถกระทำได้โดยง่าย, ดังนั้น ในการผลิตตัวอย่างฉนวนเพื่อการทดสอบนี้ จึงไม่ได้มีการกำหนดค่าใดค่าหนึ่งไว้แน่นอน เพียงแต่การขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นฉนวนนี้ถูกกำหนดตามสัดส่วนเยื่อฟางข้าวและแรงกดอัดคงที่บนแม่พิมพ์ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแผ่นฉนวนกับค่าการนำความร้อน, พบว่า แผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.293–0.441 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนาเฉลี่ย 0.7 เซนติเมตร, มีค่าความร้อนระหว่าง 0.1077–0.1113 วัตต์/เมตร-เคลวิน. ส่วนแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.420–0.505 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนาเฉลี่ย 0.4 เซนติเมตร, มีค่าความร้อนระหว่าง 0.1016–0.1206 วัตต์/เมตร-เคลวิน (ดังแสดงในรูปที่ 3.1). จึงกล่าวได้ว่า ความหนาแน่นที่เพิ่มหรือการเพิ่มสัดส่วนของเยื่อฟางข้าวในแผ่นฉนวนทั้งการขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสาน และแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน มีผลทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง.



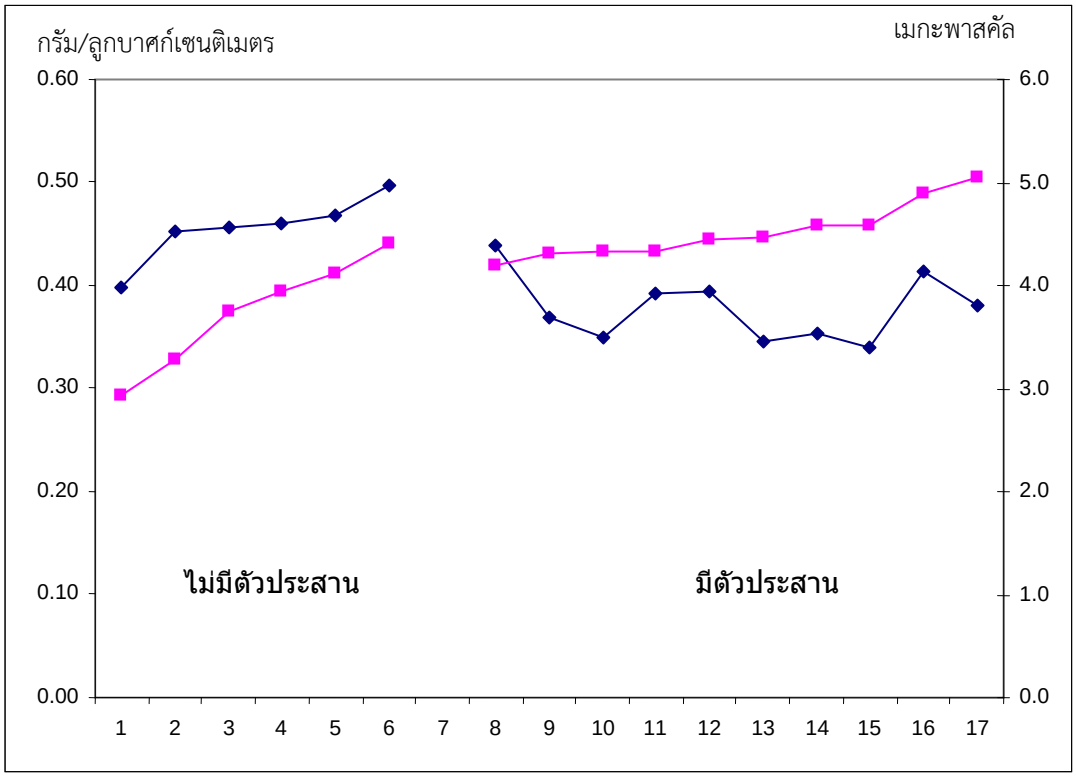
รูปที่ 3.1 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว.

3.1.1.3 คุณสมบัติการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน มีค่าการทนการแตกหักเฉลี่ย 4.552 เมกะพาสคัล และ 3.776 เมกะพาสคัล, ตามลำดับ, แผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานมีค่าการทนการแตกหักสูงกว่าแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน เนื่องจากปูนพลาสเตอร์ที่ผสมเข้าไปในแผ่นฉนวนเป็นส่วนที่ทำให้ค่าการทนการแตกหักต่ำ.

แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสาน มีคุณสมบัติการทนการแตกหักได้ดีขึ้นตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 3.2), โดยที่แผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.293– 0.441 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนา 0.7 เซนติเมตร, มีค่าการแตกหักระหว่าง 3.98–4.97 เมกะพาสคัล. คุณสมบัติการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสัดส่วนของเส้นใยเยื่อฟางข้าวสูงขึ้นทำให้การยึดเกาะประสานกันอย่างหนาแน่นขึ้น. ส่วนแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานกลับมีคุณสมบัติการทนการแตกหักลดลง ตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น. โดยที่แผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.420–0.505 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนา 0.4 เซนติเมตร มีค่าการทนการแตกหักระหว่าง 3.40–4.38 เมกะพาสคัล, เนื่องจากสัดส่วนของเส้นใยเยื่อฟางข้าวลดลงและสัดส่วนของปูนพลาสเตอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งปูนพลาสเตอร์ไม่ได้มีส่วนช่วยกับการยึดเกาะประสานมากนัก.

ค่าการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานมีค่าสูงกว่าแผ่นฉนวนที่มีตัวประสาน, ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ที่ต้องการใช้ตัวประสาน เนื่องจากต้องการให้มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใยมากขึ้น. ดังนั้น การทดลองแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวในขั้นตอนต่อไป จึงเลือกทำการทดลองเฉพาะกับการขึ้นรูปแผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น.



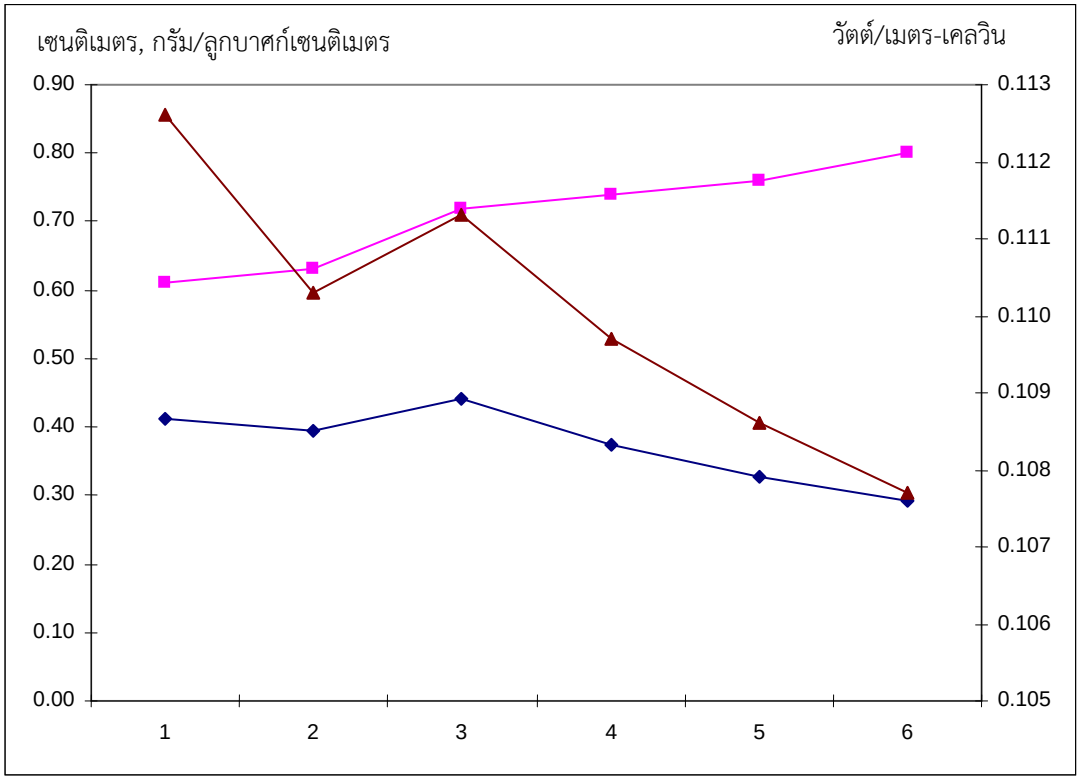
รูปที่ 3.2 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว.

3.1.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนากับการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป

แผ่นฉนวนที่มีการขายในท้องตลาดทั่วไปแล้วมีค่าความหนาแน่น 0.02–0.13 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนาอยู่ในช่วง 1-2 นิ้ว, ในการทดลองนี้ได้ทำการผลิตแผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นและความหนาใกล้เคียงกับที่ขายในท้องตลาดมากที่สุด. ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.3

ในการขึ้นรูปแผ่นฉนวนให้ได้ความหนาแน่นคงที่โดยมีความหนาต่างๆ กัน หรือกำหนด ให้ความหนาคงที่โดยเปลี่ยนแปลงแต่ความหนาแน่นนั้น, ไม่สามารถควบคุมให้ได้ขนาดตามที่ต้อง การได้โดยง่าย. ดังนั้น จึงได้กำหนดการขึ้นรูปแผ่นฉนวนที่เปลี่ยนแปลงได้ทั้งความหนาและความหนาแน่นและนำไปศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อน, พบว่า แผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นและความหนาลดลงมีค่าการนำความร้อนลดลง. กล่าวคือ การนำความร้อนมีค่าสูงขึ้น จาก 0.1077 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่น 0.293 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและความหนา 0.80 เซนติเมตร เป็น 0.1113 วัตต์/เมตร-เคลวิน เมื่อความหนาแน่นแผ่นฉนวน 0.441 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและความ

หนา 0.72 เซนติเมตร การที่ค่าการนำความร้อนสูงขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นนั้น ทำให้ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยเยื่อฟางข้าวลดลง. คุณสมบัติการนำความร้อนของอากาศที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำเพียง 0.0272 วัตต์/เมตร-เคลวิน (Donald and Leighton 1977), ในขณะที่เส้นใยเยื่อฟางข้าวมีคุณสมบัติการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.1077–0.1113 วัตต์/เมตร-เคลวิน. ส่วนความหนาของแผ่นฉนวนไม่มีผลต่อค่าการนำความร้อนของฉนวนมากนัก แต่ถ้าความหนาต่ำเกินไปและฉนวนนั้นถูกใช้งานในพื้นที่ที่มีลมพัด จะทำให้ฟองอากาศมีการเคลื่อนที่ คุณสมบัติการนำความร้อนของฟองอากาศจึงเปลี่ยนไป จากฟองอากาศที่อยู่นิ่งเป็นฟองอากาศที่มีการเคลื่อนไหว.



รูปที่ 3.3 คุณสมบัติค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวแบบไม่มีตัวประสานที่ค่าความหนาและความหนาแน่นต่างๆ.

3.1.2 คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

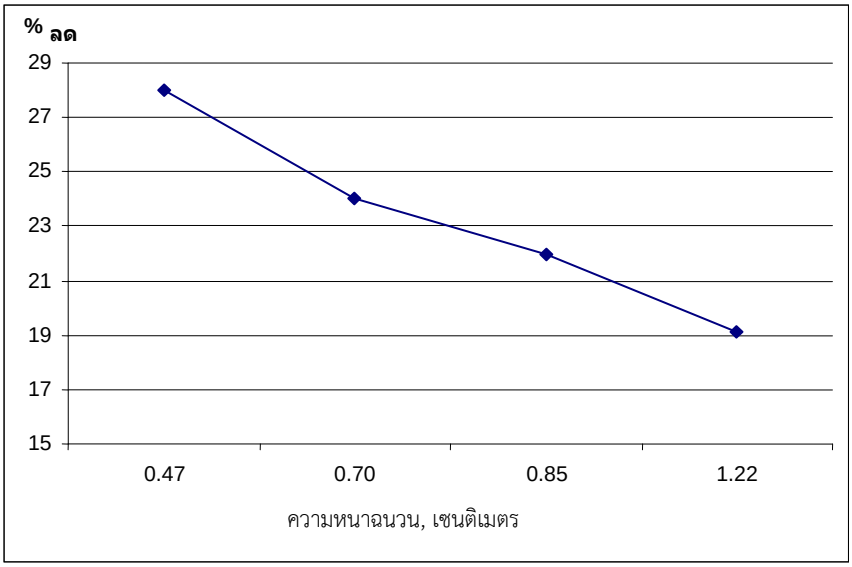
ในการนำฉนวนไปใช้งานนั้น ความหนาของฉนวนเป็นส่วนหนึ่งที่จะแสดงถึงความสามารถของฉนวนว่ามีความสามารถในการต้านทานความร้อนได้สูงหรือต่ำ. ถ้าค่าการต้านทานความร้อนสูงแสดงว่าฉนวนนั้นมีคุณสมบัติที่ดีเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน, แต่ถ้าค่าการต้านทานความร้อนต่ำ

แสดงว่าฉนวนนั้นไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน. ในการทดลองนี้ ได้กำหนดให้ฉนวนที่มีความหนาแน่น 0.2 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นความหนาแน่นของฉนวนที่มีการใช้งานกันมาก, เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติการต้านทานความร้อนโดยการแปรผันความหนาในช่วง 0.47–1.22 เซนติเมตร และอุณหภูมิในช่วง 20–80 องศาเซลเซียส, ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 3.1.

ตารางที่ 3.1 ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

อุณหภูมิ	**ความต้านทานความร้อน (ลูกบาศก์เมตร, เคลวิน/วัตต์) ที่ 8; k, หนา**			
(องศาเซลเซียส)	**0.47 ซม.**	**0.70 ซม.**	**0.85 ซม.**	**1.22 ซม.**
20	0.1713	0.2245	0.2728	0.2826
30	0.1633	0.2155	0.2628	0.2736
40	0.1553	0.2065	0.2528	0.2646
50	0.1473	0.1975	0.2428	0.2556
60	0.1393	0.1885	0.2328	0.2466
70	0.1313	0.1795	0.2228	0.2376
80	0.1233	0.1705	0.2128	0.2286
ค่าเฉลี่ย	**0.1473**	**0.1975**	**0.2428**	**0.2556**
เปอร์เซ็นต์ลดจาก 20°ซ.	**28.0**	**24.1**	**22.0**	**19.1**

ที่อุณหภูมิการใช้งานในช่วง 20–80 องศาเซลเซียส ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนในทุกความหนามีค่าลดลง เช่น แผ่นฉนวนหนา 0.47 เซนติเมตร ค่าการต้านทานความร้อนลดลงจาก 0.1713 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ ที่อุณหภูมิการใช้งาน 20 องศาเซลเซียส เป็น 0.1233 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ ที่อุณหภูมิการใช้งาน 80 องศาเซลเซียส ค่าการต้านทานความร้อนลดลงคิดเป็นร้อยละ 28.0. ในทำนองเดียวกัน, ที่ความหนาแผ่นฉนวน 0.70, 0.85 และ 1.22 เซนติเมตร ลดลงคิดเป็นร้อยละ 24.1, 22.0 และ 19.1, ตามลำดับ. ค่าการต้านทานความร้อนลดลงต่ำสุดที่ความหนาฉนวน 1.22 เซนติเมตร หรืออีกความหมายหนึ่งฉนวนมีคุณสมบัติการนำความร้อนลดลงต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับฉนวนที่ความหนา 0.47, 0.70 และ 0.85 เซนติเมตร. เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนตามอุณหภูมิการใช้งาน ช่วง 20-80 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3.4.



รูปที่ 3.4 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนตามอุณหภูมิการใช้งานของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว

3.2 แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก

แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกนำมาทดสอบหาคุณสมบัติการนำความร้อน การทนการแตกหักและการต้านทานความร้อน ดังนี้:

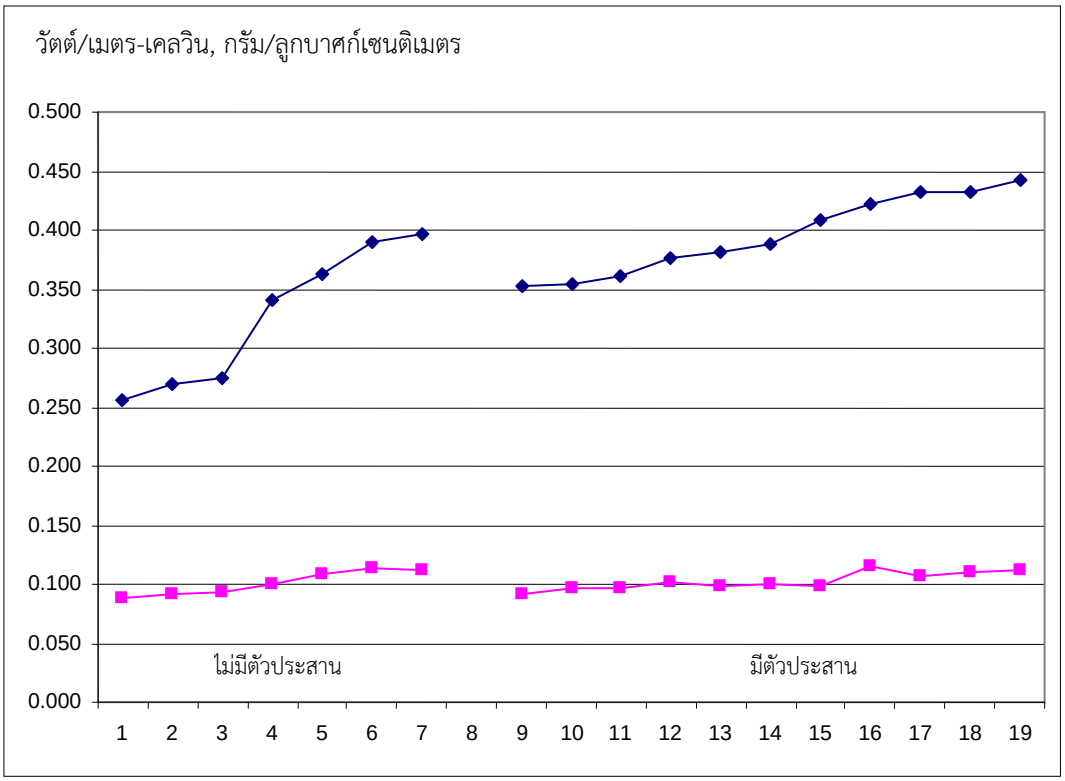
3.2.1 การทดสอบค่าการนำความร้อน และคุณสมบัติการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก

ในการผลิตแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกนี้ ได้มีการขึ้นรูปแผ่นฉนวนเป็น 2 แบบ เช่นเดียวกับการผลิตแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว, คือ แบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานการยึดเกาะ. การขึ้นรูปแผ่นฉนวนทั้ง 2 แบบนี้ได้มีการใช้สัดส่วนเยื่อหญ้าแฝกต่างๆ กัน, ซึ่งเมื่อผ่านแรงกดอัดคงที่บนแม่พิมพ์แล้วจะได้แผ่นฉนวนที่มีความหนาและความหนาแน่นต่างๆ กัน, นำแผ่นฉนวนนี้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติการเป็นฉนวน.

3.2.1.1 คุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก

แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.1009 วัตต์/เมตร-เคลวิน และ 0.1025 วัตต์/เมตร-เคลวิน, ตามลำดับ. แผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาส-เตอร์เป็นตัวประสานเล็กน้อย เนื่องจากของปูนพลาสเตอร์ที่ผสมเข้าไปในแผ่นฉนวนทำให้ค่าการนำความร้อนสูงขึ้น. ดังนั้น การใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานจึงไม่เหมาะสมกับวัสดุฉนวน. ในการผลิตแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานมีการใช้สัดส่วนของเยื่อหญ้าแฝกต่อปูนพลาส-เตอร์ 0.5 –2 : 1.

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก, พบว่า แผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานที่มีความหนาแน่นระหว่าง 0.255–0.396 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนาเฉลี่ย 0.6 เซนติเมตร, มีค่าความร้อนระหว่าง 0.0880–0.1119 วัตต์/เมตร-เคลวิน, ส่วนแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานที่มีความหนา แน่นระหว่าง 0.352–0.442 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนาเฉลี่ย 0.4 เซนติเมตร, มีค่าความร้อนระหว่าง 0.0915–0.1124 วัตต์/เมตร-เคลวิน, (ดังแสดงในรูปที่ 3.5). จึงกล่าวได้ว่า ความหนาแน่นที่เพิ่มหรือการเพิ่มสัดส่วนของเยื่อหญ้าแฝกในแผ่นฉนวนทั้งการขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสาน และแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานมีผลทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง. เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวกับเยื่อหญ้าแฝก, พบว่า วัสดุฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกมีคุณสมบัติค่าการนำความร้อนทั้งที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานใกล้เคียงกับวัสดุฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว.

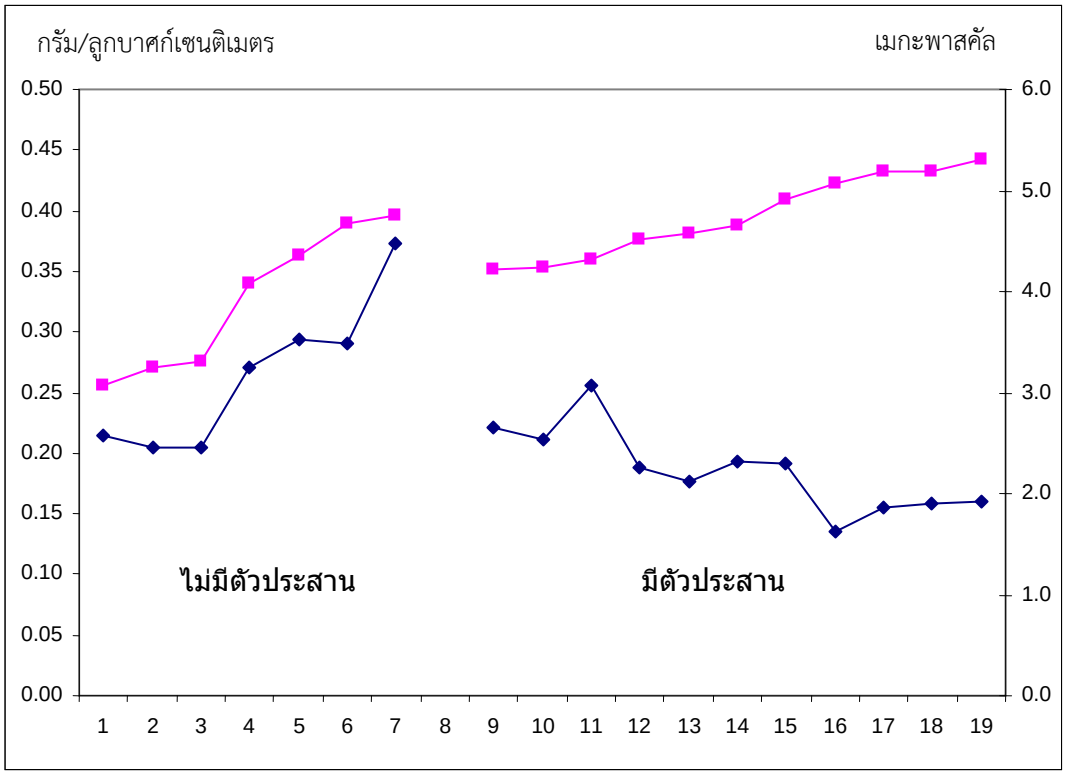


รูปที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก.

3.2.1.2 คุณสมบัติการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก

แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสาน มีคุณสมบัติการทนการแตกหักดีกว่าแบบที่ใช้ตัวประสานเช่นเดียวกับแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว กล่าวคือ แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานจะมีคุณสมบัติการทนการแตกหักได้ดีขึ้นตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น. โดยที่คุณสมบัติการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นจาก 2.57 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.255 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 4.48 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.396 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ตามรูปที่ 3.6. คุณสมบัติการทนการแตกหักที่เพิ่มขึ้นนี้ เนื่องจากสัดส่วนของเส้นใยเยื่อหญ้าแฝกสูงขึ้นทำให้การยึดเกาะประสานกันอย่างหนาแน่น. ส่วนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานกลับมีคุณสมบัติการทนการแตกหักลดลงตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยที่คุณสมบัติการแตกหักของแผ่นฉนวนลดลงจาก 2.65 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.352 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.93 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.442 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร. การใช้สัดส่วนของปูนพลาสเตอร์เพิ่มขึ้นได้ไปทดแทนเส้นใยเยื่อหญ้าแฝก ซึ่งปูนพลาสเตอร์มีคุณสมบัติการทนการแตกหักที่ต่ำกว่าเส้นใยเยื่อหญ้าแฝก.

ค่าการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบไม่ใช้ตัวประสานมีค่าดีกว่าแบบที่มีตัวประสาน, ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ที่ไม่ต้องการที่จะใช้ตัวประสาน. ดังนั้น การทดลองแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกในขั้นตอนต่อจากนี้ จึงเลือกทำการทดสอบกับการขึ้นรูปแผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น.

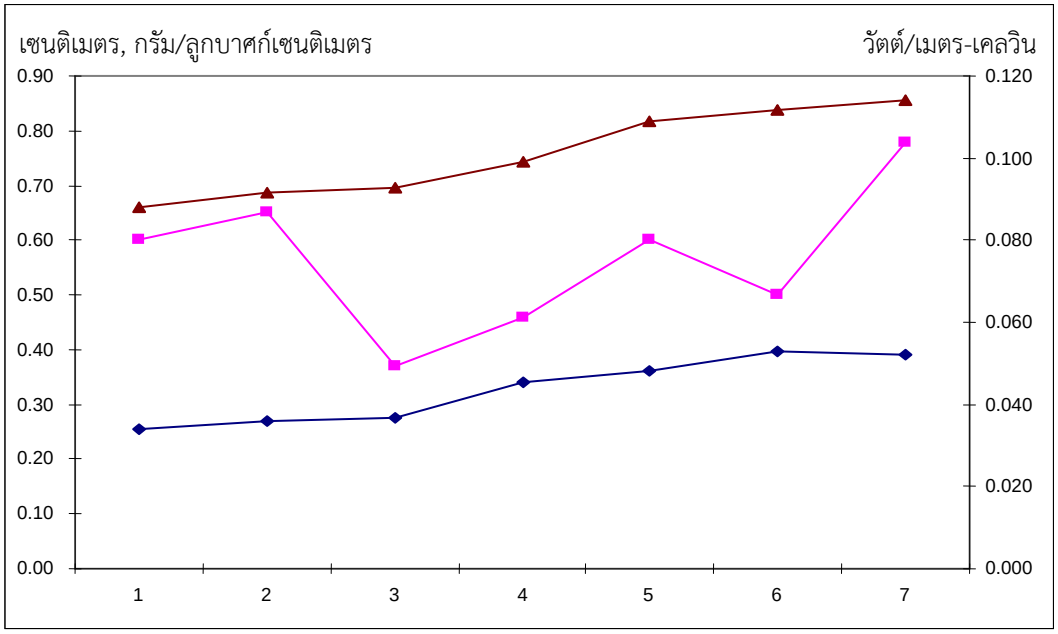


รูปที่ 3.6 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก.

3.2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนากับการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนากับการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปนี้, พบว่า เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 3.7. กล่าวคือ แผ่นฉนวนมีค่าการนำความร้อนสูงขึ้น จาก 0.0880 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่น 0.255 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและความหนา 0.60 เซนติเมตร เป็น 0.1141 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่น 0.389 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรและความหนา 0.78 เซนติเมตร. คุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกเป็นไปในทิศทางเดียวกับที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว. กล่าวคือ ความหนาของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นได้ทำให้ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยเยื่อหญ้าแฝกลดลง เป็นส่วนที่ทำให้ค่าคุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนสูงขึ้น.

ความหนาของแผ่นฉนวนไม่มีผลนักต่อค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนมากนัก. อย่างไรก็-ตาม, แผ่นฉนวนจะต้องมีความหนาเพียงพอที่ไม่ทำให้ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ภายในยังมีความเป็นฟองอากาศนิ่ง, ไม่สูญเสียคุณสมบัติการนำความร้อนของฟองอากาศนิ่งเมื่อมีการการเคลื่อนไหวอากาศรอบๆ ฉนวน.



รูปที่ 3.7 คุณสมบัติค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบไม่มีตัวประสานที่ค่าความหนาและความหนาแน่นต่างๆ.

3.2.2 คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก

แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกที่มีความหนาแน่น 0.2 กรัม/ตารางเซนติเมตร ความหนาอยู่ในช่วง 0.2–0.7 เซนติเมตร, ถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงการต้านทานความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 20–80 องศาเซลเซียส, ผลที่ได้ตามที่แสดงในตารางที่ 3.2.

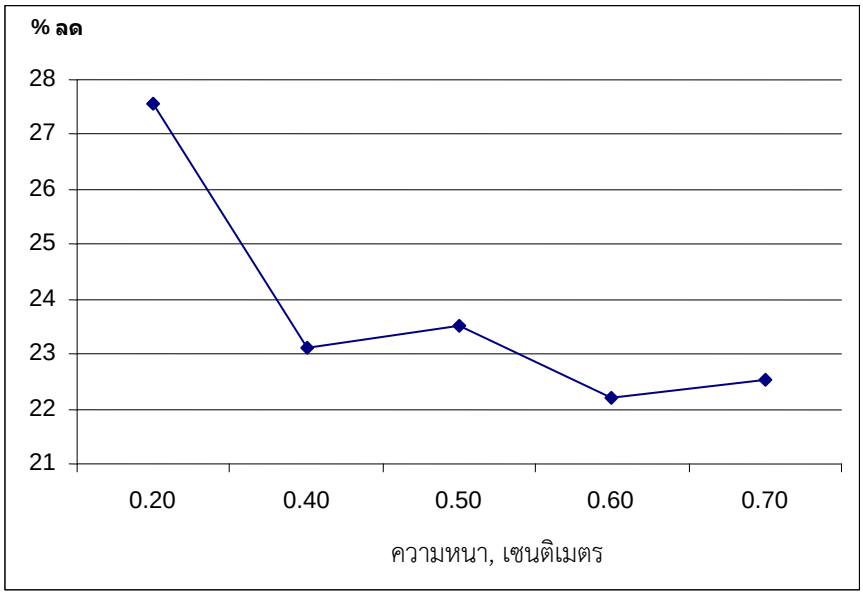
ตารางที่ 3.2 ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความต้านทานความร้อน (ตารางเมตร, เคลวิน/วัตต์) ที่ความหนา				
	0.2 ซม.	0.4 ซม.	0.5 ซม.	0.6 ซม.	0.7 ซม.
20	0.0871	0.1297	0.1532	0.1893	0.2396
30	0.0831	0.1247	0.1472	0.1823	0.2306
40	0.0791	0.1197	0.1412	0.1753	0.2216
50	0.0751	0.1147	0.1352	0.1683	0.2126
60	0.0711	0.1097	0.1292	0.1613	0.2036
70	0.0671	0.1047	0.1232	0.1543	0.1946
80	0.0631	0.0997	0.1172	0.1473	0.1856
ค่าเฉลี่ย	**0.0751**	**0.1147**	**0.1352**	**0.1683**	**0.2126**
เปอร์เซ็นต์ลดจาก 20^0 ซ.	**27.6**	**23.1**	**23.5**	**22.2**	**22.5**

แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีรูปแบบของค่าการต้านทานความร้อนลดลง ไปในทิศทางเดียวกับแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว (ดังแสดงในรูปที่ 3.3). แต่เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย เช่น แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกที่ความหนา 0.4 และ 0.7 เซนติเมตร มีค่าการต้านทานความร้อนลดลงร้อยละ 23.1 และ 22.5, ในขณะที่แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวมีค่าการต้านทานความร้อนลดลงร้อยละ 28.0 และ 24.1. กล่าวได้ว่า แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีคุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว เมื่อมีการใช้งานที่อุณหภูมิสูงขึ้น.

อย่างไรก็ตาม, ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากัน. จึงอาจสรุปความแตกต่างได้ว่า ที่ความหนาฉนวนต่ำที่ 0.4 เซนติเมตร, แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีค่าการต้านทานความร้อนเฉลี่ย 0.1147 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ ส่วนแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวมีค่าการต้านทานความร้อนเฉลี่ย 0.1473 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์, แสดงว่า แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีคุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนเลวกว่า แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว. แต่ที่ความหนาฉนวนสูงขึ้น เช่นที่ 0.7 เซนติเมตร, แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีค่าการต้านทานความร้อนเฉลี่ย 0.2126 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ ส่วนแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวมีค่าการต้านทานความร้อนเฉลี่ย 0.0.1975 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์, แสดงว่า แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีคุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว เช่นเดียวกัน.

จากการพิจารณาค่าการต้านทานความร้อนเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนทั้งสองแล้ว, แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกมีคุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว.



รูปที่ 3.8 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก.

3.3 แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว นำไปทดสอบหาคุณสมบัติการนำความร้อน การแตกหัก และการต้านทานความร้อนแผ่นฉนวน, ดังนี้.

3.3.1 การทดสอบค่าการนำความร้อนและคุณสมบัติการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

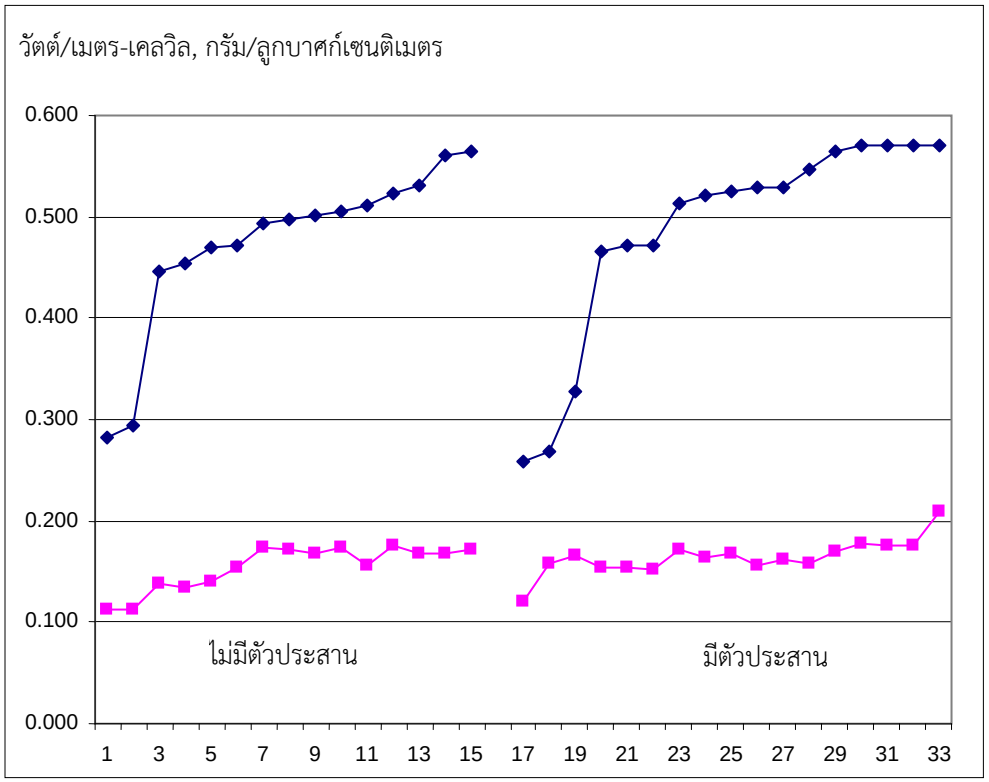
เศษเยื่อกระดาษนี้หลุดรอดผ่านแผ่นตะแกรงออกมาจากกระบวนการผลิตกระดาษ จึงผสมปนลงไปในระบบน้ำเสียของโรงงาน, ก่อนที่จะถูกแยกออกมาจากระบบกำจัดน้ำเสียในรูปของกากตะกอน (sludge). เศษเยื่อกระดาษเหล่านี้ไม่สามารถนำกลับมาใช้กับการผลิตกระดาษได้อีกแล้ว เนื่องจากความยาวเส้นใยเยื่อสั้นเกินไป.

กากตะกอนของเศษเยื่อกระดาษเหล่านี้ นำมารวมกับกระดาษใช้แล้วซึ่งเป็นเส้นใยเยื่อยาว เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะ, ส่วนผสมของเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วตามสัดส่วนต่างๆนำมาทำเป็นแผ่นฉนวนด้วยการขึ้นรูปเช่นเดียวกับการทำแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก, คือ แบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานการยึดเกาะ, ซึ่งเมื่อผ่านแรงกดอัดคงที่บนแม่พิมพ์แล้วจะได้แผ่นฉนวนที่มีความหนาต่างๆ กัน, นำไปหาค่าการนำความร้อนและการทนการแตกหัก.

3.3.1.1 คุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วแบบไม่ใช้ตัวประสาน มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.1544 วัตต์/เมตร-เคลวิน และแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานมีค่า 0.1645 วัตต์/เมตร-เคลวิน. แผ่นฉนวนที่ใช้เศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วทั้งแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว และเยื่อหญ้าแฝก, เนื่องจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วมีความเป็นตัวนำสูงกว่าเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก. อย่างไรก็ตาม, สัดส่วนของปูนพลาสเตอร์ที่ผสมเข้าไปในแผ่นฉนวน เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ค่าการนำความร้อนสูงขึ้นไปอีก. ในการผลิตแผ่นฉนวนใช้สัดส่วนของเศษเยื่อกระดาษต่อกระดาษใช้แล้วและต่อปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานเป็นสัดส่วนเฉลี่ย 1.0–2.0 : 0.0–1.0 : 1.0–1.5.

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว, พบว่า แผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานมีความหนาแน่นระหว่าง 0.283–0.565 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนาเฉลี่ย 0.6 เซนติเมตร, มีค่าความร้อนระหว่าง 0.1130–0.1749 วัตต์/เมตร-เคลวิน. ส่วนแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสานมีความหนาแน่นระหว่าง 0.258–0.570 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ความหนาเฉลี่ย 0.8 เซนติเมตร, มีค่าความร้อนระหว่าง 0.1211–0.2088 วัตต์/เมตร-เคลวิน (ดังแสดงในรูปที่ 3.9). เช่นเดียวกับแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก คือ เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นหรือการเพิ่มสัดส่วนของเยื่อหญ้าแฝกในแผ่นฉนวนทั้งการขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน, มีผลทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง. เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุฉนวนที่ผลิตกับเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝกแล้ว, พบว่า วัสดุฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว มีคุณสมบัติการนำความร้อนทั้งที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน ที่ด้อยกว่าวัสดุฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก.



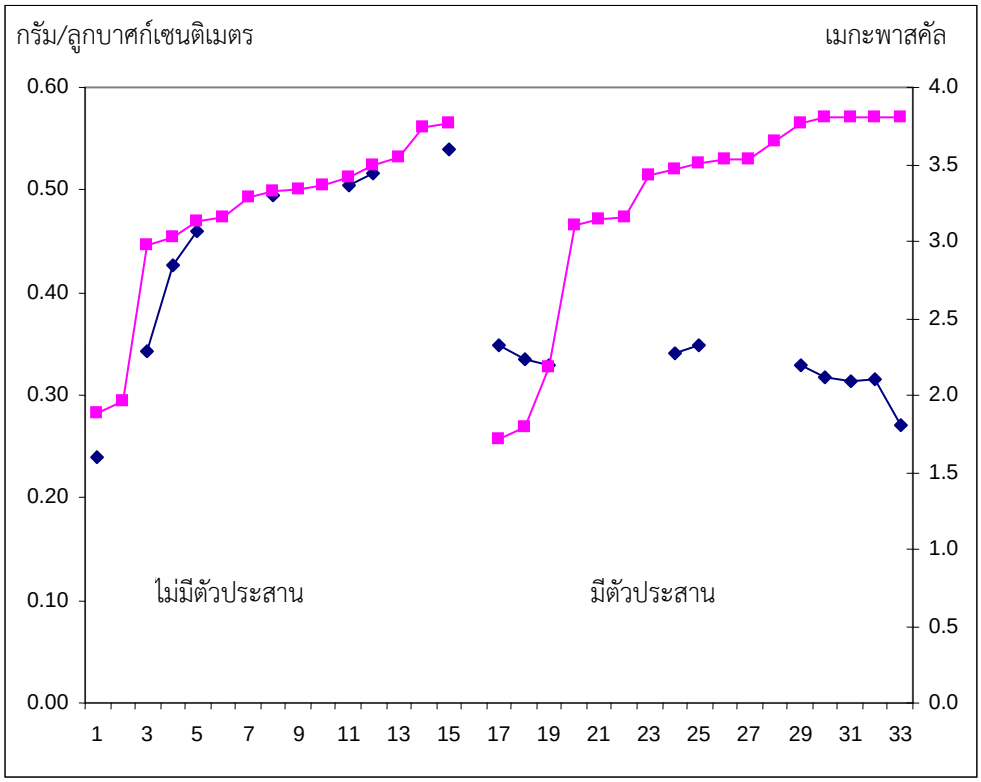
รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนของเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว.

3.3.1.2 คุณสมบัติการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานและแบบที่ใช้ตัวประสาน มีคุณสมบัติการทนการแตกหักไปในแนวเดียวกับแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก. กล่าวคือ แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วที่ขึ้นรูปแบบไม่ใช้ตัวประสานจะมีคุณสมบัติการทนการแตกหักได้ดีขึ้นตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น, โดยที่คุณสมบัติการแตกหักของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นจาก 1.60 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.283 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 3.60 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.565 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ดังแสดงในรูปที่ 3.10 คุณสมบัติการทนการแตกหักที่เพิ่มขึ้นนี้. เนื่องจากแผ่นฉนวนมีสัดส่วนของเส้นใยเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วสูงขึ้น ทำให้เกิดการยึดเกาะประสานกันอย่างหนาแน่นมากขึ้น. ผลการทดสอบพบว่าปูนพลาสเตอร์ไม่ได้มีส่วนช่วยกับการยึดเกาะประสานมากนัก ส่วนการขึ้นรูปแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน กลับมีคุณสมบัติการทนการแตกหักลดลงตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น, โดยที่คุณสมบัติการแตกหักของแผ่นฉนวนลดลงจาก 2.33 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.258

กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น 1.81 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่น 0.570 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร. การใช้สัดส่วนของปูนพลาสเตอร์เพิ่มขึ้นได้ไปทดแทนสัดส่วนของเส้นใยเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว.

ค่าการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานของแผ่นฉนวนมีค่าสูงกว่าที่มีตัวประสาน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการนี้ที่ไม่ต้องการใช้ตัวประสาน. ดังนั้น การทดลองแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วในขั้นตอนต่อจากนี้ จึงทำการทดลองเฉพาะกับการขึ้นรูปแผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น.

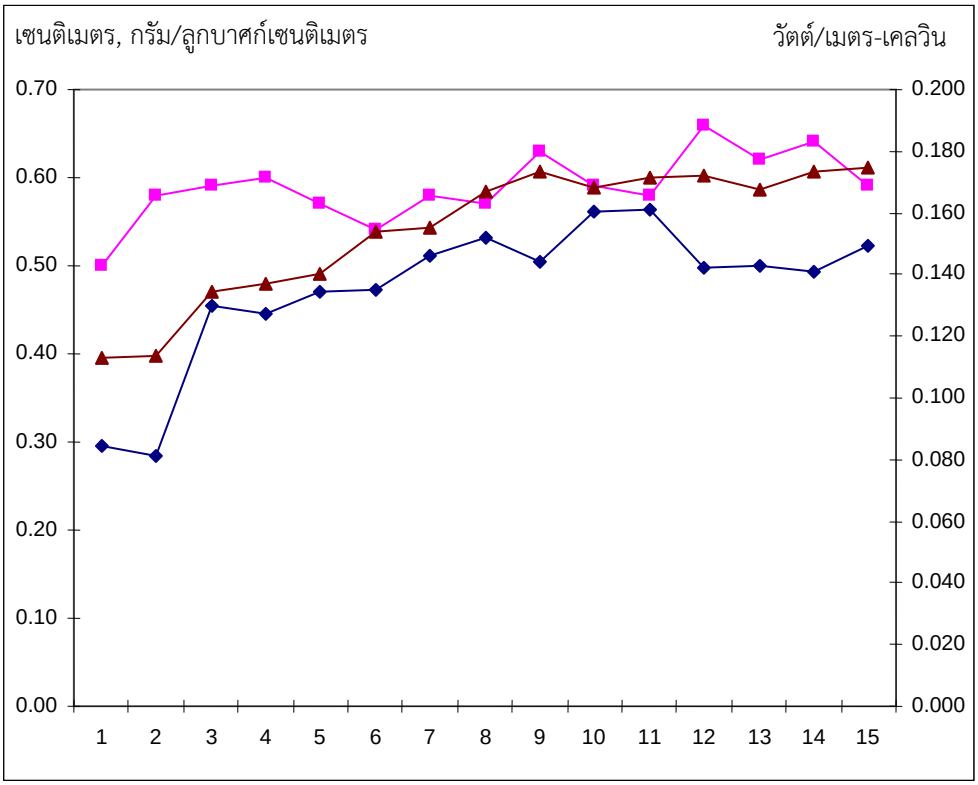


รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นและค่าการทนการแตกหักของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว.

3.3.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนากับการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูป

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนากับการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วที่ไม่ใช้ตัวประสานในการขึ้นรูปนี้ มีลักษณะเช่นเดียวกับฟางข้าวและหญ้าแฝกดังแสดงในรูปที่ 3.11. คุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนลดลงเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น, จากค่าการนำความร้อนเริ่มต้นที่ 0.1330 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่น 0.294 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, เพิ่มขึ้นเป็น 0.1714 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่น 0.565 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร. แผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นในช่วง 0.493–0.565 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, คุณสมบัติการนำความร้อนจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักโดยมีค่าที่ประมาณ 0.1693 วัตต์/เมตร-เคลวิน. การที่ค่าการนำความร้อนลดลงมีสาเหตุจากฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วลดลงตามความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น.

ในการทดลองนี้ เมื่อความหนาของแผ่นฉนวนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย พบว่า ไม่มีผลมากนักต่อค่าการนำความร้อนของฉนวน ทั้งนี้ ความหนาของแผ่นฉนวนจะต้องหนาเพียงพอ ที่ไม่ทำให้ฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ภายในยังมีความเป็นฟองอากาศนิ่ง ไม่สูญเสียคุณสมบัติการนำความร้อนของฟองอากาศนิ่งเมื่อมีการการเคลื่อนไหวอากาศรอบๆ ฉนวน.



รูปที่ 3.11 คุณสมบัติค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วแบบไม่มีตัวประสานที่ค่าความหนาและความหนาแน่นต่างๆ.

3.3.2 คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วที่มีความหนาแน่น 0.2 กรัม/ตารางเซนติเมตร, ความหนา 0.5 เซนติเมตร, ถูกนำไปทดสอบเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงการต้านทานความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 20–80 องศาเซลเซียส. ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.3.

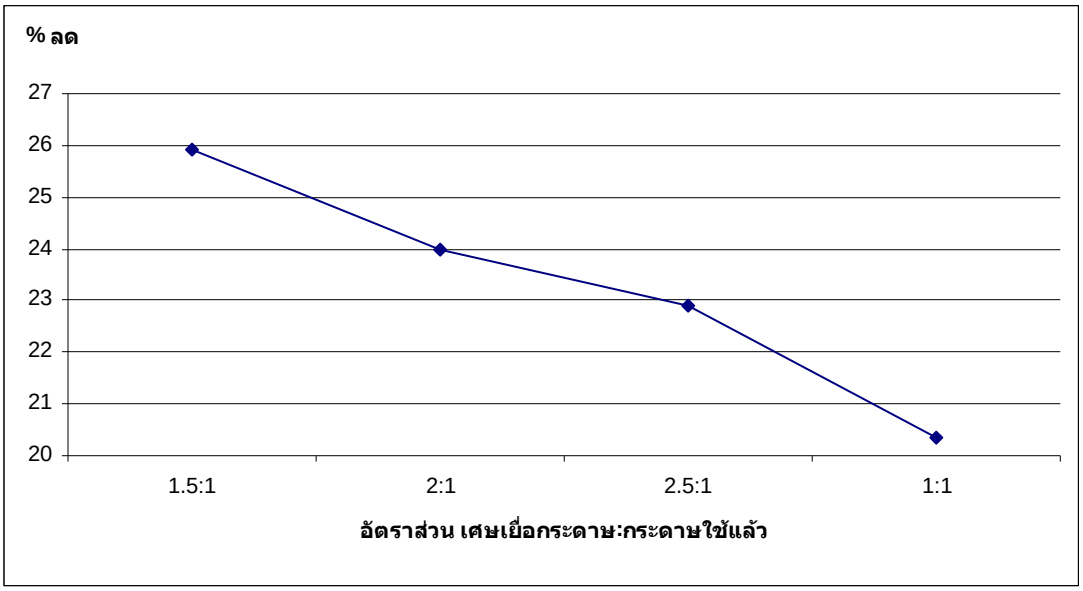
ตารางที่ 3.3 ค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความต้านทานความร้อน (ตารางเมตร, เคลวิน/วัตต์) ที่อัตราส่วนเศษเยื่อกระดาษ : กระดาษใช้แล้ว			
	1 : 1	1.5 : 1	2 : 1	2.5 : 1
20	0.1180	0.1466	0.1251	0.1223
30	0.1140	0.1403	0.1201	0.1176
40	0.1100	0.1340	0.1151	0.1130
50	0.1060	0.1276	0.1101	0.1083
60	0.1020	0.1213	0.1051	0.1036
70	0.0980	0.1150	0.1001	0.0990
80	0.0940	0.1086	0.0951	0.0943
ค่าเฉลี่ย	**0.1060**	**0.1276**	**0.1101**	**0.1083**
เปอร์เซ็นต์ลดจาก 20^0 ซ.	**20.3**	**25.9**	**24.0**	**22.9**

ตามที่ได้มีการทดสอบค่าการเปลี่ยนแปลงการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก, พบว่า คุณสมบัติการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนบางลดลงมาก กว่าแผ่นฉนวนหนาเมื่ออุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น, หรืออีกความหมายหนึ่ง คุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนของแผ่นฉนวนบางลดลงมากกว่าแผ่นฉนวนหนาเมื่ออุณหภูมิใช้งานสูงขึ้น. ดังนั้น แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วจะมีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนเช่นเดียวกับแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก. ในการทดสอบแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วนี้, จึงไม่มีการแปรผันความหนาของแผ่นฉนวน. แต่จะแปรผันที่สัดส่วนของเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วเท่านั้น, ซึ่งสัดส่วนของเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วเป็น 1:1, 1.5:1, 2:1 และ 2.5:1. โดยกำหนดความหนาของแผ่นฉนวนไว้ที่ 0.5 เซนติเมตร ความหนาแน่น 0.2 กรัม/ตารางเซนติเมตร และทดสอบเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงการต้านทานความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 20–80 องศาเซลเซียส. ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.4.

การทดสอบแผ่นฉนวนเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว พบว่า รูปแบบของค่าการต้านทานความร้อนลดลงไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวและเยื่อหญ้าแฝก (ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2). โดยที่แผ่นฉนวนที่มีสัดส่วนเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว 1.5:1 เป็นแผ่นฉนวนที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนมากที่สุด, และแผ่นฉนวนที่มีสัดส่วนเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว 1:1 เป็นแผ่นฉนวนที่มีเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนน้อยที่สุด. กล่าวโดยสรุป แผ่นฉนวนที่มีสัดส่วนเศษเยื่อกระดาษและ

กระดาษใช้แล้ว 1:1 มีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งาน, และแผ่นฉนวนที่มีสัดส่วนเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว 1.5:1 มีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนที่ไม่ควรนำไปใช้งานมากที่สุด.



รูปที่ 3.12 เปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว.

3.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว เยื่อหญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

คุณสมบัติความเป็นฉนวนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว, เยื่อหญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว, แบบที่ไม่มีตัวประสานเป็นแบบที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นฉนวนมากกว่าแบบที่ใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน. ดังนั้น ในการเปรียบเทียบแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด จะมีการพิจารณาแผ่นฉนวนแบบไม่ใช้ตัวประสานเท่านั้น.

การผลิตแผ่นฉนวนจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด ให้ได้ความหนาและความหนาแน่นเท่ากันเพื่อการเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นฉนวนนั้นไม่สามารถกระทำได้โดยง่าย ดังนั้น แผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด จึงมีความแตกต่างทั้งความหนาและความหนาแน่น. แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้ จึงได้เลือกแผ่นฉนวนที่มีความหนาอยู่ในช่วง 0.61–0.66 เซนติเมตร

เท่านั้น. ตามที่แสดงในตารางที่ 3.4 ความหนาแน่นของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝก, เยื่อฟางข้าว และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว อยู่ในช่วง 0.286–0.297, 0.411–0.418 และ 0.472–0.498 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ตามลำดับ.

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด

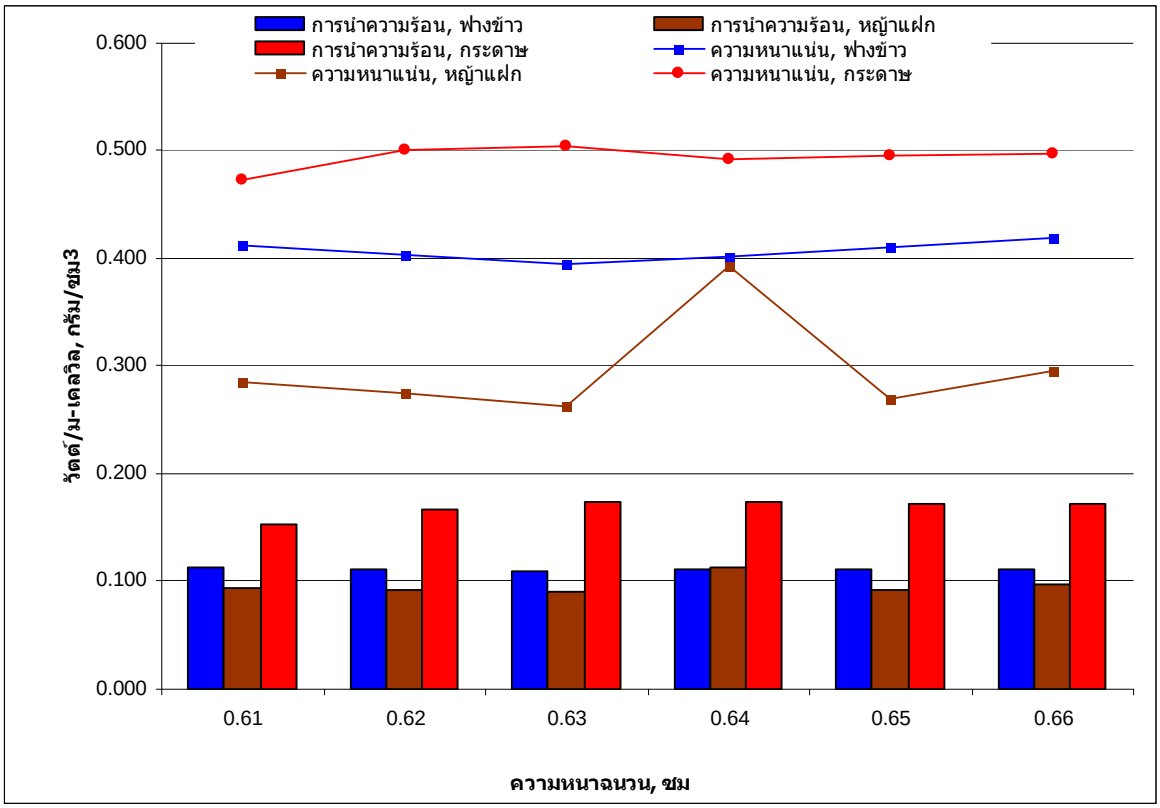
ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)		
	เยื่อฟางข้าว	เยื่อหญ้าแฝก	เยื่อกระดาษและการดาษใช้แล้ว
0.61	0.411	0.286	0.473
0.62	0.403	0.274	0.500
0.63	0.394	0.263	0.504
0.64	0.402	0.393	0.493
0.65	0.410	0.270	0.495
0.66	0.418	0.297	0.498

คุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนที่จะนำมาพิจารณาเพื่อการเปรียบเทียบแผ่นฉนวนจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด คือ ค่าการนำความร้อนและค่าการต้านทานความร้อน.

3.4.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว เยื่อหญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

คุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้, ได้กำหนดแผ่นฉนวนที่จะนำมาเปรียบเทียบที่ความหนา 0.5 เซนติเมตร, โดยพิจารณาความเป็นวัสดุฉนวนจากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและค่าการนำความร้อน. จากผลที่ได้จากการทดสอบในเบื้องต้นนั้น แผ่นฉนวนที่มีค่าความหนาแน่นสูงจะมีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนต่ำหรือมีค่าการนำความร้อนสูง, รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว. โดยที่แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกมีความหนาแน่นเฉลี่ยน้อยที่สุด 0.297 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร, ฟางข้าว 0.407 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วมีความหนาแน่นเฉลี่ยมากที่สุดที่ 0.494 กรัม/ลบ.ซม. แผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวและจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว มีความหนาแน่นสูงกว่าแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกร้อยละ 37.0 และ 66.4, ตามลำดับ. จากความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนที่กล่าวในเบื้องต้น, แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกซึ่งมีค่าความหนาแน่นต่ำสุดควรจะมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด. ผลความสดที่ได้ พบว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกมีค่าการนำความร้อนเฉลี่ยต่ำที่สุด 0.0962 วัตต์/เมตร-เคลวิน, ฟางข้าว 0.1113

วัตต์/เมตร-เคลวิน และแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว 0.1686 วัตต์/เมตร-เคลวิน, ซึ่งแผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวและจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว มีค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกร้อยละ 15.7 และ 75.3, ตามลำดับ. กล่าวสรุปได้ว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกมีความเหมาะสมกับการนำไปเป็นวัสดุฉนวนมากที่สุด.



รูปที่ 3.13 ค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุ 3 ชนิด.

เนื่องจากแผ่นฉนวนที่นำมาเปรียบเทียบข้างต้นมีค่าความหนาแน่นไม่เท่ากัน โดยที่แผ่นฉนวนที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดย่อมจะมีค่าการนำความร้อนต่ำสุด. ผลการทดลองที่ได้ตามรูปที่ 3.13 แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝก ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยที่สุดและแสดงค่าการนำความร้อนต่ำสุดนั้น ยังเป็นการสรุปไม่ถูกต้องนัก. ดังนั้น จึงได้เพิ่มการเปรียบเทียบให้ค่าการนำความร้อนอยู่ในรูปของหนึ่งหน่วยความหนาแน่น ซึ่งเป็นค่าที่มีฐานเดียวกัน. ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ค่าการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่นของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวมีค่าต่ำที่สุด 0.2737 (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร), ตามด้วยเยื่อหญ้าแฝก 0.3267 (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว 0.3411 (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/(กรัม/

ลูกบาศก์เซนติเมตร). แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกและจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว มีค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวร้อยละ 19.3 และ 24.6, ตามลำดับ.

ตารางที่ 3.5 ค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากการทดลองต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่น

ความหนา (เซนติเมตร)	เยื่อฟางข้าว (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	เยื่อหญ้าแฝก (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	เยื่อกระดาษและการดาษใช้แล้ว (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
0.61	0.2737	0.3296	0.3218
0.62	0.2766	0.3356	0.3345
0.63	0.2796	0.3420	0.3439
0.64	0.2751	0.2878	0.3525
0.65	0.2708	0.3393	0.3488
0.66	0.2666	0.3258	0.3451
เฉลี่ย	**0.2737**	**0.3267**	**0.3411**
ร้อยละที่เพิ่มขึ้น (ตามเยื่อฟางข้าว)	**-**	**19.3**	**24.6**

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้ข้อมูลในการวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงได้พิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นวัสดุฉนวนทางด้านการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนนั้น. ประกอบด้วย

3.4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว เยื่อหญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว

แผ่นฉนวนทั้ง 3 ชนิด ที่นำมาใช้พิจารณาเปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใช้งานนี้ เป็นแผ่นฉนวนที่ขนาดความหนา 0.5 เซนติเมตร และมีความหนาแน่น 0.2 กรัม/ตารางเซนติเมตร, ผลที่ได้ที่แสดงในตารางที่ 3.6 พบว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวมีค่าการต้านทานความร้อนระหว่าง 0.1292–0.1780 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์, มีค่าเฉลี่ย 0.1536 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ ตามด้วยเยื่อหญ้าแฝกระหว่าง 0.1172–0.1532 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์, มีค่าเฉลี่ย 0.1352 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วระหว่าง 0.0940–0.1180 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ มีค่าเฉลี่ย 0.1060 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์. เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิใช้งานกับแผ่นฉนวนจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด ค่าการต้านทานความร้อนเปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุดกับแผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวถึงร้อยละ 27.4, รองลงมาเป็นแผ่นฉนวนที่ผลิตจาก

เยื่อหญ้าแฝกลดลงร้อยละ 23.5 และแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้ลดลงร้อยละ 20.3.

จากการเปลี่ยนแปลงค่าการต้านทานความร้อนดังกล่าว, แผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวมีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนดีที่สุด เนื่องจากมีการต้านทานความร้อนสูงที่สุดซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ให้ความร้อนไหลผ่านได้ง่าย. แม้ว่าเมื่ออุณหภูมิใช้งานที่สูงขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส, แผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวจะมีค่าการต้านทานความร้อนลดลงสูงสุดถึงร้อยละ 27.4. อย่างไรก็ตาม แต่ยังมีค่าการต้านทานความร้อนสูงกว่าแผ่นฉนวนจากวัสดุอื่นๆ. แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วมีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนต่ำที่สุด,

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุ 3 ชนิด

อุณหภูมิใช้งาน (องศาเซลเซียส)	เยื่อฟางข้าว (ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์)	เยื่อหญ้าแฝก (ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์)	เยื่อกระดาษและการดาษใช้แล้ว (ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์)
20	0.1780	0.1532	0.1180
30	0.1698	0.1472	0.1140
40	0.1617	0.1412	0.1100
50	0.1536	0.1352	0.1060
60	0.1455	0.1292	0.1020
70	0.1373	0.1232	0.0980
80	0.1292	0.1172	0.0940
เฉลี่ย	**0.1536**	**0.1352**	**0.1060**
ร้อยละที่เพิ่มขึ้น จาก 20^0 ซ.	**27.4**	**23.5**	**20.3**

จากผลการพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติการนำความร้อนและการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุ 3 ชนิดแล้ว, กล่าวสรุปได้ว่า แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวมีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนได้ดีที่สุด, เนื่องจากมีค่าการต้านทานความร้อนสูงที่สุดและการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่นต่ำสุด, รองลงมาเป็นจากเยื่อหญ้าแฝก และจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว.

3.4.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวกับแผ่นฉนวนเชิงพาณิชย์

แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวมีคุณสมบัติความเป็นฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกและจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว. แต่การที่จะนำแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวไปใช้งานจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นฉนวนกับแผ่นฉนวนที่มีการขายในเชิงพานิชย์ที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกัน เช่น ฉนวนใยแก้ว, แผ่นยิปซัม เป็นต้น, คุณสมบัติการนำความร้อนเป็นค่าที่แสดงการเป็นวัสดุฉนวนที่สำคัญค่าหนึ่ง จึงเป็นค่าที่นำมาใช้สำหรับการเปรียบ เทียบ, ดังแสดงในตารางที่ 3.7.

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติการนำความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวกับแผ่นฉนวนเชิงพาณิชย์

คุณสมบัติ	ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	การนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน)
แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าว ที่ไม่มีการใช้ตัวประสาน ที่อุณหภูมิทดสอบ 40°ซ. ความหนา 0.6 เซนติเมตร	407	0.1113
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความชื้น	775	0.2973
แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนไฟ	885	0.3533
แผ่นยิปซัมบอร์ด	800	0.2820
แผ่นไม้อัด	907	0.2290
แผ่นโฟม	20	0.0408
ใยแก้ว	69	0.0410
ใยแก้วอะลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน	130	0.0460

เปรียบเทียบแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวกับแผ่นฉนวนที่มีการขายในเชิงพานิชย์แล้วพบว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวมีความเป็นวัสดุฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนประเภทยิปซัมและไม้อัด, แต่มีความเป็นวัสดุฉนวนที่ด้อยกว่าแผ่นฉนวนประเภทใยแก้วและโฟม.

แม้ว่าแผ่นฉนวนประเภทใยแก้วและโฟมมีความเป็นวัสดุฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว, แต่แผ่นฉนวนเหล่านี้ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์. โดยทั่วไป เส้นใยสังเคราะห์มักทำจากผลิตภัณฑ์น้ำมัน, ในขณะที่แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวเป็นวัสดุที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติ, เส้นใยทั้งสองมีข้อที่นำมาพิจารณาเปรียบเทียบตามที่แสดงดังตารางที่ 3.8.

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบการใช้วัสดุเส้นใยสังเคราะห์กับเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยสังเคราะห์	เส้นใยธรรมชาติ
1. กระบวนการผลิตมีการปลดปล่อยมลพิษ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ	1. กระบวนการผลิตมีการใช้สารเคมีชนิดไม่เป็นพิษต่อสุขภาพ
2. เป็นวัสดุที่ได้จากการผลิต/พลอยได้จากกระบวนผลิตและต้องนำเข้า	2. เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการทำเกษตรกรรมภายในประเทศ
3. การกำจัดยุ่งยากและมีมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ค่ากำจัดแพง	3. การกำจัดไม่ยุ่งยาก เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติ ค่ากำจัดถูก
5. ย่อยสลายตามธรรมชาติยาก ทำให้ใช้เวลาในการย่อยสลายนาน	5. ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ
7. เส้นใยเหนียว ทนทานต่อการใช้งาน	7. เส้นใยมีความเหนียว ทนทานน้อยกว่าใยสังเคราะห์

เมื่อพิจารณาการนำเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติมาใช้ผลิตแผ่นฉนวน เส้นใยธรรมชาติมีความได้เปรียบกว่า เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายภายในประเทศและก่อให้เกิดมลภาวะน้อยกว่า ส่วนเส้นใยสังเคราะห์ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและก่อให้เกิดมลภาวะมากกว่า.

โดยรวมแล้ว แผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุประเภทเส้นใยธรรมชาติ มีความเป็นวัสดุฉนวนในระดับกลาง, แต่มีข้อดีที่เป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายภายในประเทศและก่อให้เกิดมลภาวะน้อยกว่า จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์.

4. สรุปผลการทดลอง

จากการผลิตแผ่นฉนวนจากวัสดุเส้นใยธรรมชาติ 3 ชนิด คือ ฟางข้าว, หญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว โดยใช้วิธี Pulp molding, สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้ :

4.1 คุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวน

- แผ่นฉนวนจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด คือ ฟางข้าว, หญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว แบบไม่ใช้ตัวประสานมีค่าการนำความร้อนต่ำและการทนการแตกหักดีกว่าแผ่นฉนวนแบบใช้ปูนพลาสเตอร์เป็นตัวประสาน.
- แผ่นฉนวนจากฟางข้าวแบบไม่ใช้ตัวประสาน มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.1092 วัตต์/เมตร-เคลวิน และการทนการแตกหักสูงสุด 4.97 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่นของแผ่นฉนวน 0.419 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร.
- แผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบไม่ใช้ตัวประสาน มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.1009 วัตต์/เมตร-เคลวิน และการทนการแตกหักสูงสุด 4.48 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่นของแผ่นฉนวน 0.396 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร.
- แผ่นฉนวนจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วแบบไม่ใช้ตัวประสาน มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ย 0.1537 วัตต์/เมตร-เคลวิน และการทนการแตกหักสูงสุด 3.60 เมกะพาสคัล ที่ความหนาแน่นของแผ่นฉนวน 0.561 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร.
- เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีความหนาอยู่ในช่วง 0.61 – 0.66 เซนติเมตร, พบว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด 0.0962 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.286–0.297 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร; ตามด้วยแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว 0.1113 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.411–0.418 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว 0.1686 วัตต์/เมตร-เคลวิน ที่ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.472–0.498 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร. แต่ถ้าพิจารณาค่าการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่น พบว่า แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวมีค่าต่ำที่สุด 0.2737 (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร), ตามด้วยแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝก 0.3267 (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) และแผ่นฉนวนที่ผลิตจาก

เศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว 0.3411 (วัตต์/เมตร-เคลวิน)/(กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร).

- เปรียบเทียบค่าการต้านทานความร้อนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 20–80 เซลเซียส, โดยกำหนดให้แผ่นฉนวนจากวัสดุทั้ง 3 ชนิดมีความหนา 0.5 เซนติเมตร และความหนาแน่น 0.2 กรัม/ตารางเซนติเมตร, พบว่า แผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวมีค่าการต้านทานความร้อนเฉลี่ย 0.1536 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์; ตามด้วยแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝกมีค่าเฉลี่ย 0.1352 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์ และแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้วมีค่าเฉลี่ย 0.1060 ตารางเมตร-เคลวิน/วัตต์, แผ่นฉนวนที่ผลิตจากฟางข้าวมีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนดีที่สุด.
- จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนและค่าการต้านทานความร้อนของแผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุ 3 ชนิดแล้ว, กล่าวสรุปได้ว่า แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวมีคุณสมบัติการเป็นวัสดุฉนวนได้ดีที่สุด. เนื่องจากมีค่าการต้านทานความร้อนสูงที่สุดและการนำความร้อนต่อหนึ่งหน่วยความหนาแน่นต่ำสุด, รองลงมาเป็นแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อหญ้าแฝก และแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว.

4.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติแผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวกับแผ่นฉนวนเชิงพาณิชย์

- แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าวมีความเป็นวัสดุฉนวนดีกว่าแผ่นฉนวนกลุ่มยิปซัมและไม้อัด แต่มีความเป็นวัสดุฉนวนที่ด้อยกว่าแผ่นฉนวนกลุ่มใยแก้วและโฟม
- แผ่นฉนวนจากเยื่อฟางข้าวเป็นการใช้วัสดุเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งมีข้อดีกว่าแผ่นฉนวนจากเส้นใยสังเคราะห์ คือ เป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายภายในประเทศและก่อให้เกิดมลภาวะน้อยกว่า, ในขณะที่แผ่นฉนวนจากเส้นใยสังเคราะห์ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและก่อให้เกิดมลภาวะมากกว่า.

5. ข้อเสนอแนะ

แผ่นฉนวนที่ผลิตจากเยื่อฟางข้าว, เยื่อหญ้าแฝก และเศษเยื่อกระดาษและกระดาษใช้แล้ว, มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุฉนวนทดแทนแผ่นฉนวนที่ผลิตจากเส้นใยสังเคราะห์ได้ดี, อย่างไรก็ตาม แผ่นฉนวนที่ผลิตจากวัสดุทั้ง 3 ชนิดนี้, ยังเป็นการผลิตเพื่อการศึกษาวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการดังนั้น เพื่อให้การศึกษาดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานอย่างเป็นรูปธรรม, จึงควรที่จะ

- ขยายขอบเขตการศึกษาวิธีการผลิตแผ่นฉนวนเป็นระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม
- เนื่องจากเป็นวัสดุเส้นใยธรรมชาติ ควรมีการศึกษาเพื่อลดปัญหาการเกิดเชื้อราและการจุดติดไฟได้ง่าย
- ควรมีการพัฒนารูปแบบและลวดลายของแผ่นฉนวนที่หลากหลาย เพื่อขยายช่องทางการนำไปใช้งาน
- ควรมีการศึกษากลยุทธ์การประชาสัมพันธ์สู่กลุ่มลูกค้า

6. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2549. รายงานพลังงานของประเทศไทย กระทรวงพลังงาน.

ก้าวกสิกรรม, ตระการ. 2540. คู่มือฉนวนความร้อน, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี. 312 หน้า.

สุทธิสงค์, บริสุทธิ์. 2542. การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำวัสดุเหลือใช้ประเภทผลไม้เพื่อทำเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ, วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุนทรรังสรรค์, วีรชัย และคณะ, 2549. การศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาวัสดุก่อสร้างประหยัดพลังงานเชิงพาณิชย์จากวัสดุชีวมวลประเภทเส้นใยเหลือทิ้ง, โครงการวิจัยที่ ภ. 48-10 กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

Asasutjarit, C. 2005, A Study of Heat and Mass Transfer of Fiber-Based Lightweight Composition Concrete, In School of Energy and Material. Ph.D. thesis, Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.

ASTM, 2004. "Standard test Method for Steady. Stale Thermal Transmission Projectiles by means of the heat low Meter Apparatus", ASTM C 518-04.

Donald, R.P, and Leighton, E.S., 1977, Heat Transfer, McGraw-Hill, pp. 314.

Fageiri, O.M.E., 1983, Development in Sisal Fiber Reinforced Concrete. Appropriate Building Materials for Low Cost Housing, Proceeding of a Symposium Held in Nairobi, 7-14 November, 1983, Africa: Kenya, pp. 167-175.

Falconer, J.P.R., 1974. Roofing in Developing Countries. National Academy of Science-Washington: National Research Council, pp.15-20.

Japanese Industrial Standard, 1992. "Testing method for thermal conductivity of insulating fire bricks by hot wire," JISR 2618-1992.

Nankongnob, N., 2002, Development of Low Thermal Conductivity Particleboards with Optimized Durian Peel and Coconut Coir Mixture Ratio, In School of Energy and Material. Master thesis, Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Paramasivam, P., Nathant, G.K. and Das Gupta, N.C., 1984. Coconut Fibre Reinforced Corrugated Slabs. *The Intonation Journal of Cement Composite and Lightweight Concrete,* **6**(1), pp. 19-27.

Sulaiman, M., Mansoor, N. and Khan K., 1983, Development in Sisal Fibre Reinforce Concrete. Appropriate Building Materials for Low Cost Housing, Proceeding of a Symposium Held in Nairobi, 7-14 November, 1983, Africa: Kenya, pp. 107-116.

7. ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. คุณสมบัติของแผ่นฉนวนฟางข้าวแบบมีและไม่มีตัวประสาน

อัตราส่วนผสม		ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าการนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน)	ค่าการทนการแตกหัก (เมกะพาสคัล)
เยื่อฟางข้าว	ปูนพลาสเตอร์				
1.0	0.0	0.80	0.293	0.1077	3.98
1.0	0.0	0.76	0.327	0.1086	4.52
1.0	0.0	0.74	0.374	0.1097	4.57
1.0	0.0	0.63	0.394	0.1103	4.60
1.0	0.0	0.61	0.411	0.1126	4.67
1.0	0.0	0.72	0.441	0.1113	4.97
0.5	1.0	0.39	0.431	0.1067	3.69
0.5	1.0	0.23	0.447	0.1066	3.45
0.5	1.0	0.52	0.457	0.1135	3.40
1.0	1.0	0.39	0.433	0.1030	3.92
1.0	1.0	0.57	0.444	0.1170	3.94
1.0	1.0	0.23	0.505	0.1206	3.81
1.5	1.0	0.52	0.457	0.1164	3.54
1.5	1.0	0.23	0.489	0.1106	4.14
2.0	1.0	0.35	0.420	0.1058	4.38
2.0	1.0	0.28	0.432	0.1016	3.49

หมายเหตุ: ทดสอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ข. คุณสมบัติของแผ่นฉนวนจากเยื่อหญ้าแฝกแบบมีและไม่มีตัวประสาน

อัตราส่วนผสม		ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าการนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน)	ค่าการแตกหัก (เมกะพาสคัล)
เยื่อหญ้าแฝก	ปูนพลาสเตอร์				
1.0	0.0	0.60	0.255	0.0880	2.57
1.0	0.0	0.65	0.270	0.0916	2.45
1.0	0.0	0.37	0.275	0.0926	2.45
1.0	0.0	0.46	0.340	0.0992	3.25
1.0	0.0	0.60	0.363	0.1091	3.52
1.0	0.0	0.78	0.389	0.1141	3.49
1.0	0.0	0.50	0.396	0.1119	4.48
0.5	1.0	0.41	0.432	0.1066	1.86
0.5	1.0	0.18	0.422	0.1156	1.63
0.5	1.0	0.28	0.442	0.1124	1.93
1.0	1.0	0.48	0.381	0.0975	2.11
1.0	1.0	0.26	0.360	0.0973	3.06
1.0	1.0	0.36	0.376	0.1013	2.25
1.5	1.0	0.59	0.353	0.0969	2.53
1.5	1.0	0.23	0.433	0.1100	1.90
1.5	1.0	0.38	0.409	0.0989	2.30
2.0	1.0	0.65	0.389	0.0999	2.31
2.0	1.0	0.30	0.352	0.0915	2.65

หมายเหตุ: ทดสอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ภาคผนวก ค. คุณสมบัติของแผ่นฉนวนเศษเยื่อกระดาษและเยื่อกระดาษใช้แล้วแบบมีและไม่มีตัวประสาน

อัตราส่วนผสม			ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าการนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน)	ค่าการแตกหัก (เมกะพาสคัล)
เศษเยื่อกระดาษ	กระดาษใช้แล้ว	ปูนพลาสเตอร์				
0.0	1.0	0.0	0.58	0.283	0.1134	1.60
1.0	1.0	0.0	0.50	0.294	0.1130	
1.0	1.0	0.0	0.59	0.454	0.1347	2.85
1.0	0.0	0.0	0.58	0.512	0.1550	3.36
1.5	1.0	0.0	0.60	0.446	0.1373	2.28
1.5	1.0	0.0	0.54	0.473	0.1542	
2.0	1.0	0.0	0.57	0.470	0.1402	3.06
2.0	1.0	0.0	0.64	0.493	0.1737	
2.0	1.0	0.0	0.66	0.498	0.1718	3.30
2.0	1.0	0.0	0.62	0.500	0.1674	
2.0	1.0	0.0	0.63	0.504	0.1735	
2.0	1.0	0.0	0.59	0.524	0.1749	3.44
2.0	1.0	0.0	0.57	0.532	0.1671	
2.0	1.0	0.0	0.59	0.561	0.1685	
2.5	1.0	0.0	0.58	0.565	0.1714	3.60
0.6	0.4	1.0	0.95	0.564	0.1707	2.19
0.8	0.8	1.0	0.94	0.570	0.177	2.12
0.9	0.6	1.0	1.03	0.520	0.163	2.27
1.0	0.0	1.0	1.04	0.258	0.1211	2.33
1.0	0.5	1.0	0.94	0.570	0.1764	2.09
1.0	1.0	1.0	1.02	0.525	0.1676	2.32

ภาคผนวก ค. (ต่อ)

อัตราส่วนผสม			ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	ค่าการนำความร้อน (วัตต์/เมตร-เคลวิน)	ค่าการแตกหัก (เมกกะปาสคัล)
เศษเยื่อกระดาษ	กระดาษใช้แล้ว	ปูนพลาสเตอร์				
1.0	1.0	0.0	0.54	0.471	0.1549	
1.2	0.8	1.0	0.94	0.570	0.1754	2.11
1.3	0.7	1.0	0.94	0.570	0.2088	1.81
1.5	0.0	1.0	0.82	0.327	0.1664	2.19
2.0	0.0	1.0	1.00	0.268	0.1588	2.23
2.0	1.0	1.5	0.50	0.514	0.1721	
2.0	1.0	1.5	0.98	0.529	0.1568	
2.0	1.0	1.5	0.36	0.547	0.1586	
2.0	1.0	1.5	0.59	0.529	0.1624	
2.0	1.0	1.5	0.79	0.466	0.1548	
2.0	1.0	1.5	0.88	0.473	0.1521	

หมายเหตุ: ทดสอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส