สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

๑๙

# การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

T107785

นางสาวจุติพร ศัทธา

นายธนุเวทย์ ลมงาม

ว๙
ส๔๑ ก
๒๕๔๙

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107785
วัน,เดือน,ปี 14 มิ.ย. 2553

b 12212507
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Thermal Insulation Sheet from Agricultural Waste

**Miss. Jutiporn Sattha**

**Mr. Thanuvate Lomngam**

**A Special Project submitted in Partial Fulfillment of the Requirement**

**the Degree of Bachelor of Science**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**

**Academic Year 2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อโครงงานพิเศษ** | การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร |
| | Thermal Insulation Sheet from Agricultnral Waste |
| **โดย** | นางสาวจุติพร ศัทธา 46050749 |
| | นายธนุเวทย์ ลมงาม 46050758 |
| **ภาควิชา** | เคมี |
| **สาขาวิชา** | เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล |
| | อาจารย์รมณีย์ หวังดีธรรม |

ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| กรรมการ | ลายมือชื่อ |
|---|---|
| ประธานกรรมการ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย | |
| กรรมการ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ | |
| กรรมการ รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล | |

---

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาคเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงงานพิเศษ** การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
**นักศึกษา** นางสาวจุติพร ศัทธา รหัส 46050749
นายธนุเวทย์ ลมงาม รหัส 46050758
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล
อาจารย์รมณีย์ หวังดีธรรม
**ภาควิชา** เคมี
**ปีการศึกษา** 2549

## บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิต และสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อน ที่ใช้ฟางข้าวและหญ้าแฝกเป็นวัตถุดิบ และใช้แคลเซียมซัลเฟต เป็น สารยึดติด การผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อนกระทำโดยวิธีการขึ้นรูปโดยใช้ตะแกรง โดยแผ่นที่ผลิตได้มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบชั้นเดียวมีขนาดกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร และหนา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร จากการศึกษากระบวนการผลิต พบว่า สภาวะการต้มเยื่อฟางข้าวที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14% และสภาวะการต้มเยื่อหญ้าแฝกที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16% อัตราส่วนน้ำ : วัตถุดิบ 8:1 เวลาที่ใช้ 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อเพื่อผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน สัดส่วนเยื่อต่อปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5 :1 และ 2 :1 ตามลำดับ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าวจัดเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง ซึ่งพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่มีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.1000 วัตต์ต่อเมตรองศาเคลวิน ขึ้นอยู่กับปริมาณเยื่อ และปริมาณสารยึดติด ค่าการนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของเยื่อเพิ่มขึ้น และปริมาณสารยึดติดลดลง ชี้ให้เห็นว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตโดยใช้ปริมาณสารยึดติด 2:1 มีสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี นอกจากนี้ผลการทดสอบหญ้าแฝกมีสมบัติความเป็นฉนวนที่ดีกว่าฟางข้าว เนื่องจากที่ค่าความหนาใกล้เคียงกัน ประมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝก เป็น 0.0783, 0.0770, 0.0796, 0.0835 และ 0.0847 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟางข้าว เป็น 0.0789, 0.0836, 0.0935, 0.0931 และ 0.0967 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร, ฟางข้าว, หญ้าแฝก, แผ่นฉนวนความร้อน, กรรมวิธีการผลิต, ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนความร้อน, แคลเซียมซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Special Project Title** | Thermal Insulation Sheet from Agricultnral Waste | | |
| **Name** | Jutiporn | Sattha | 46050749 |
| | Thanuvate | Lomngam | 46050758 |
| **Department** | Chemistry | | |
| **Faculty** | Science | | |
| **Program** | Environmental Resource Chemistry | | |
| **Academic Year** | 2006 | | |
| **Special Project Advisor** | Assoc.Prof.Dr. Nipon Wongvisetsirikul | | |
| | Ajarn Romani wungdheethum | | |



**Abstract**

The purpose of this special project was to study the production process and the properties of the heat insulation sheet which made of rice straw and vetiver grass by which the calcium sulfate ($CaSO_4$) was used as the binder substance. The production of the heat insulation sheet was done by forming the sheet using sieve. The sheets produced were in flat shape with one layer and the size of 24 centimeters in width, 30 centimeters in length and 2,4,6,8 and 10 millimeters in thickness. According to the study of the production process, it was found that the condition on boiling rice straw fiber with the concentration of potassium hydroxide at 14% and the condition on boiling vetiver grass fiber with the concentration of potassium hydroxide at 16% with the ratio of water and materials at 8:1 and the time used of 3 hours was the suitable condition to prepare the fiber for the heat insulation sheet production. The ratio of fiber and the binder substance was 1:1, 1.5:1 and 2:1, respectively.

According to the experimental results, they showed that the heat insulation sheets made of vetiver grass and rice straw were the kinds of good quality heat insulation. Since their co-efficient values for heat induction were not over 0.1000 W/ m.K in average which depended on the amount of fiber and the binder substance. The heat induction of the heat insulation sheet tended to decreased when the amount of fiber increased and the amount of the binder substance decreased. This indicated that the heat insulation sheet produced with the ratio of the binder substance at 2:1 would have good properties for insulation. Moreover, it was found from the experimental result that the vetiver grass had better properties as the insulation compared to the


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rice straw. Since its thickness was nearly the same at about 2,4,6,8 and10 millimeters. The co-efficient value for heat insulation of the vetiver grass were 0.0783, 0.0770, 0.0796, 0.0835 and 0.0847 W/ m.K respectively which were less than the co-efficient value for heat insulation of the rice straw at 0.0789, 0.0836, 0.0935, 0.0931 and 0.0967 W/ m.K, respectively.

**Keywords :** agricultural residues, rice straw, vetiver grass, thermal insulation boards manufacturing, thermal conductivity, calcium sulfate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่าย ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ ดังนี้

คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษได้รับความอนุเคราะห์จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์รมณีย์ หวังดีธรรม อาจารย์ร่วมที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดจนให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย และอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในระหว่างการดำเนินโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ พี่ ๆ เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวกในการดำเนินโครงงานพิเศษเป็นอย่างดี

นอกเหนือจากบุคคลที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และให้กำลังใจตลอดโครงงานพิเศษนี้ ทางผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ
จุติพร ศัทธา
ธนุเวทย์ ลมงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| **บทคัดย่อภาษาไทย** | ก |
| **บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** | ข |
| **กิตติกรรมประกาศ** | ง |
| **สารบัญ** | จ |
| **สารบัญตาราง** | ฌ |
| **สารบัญรูปภาพ** | ฎ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 ฉนวนกันความร้อน | 3 |
| 2.1.1 ประเภทและลักษณะการใช้งานของฉนวนความร้อน | 4 |
| 2.1.2 คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี | 5 |
| 2.1.3 คุณลักษณะเฉพาะของฉนวนกันความร้อน | 6 |
| 2.2 แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตฉนวนกันความร้อน | 10 |
| 2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) | 12 |
| 2.4 หญ้าแฝก (Vetiver grass) | 15 |
| 2.4.1 พันธุ์หญ้าแฝก | 16 |
| 2.4.2 การขยายพันธุ์หญ้าแฝก | 18 |
| 2.4.3 สมบัติที่ดีของหญ้าแฝก | 20 |
| 2.4.4 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก | 20 |
| 2.5 ฟางข้าว (Rice straw) | 23 |
| 2.5.1 ประโยชน์ของฟางข้าว | 24 |
| 2.5.2 คุณสมบัติของฟางข้าว | 24 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.6 แคลเซียมซัลเฟต(Calcium sulfate) | 25 |
| 2.7 กระบวนการผลิตวัสดุกันความร้อน | 26 |
| 2.8 การใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) | 28 |
| 2.9 ค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number) | 28 |
| 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 29 |
| **บทที่ 3 วิธีการทดลอง** | |
| 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 32 |
| 3.2 เครื่องมือวิเคราะห์ | 32 |
| 3.3 วัตถุดิบที่ต้องใช้ในการทดลอง | 32 |
| 3.4 สารเคมีที่ต้องใช้ในการทดลอง | 33 |
| 3.5 การเตรียมสารละลายในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number) | 33 |
| 3.6 วิธีการทดลอง | 34 |
| 3.6.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหญ้าแฝกและฟางข้าว | 34 |
| 3.6.2 การหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว | 34 |
| 3.6.3 การหาปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ(Kappa number) | 35 |
| 3.6.4 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน | 36 |
| 3.6.5 การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน | 37 |
| **บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง** | |
| 4.1 ผลการหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว | 38 |
| 4.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน | 43 |
| 4.2.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติด | 43 |
| 4.2.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวผสมสารยึดติด | 45 |
| 4.2.3 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกผสมสารยึดติด | 46 |
| 4.3 ผลการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน | 47 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 4.4 ผลการเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติดกับไม่ผสมสารยึดติด | 50 |
| 4.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ | 51 |
| **บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ** | |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง | 54 |
| 5.1.1 การหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว | 54 |
| 5.1.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน | 54 |
| 5.1.2.1 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติด | |
| 5.1.2.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวผสมสารยึดติด | |
| 5.1.2.3 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกผสมสารยึดติด | |
| 5.1.3 การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน | 55 |
| 5.1.4 การเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติดกับไม่ผสมสารยึดติด | 55 |
| 5.1.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ | 56 |
| 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะการดำเนินงานวิจัย | 56 |
| **เอกสารอ้างอิง** | 57 |
| **ภาคผนวก ก** คำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเยื่อ | 60 |
| **ภาคผนวก ข** การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น, การหาเปอร์เซ็นน้ำหนักแห้ง และการหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของวัตถุดิบ | 61 |
| **ภาคผนวก ค** การหาสภาวะเยื่อ | 63 |
| **ภาคผนวก ง** การหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ(Kappa number) | 64 |
| **ภาคผนวก จ** การหาอัตราส่วนเยื่อในการขึ้นรูป | 65 |
| **ภาคผนวก ฉ** การหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว | 66 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)


| | | หน้า |
|---|---|---|
| **ภาคผนวก ช** | การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน | 68 |
| **ภาคผนวก ซ** | การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน | 72 |
| **ภาคผนวก ฌ** | การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน | 74 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง


| | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 2.1 | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thrmal conductivity ; k) ของฉนวนใยแก้ว | 6 |
| ตารางที่ 2.2 | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thrmal conductivity ; k) ของฉนวนเซลล์ปิดชนิดยืดหยุ่นสูง | 9 |
| ตารางที่ 2.3 | แสดงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อในประเทศไทย | 11 |
| ตารางที่ 2.4 | แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน | 11 |
| ตารางที่ 2.5 | เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน | 17 |
| ตารางที่ 2.6 | แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก | 18 |
| ตารางที่ 2.7 | ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว | 25 |
| ตารางที่ 2.8 | ตารางแสดงคุณสมบัติของแคลเซียมซัลเฟต | 26 |
| ตารางที่ 3.1 | Factors a to correct for different percentages of permanganate used | 36 |
| ตารางที่ 4.1 | แสดงสภาวะในการต้มเยื่อของหญ้าแฝกและฟางข้าว | 38 |
| ตารางที่ 4.2 | ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆของหญ้าแฝกและฟางข้าวที่ไม่ผสมสารยึดติด | 43 |
| ตารางที่ 4.3 | ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว | 45 |
| ตารางที่ 4.4 | ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก | 46 |
| ตารางที่ 4.5 | ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 | 48 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง(ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกและฟางข้าวที่ผสมปริมาณสารยึดติดในอัตราส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 และที่ไม่ผสมสารยึดติด | 50 |
| ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าวกับแผ่นวัสดุประเภทอื่นๆ | 52 |
| ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ | 53 |
| ตารางที่ ง 1.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used | 64 |
| ตารางที่ ฉ 1.1 ข้อมูลการหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว | 66 |
| ตารางที่ ช 1.1 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติดของฟางข้าว(R) | 68 |
| ตารางที่ ช 1.2 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติดของหญ้าแฝก(G) | 68 |
| ตารางที่ ช 1.3 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของฟางข้าว(R1) | 69 |
| ตารางที่ ช 1.4 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของฟางข้าว(R2) | 69 |
| ตารางที่ ช 1.5 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 2:1 ของฟางข้าว(R3) | 70 |
| ตารางที่ ช 1.6 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของหญ้าแฝก(G1) | 70 |
| ตารางที่ ช 1.7 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของหญ้าแฝก(G2) | 71 |
| ตารางที่ ช 1.8 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 2:1 ของหญ้าแฝก(G3) | 71 |
| ตารางที่ ซ 1.1 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของฟางข้าว(R1)และหญ้าแฝก(G1) | 72 |
| ตารางที่ ซ 1.2 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของฟางข้าว(R2)และหญ้าแฝก(G2) | 73 |
| ตารางที่ ซ 1.3 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของฟางข้าว(R3)และหญ้าแฝก(G3) | 73 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ


| | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.1 ฉนวนประเภทเซลลูโลส | 3 |
| รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส | 12 |
| รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส | 14 |
| รูปที่ 2.4 หน่วยซ้ำของลิกนิน และโครงสร้างลิกนินของไม้เนื้ออ่อน | 14 |
| รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินในไม้ | 15 |
| รูปที่ 2.6 รูปถ่ายหญ้าแฝกดอน | 15 |
| รูปที่ 2.7 ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก | 21 |
| รูปที่ 2.8 ผลิตภัณฑ์จากฟางข้าว | 24 |
| รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มฟางข้าวกับร้อยละของผลผลิต | 39 |
| รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของฟางข้าว | 40 |
| รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มฟางข้าว | 40 |
| รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มหญ้าแฝกกับร้อยละของผลผลิต | 41 |
| รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของหญ้าแฝก | 42 |
| รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มหญ้าแฝก | 42 |
| รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ | 43 |
| รูปที่ 4.8 แสดงการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากตะแกรงขึ้นรูป | 44 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)


| | | หน้า |
|---|---|---|
| รูปที่ 4.9 | กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว | 45 |
| รูปที่ 4.10 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก | 47 |
| รูปที่ 4.11 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G1) และฟางข้าว (R1) | 48 |
| รูปที่ 4.12 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1.5:1โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G2) และฟางข้าว (R2) | 49 |
| รูปที่ 4.13 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 2:1โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G3) และฟางข้าว (R3) | 49 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานวิจัย

ในปัจจุบัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของขยะหรือวัสดุตกค้างที่ย่อยสลายได้ยากในสิ่งแวดล้อม เช่น พลาสติก ทำให้ต้องหาวัสดุมาทดแทนพวก พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ที่มีคุณสมบัติและความเหมาะสมของงาน อีกทั้งเพื่อเป็นการประหยัดการใช้พลังงานจากปิโตรเลียม แนวทางหนึ่งที่สามารถประหยัดพลังงานโดยการใช้วัสดุทดแทนจากธรรมชาติและสิ่งเหลือทิ้ง คือการนำเอาวัสดุเหล่านี้ทำเป็น ฉนวนกันความร้อน ซึ่งสามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งของการนำมาสร้างเป็นผนังห้อง

เส้นใยแก้วสังเคราะห์ คือสิ่งที่ใช้เป็นฉนวนกันความร้อนของผนังห้องที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติของฉนวนและสามารถผลิตได้ด้วยกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการนำเอาเส้นใยแก้วสังเคราะห์มาใช้นั้น ทำให้เกิดปัญหาผลกระทบสู่สิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นเส้นใยที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากพลาสติกจึงเป็นเหตุให้เกิดการย่อยสลายยากเมื่อเส้นใยนี้เสื่อมคุณภาพหรือใช้งานต่อไม่ได้ กลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่จะทำลายสิ่งแวดล้อมต่อไป

การนำเอาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร มาทำเป็นฉนวนและผนังห้อง เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ ในการใช้ทรัพยากรทดแทนเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า หรือลดปริมาณขยะ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือหญ้าแฝกและฟางข้าว มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
3. เพื่อศึกษาวิธีการขึ้นรูปแผ่นฉนวนในขั้นพื้นฐาน เพื่อใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
4. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ได้จากวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใยเช่น หญ้าแฝก ฟางข้าว ในการผลิตเยื่อเพื่อเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
2. ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยจากวัสดุเหลือทิ้งเพื่อใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน
3. ศึกษาการทดลองขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนขั้นพื้นฐาน
4. ศึกษาการทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า k) ของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ขึ้นรูป

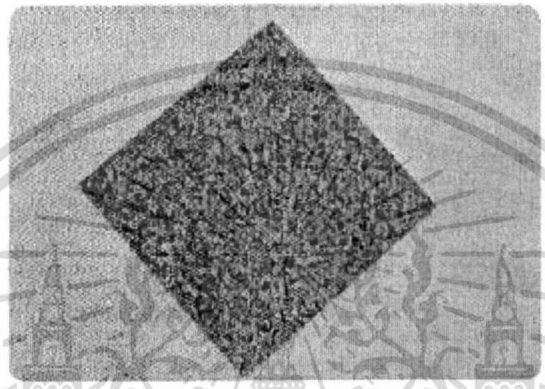
## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เพื่อทำให้ได้กรรมวิธีในการผลิตเยื่อจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใย เพื่อใช้ในการผลิตวัสดุกันความร้อน
- เพื่อทำให้ได้กรรมวิธีพื้นฐานในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**2.1 ฉนวนกันความร้อน** [1]



**รูปที่ 2.1** ฉนวนประเภทเซลลูโลส

**ฉนวนกันความร้อน** คือ วัสดุที่ต้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้าน หนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้สะดวก ฉนวนกันความร้อนที่ดีจะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งประกอบด้วยฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมาก ฟองอากาศดังกล่าว มีคุณสมบัติในการต้านทานการนำความร้อน โดยสกัดกั้นความร้อนให้อยู่ในบริเวณฟองอากาศเล็กๆจำนวนมากนี้ จึงเป็นผลให้ไม่เกิดการพาความร้อนด้วย

ฉนวนแต่ละชนิดจะมีความต้านทานความร้อนที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งฉนวนที่ดีจะต้องต้านทานความร้อนที่ผ่านจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งให้ลดลงเหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ถ้า ค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (ค่า k) ยิ่งน้อย แสดงว่าเป็นฉนวนที่สามารถต้านทานความร้อนได้ดีกว่า

การปรับปรุงบ้านให้เกิดสภาวะน่าสบายโดยการเลือกใช้วัสดุกันความร้อน ก็จะช่วยทำให้ประหยัดพลังงานได้ ปัจจุบันเกือบทุกอาคารหรือในบ้านพักอาศัยใช้ฉนวนกันความร้อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในอาคารหรือในบ้านให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ ซึ่งการเลือกใช้ฉนวนควรพิจารณาจากความสามารถในการป้องกันความร้อน ลักษณะของฉนวน เช่น เป็นม้วน , เป็นแผ่น หรือเป็นฝอย เป็นต้น ต่อมาคือ ความหนาแน่นและน้ำหนัก กรณีฉนวนที่มีความหนามาก ราคาก็จะแพงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าใช้ติดตั้งทำให้พื้นที่ใช้สอยน้อยลง แต่จะประหยัดพลังงานได้มาก ดังนั้น การเลือกใช้ควรจะคำนึงถึงความจำเป็นในการติดตั้งเป็นสำคัญ และการเลือกใช้ฉนวนควรพิจารณาจากช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน การยืดหดตัวเมื่อได้รับความร้อน การกันน้ำและความชื้น และความสามารถต่อแรงอัดและความทนทาน ซึ่งฉนวนกันความร้อนแต่ละประเภทก็จะมีคุณสมบัติ และลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน

**2.1.1 ประเภท และลักษณะการใช้งานของฉนวนความร้อน** [1,2]

**ฉนวนใยแก้วหรือไฟเบอร์กลาส** ที่ส่วนใหญ่นำมาใช้และเป็นที่รู้จักกันดีนั้น ลักษณะเด่นคือเป็นเส้นใยสีเหลืองทำเป็นแผ่นหรือเป็นม้วน บางชนิดก็ทำติดไว้กับแผ่นแข็ง ๆ หรือมีแผ่นฟอยล์อยู่ด้านใดด้านหนึ่ง หรือไม่ก็มีแผ่นฟอยล์หุ้มอยู่ทุกด้านคล้ายกับการบรรจุอยู่ในถุง ฉนวนประเภทนี้นอกจากจะกันความร้อนได้ และมีค่าการกันไฟได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียสแล้ว ยังกันเสียงได้อีกด้วย แต่ก็มีข้อเสียคือ แพ้ความเปียกชื้นหากเส้นใยถูกความชื้นหรือหยดน้ำ ก็จะยุบตัวแบนติดกัน ทำให้ไม่สามารถป้องกันความร้อนได้ และหากคนที่แพ้เส้นใยสัมผัสหรือแตะถูกโดยตรง อาจเกิดอาการคันและระคายเคืองได้ ดังนั้น การเลือกใช้ฉนวนใยแก้วหากไม่ต้องการให้เส้นใยโดนตัว ก็อาจจะเลือกใช้ชนิดที่มีฟอยล์หุ้ม

**ฉนวนร็อควูล** มีรูปร่างเป็นแผ่น หรือก้อนทึบ การกันความร้อนนั้นเหมือนฉนวนใยแก้ว แต่สามารถทนไฟได้ดีกว่า และที่เด่นอีกอย่างคือ ความสามารถในการดูดซับเสียง บางครั้งมีการนำไปติดกับผนังห้องที่ต้องการควบคุมเสียงและใช้ผ้าบุด้านหน้า เพื่อตกแต่งให้สวยงาม ข้อเสียก็เช่นเดียวกับฉนวนใยแก้วคือแพ้ความเปียกชื้น

**ฉนวนประเภทเซลลูโลส** เป็นฉนวนที่ทำมาจากเยื่อไม้หรือเยื่อกระดาษ ซึ่งต้องมีการใส่สารป้องกันการลุกไหม้หรือการลามของไฟ ที่พบเห็นส่วนใหญ่มักเป็นชนิดพ่นในช่องว่างหลังคาหรือฝ้าเพดาน การกันความร้อนดีพอๆ กับฉนวนใยแก้วและฉนวนร็อควูล แต่การทำงานในลักษณะที่เราต้องพ่นเข้าไปในหลังคา ค่อนข้างยาก เนื่องจากความหนาที่ต้องการมักจะหนากว่า 2 นิ้ว ทำให้ควบคุมการพ่นฉนวนให้หนาตามที่ต้องการทำได้ลำบาก

**ฉนวนอลูมินั่มฟอยล์** คือ ฉนวนสะท้อนความร้อนประเภทที่มีผิวมันวาว มีลักษณะเป็นแผ่นอลูมินั่มฟอยล์ ที่ใช้วางใต้หลังคา สามารถป้องกันความร้อนได้โดยการสะท้อนรังสีความร้อนออกไปก่อนที่ความร้อนจะเข้ามาสะสมในเนื้อวัสดุ อีกทั้งลักษณะของฉนวนที่เป็นแผ่นบางทำให้ฉนวนไม่เกิดการสะสมความร้อน ดังนั้น หากผิวฉนวนหมดความเป็นมันวาว เช่น มีฝุ่นเกาะ ก็จะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ไม่เกิดการสะท้อนความร้อน และส่งผลให้ฉนวนไม่สามารถป้องกันความร้อนได้ และคุณสมบัติของฉนวนประเภทอลูมินั่มฟอยล์ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การที่ฉนวนสามารถแผ่รังสีความร้อนออกมาได้น้อย ซึ่งหากติดตั้งฉนวนใต้หลังคา ก็จะทำให้ความร้อนถ่ายเทลงมาในบ้านน้อยด้วย และหากต้องการให้ป้องกันความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ควรจะติดตั้งให้มีช่องว่างอากาศระหว่างแผ่นฟอยล์กับฝ้าเพดานไม่น้อยกว่า 1 นิ้วด้วย

**ฉนวนประเภทโฟม** มีทั้งชนิดที่เป็นแผ่นเช่น โพลีเอทิลีน หรือชนิดที่ใช้ฉีดพ่น เช่น โฟมโพลียูรีเธน ซึ่งเป็นฉนวนที่สามารถป้องกันความร้อนได้ดีเหมือนฉนวนใยแก้วและฉนวนร็อควูล แต่ฉนวนประเภทโฟมจะมีข้อดีกว่าตรงที่โฟมสามารถป้องกันน้ำและกันความชื้นได้ แต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้างคือ ฉนวนประเภทโฟมจะแพ้รังสีอัตตร้าไวโอเลต หรือรังสียูวีของดวงอาทิตย์ ดังนั้น หากนำไปใช้ต้องไม่ให้ถูกแสงแดดโดยเด็ดขาด ที่สำคัญคือ ฉนวนประเภทโฟมหากโดนความร้อนสูงหรืออยู่ในที่ ที่มีอุณหภูมิสูงนานๆ ก็จะบิดงอหรืออาจลุกไหม้ได้ เนื่องจากจุดหลอมเหลวของโฟมนั้นมักจะต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียล

**ฉนวนประเภทอื่น ๆ** ที่สามารถนำมาเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ แต่มีคุณภาพไม่ดีเท่าประเภทที่ทำมาจากใยแก้ว เช่น ประเภทอิฐมวลเบา และแผ่นยิบซั่มบอร์ด เป็นต้น

ดังนั้น หากจะเลือกใช้ฉนวนจึงควรพิจารณาเลือกใช้ให้ถูกประเภทและลักษณะการใช้งานเพื่อประโยชน์สูงสุดที่จะได้รับ ที่สำคัญช่วยให้ผู้อยู่อาศัยเกิดสภาวะสบายได้โดยไม่ต้องเปิดพัดลมหรือเครื่องปรับอากาศให้สิ้นเปลืองทั้งพลังงานและค่าไฟฟ้า

### 2.1.2 คุณสมบัติของฉนวนความร้อนที่ดี

ฉนวนความร้อนจะต้องเลือกใช้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์กับงาน และตามชนิดของฉนวน ซึ่งคุณสมบัติที่ดีนั้นพิจารณาได้ดังนี้

1. ควรมีน้ำหนักเบาและมีค่าความหนาแน่นน้อย
2. มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำกล่าวคือยอมให้ความร้อนผ่านตัวฉนวนได้น้อยมาก
3. ในบางชนิดจะต้องมีความคงทนต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี
4. มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำมากหรือไม่มีเลยจะดีมาก
5. สามารถต้านการกัดกร่อนได้ดีโดยเฉพาะทางเคมี
6. มีความคงตัวสูง เปลี่ยนรูปได้ยาก
7. ต้องทนต่อการติดไฟได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ใช้กับระดับอุณหภูมิที่กว้าง
9. ติดตั้งเพื่อใช้งานได้สะดวก
10. มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

ปัจจุบันมีการผลิตฉนวนกันความร้อนในหลายรูปแบบขึ้น เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานประเภทต่างๆเป็นจำนวนมาก ต่อไปจะกล่าวถึงฉนวนกันความร้อนบางชนิดที่สำคัญๆและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนี้

1. ใยแก้ว (Glass fiber)
2. ใยแร่ (Mineral fiber)
3. ใยเซลลูโลส (Cellulose fiber)
4. แคลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate)
5. โฟม (Foam)
6. ฟอยล์ (Foil)
7. เวอร์มิคูไลท์ (Vermiculite)

**2.1.3 คุณลักษณะเฉพาะของฉนวนกันความร้อน**

**1. ฉนวนกันความร้อนแบบฉนวนใยแก้ว ( Glass wool )** สำหรับใช้ทำฉนวนหุ้มท่อ และพื้นผิว เช่น บุใต้หลังคาหรือเหนือฝ้าเพดาน ฯ ให้ใช้ฉนวนที่มีคุณสมบัติดังนี้

1. ได้มาตรฐานตามมาตรฐาน มอก. 486, มอก. 487, มอก. 488 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k) ไม่เกินที่กำหนดตามตารางด้านล่างนี้ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 487 หรือ มอก. 488 หรือ ASTM C553, C592, C665, C892 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

**ตารางที่ 2.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k) ของฉนวนใยแก้ว**

| อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวตัวกลาง | 20 °C | 40 °C | 60 °C | 80 °C | 100 °C |
|---|---|---|---|---|---|
| ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k) | 0.044W/mK | 0.048W/mK | 0.053W/mK | 0.059W/mK | 0.064W/mK |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวน (Water Vapor Absorption) ต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 1104/C , 1104M หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. วัสดุฉนวนจะต้องเป็นวัสดุไม่ลามไฟ ( Non-Combustible) เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E84 , BS-476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
5. ความหนาแน่นของฉนวนใยแก้ว
    1. ชนิดหุ้มท่อ ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 64 กก. ต่อ ลบ.ม. และ มีความหนาไม่น้อยกว่า 50 มม.
    2. ชนิดแผ่นสำหรับพื้นผิว ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 32 กก. ต่อ ลบ.ม.
    3. ชนิดแผ่นหุ้มท่อลม หรือ บุใต้หลังคา ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 24 กก. ต่อ ลบ.ม. และ ปิดผิวทั้ง 2 ด้านด้วยแผ่นป้องกันความชื้นและไอน้ำประเภทอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นไม่เกิน 0.1 PERM
    4. ชนิดแผ่นปูเหนือฝ้าเพดาน ให้มีความหนาแน่นไม่น้อยกว่า 12 กก. ต่อ ลบ.ม. และ ปิดผิวทั้ง 2 ด้านด้วยแผ่นป้องกันความชื้นและไอน้ำประเภทอะลูมิเนียม ฟอยล์ที่มีค่าการซึมผ่านของไอน้ำและความชื้นไม่เกิน 0.1 PERM
6. มีเอกสารข้อแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
7. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

**2. ฉนวนกันความร้อนแบบโฟมโพลิยูรีเทน ( Polyurethane foam )**

สำหรับใช้ฉีดพ่นใต้หลังคาหรือภายนอกอาคาร โดยฉนวนชนิดนี้จะมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity : k) ไม่เกิน 0.023 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 591 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
3. เป็นชนิดไม่ติดไฟ, ไม่ลามไฟ, ไม่หยดเมื่อติดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. สามารถใช้งานได้ในอุณหภูมิถึง 90 °C
5. ทนต่อกรด และ ด่าง
6. มีค่าความหนาแน่นตามแต่การใช้งาน แต่ไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
7. มีความหนาของฉนวน โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 25 มม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. มีเอกสารข้อแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปี

**3. ฉนวนโฟมโพลิเอทิลีนกันความร้อน ( Polyethylene foam )**

สำหรับติดตั้งบนแผ่นฝ้าเพดาน หรือ ติดใต้หลังคาแผ่นโลหะ โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นฉนวนชนิดเซลล์ปิด ( Closed cell polyethylene foam : P.E. )
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ( Thermal conductivity : k ) ไม่เกิน 0.042 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1384
3. มีอัตราการดูดซับความชื้นของเนื้อฉนวนต่ำกว่า 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. ไม่ลามไฟ ไม่ติดไฟ และ ปราศจากสารซีเอฟซี (CFCs) ตามมาตรฐาน ASTM E 84 , BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
5. ทนอุณหภูมิใช้งานได้ระหว่าง -25 °C ถึง 85 °C
6. ทนต่อสารเคมี กรด และ ด่าง
7. มีความยืดหยุ่นตัวได้ดี ไม่ฉีกขาดง่าย
8. มีค่าความหนาแน่นตามแต่การใช้งาน แต่ไม่เกิน 50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
9. มีความหนาของฉนวน โดยทั่วไปควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร
10. มีเอกสารข้อแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
11. มีการรับประกันอายุการใช้งาน ไม่น้อยกว่า 5 ปี

    หมายเหตุ ในอนาคต จะมีการเพิ่มข้อกำหนด การผ่านการรับรองตาม มอก. 1384

**4. ฉนวนป้องกันความร้อนแบบเยื่อไม้หรือเยื่อกระดาษ (Cellulose Fiber)**

สำหรับติดตั้งใต้หลังคา ผนัง หรือ เหนือเพดาน โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าสัมประสิทธ์การนำความร้อนไม่เกิน 0.045 W/mK ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 24 °C เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C177 [3] , C739 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
2. มีค่าการดูดซึมความชื้นของเนื้อฉนวนไม่เกิน 5 % โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM C 1140 , E 1149 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
3. ไม่ติดไฟ ไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, BS 476 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทนต่ออุณหภูมิการใช้งานได้ถึง 85 °C
5. ไม่ขึ้นรา ไม่กัดกร่อนต่อโลหะ
6. มีความหนาแน่น ไม่เกิน 52 กก.ต่อ ลบ.ม.
7. มีความหนาของฉนวน ซึ่งโดยทั่วไปใช้ไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร
8. มีเอกสารข้อแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

**5. ฉนวนเซลล์ปิดชนิดยืดหยุ่นสูง (Closed cell elastomeric thermal insulation)**

ฉนวนในระบบความเย็น สำหรับใช้หุ้มท่อ หรือ พื้นผิวต่าง ๆ โดยฉนวนต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นฉนวนเซลล์ปิด มีโครงสร้างเป็นเซลล์อิสระที่ผนังไม่ทะลุถึงกัน ชนิดที่ไม่เป็นเทอร์โมพลาสติก ไม่หลอมเหลวเมื่อถูกความร้อน ภายในบรรจุด้วยก๊าซแห้งชนิดไนโตรเจน และ คาร์บอนไดออกไซด์ ไม่มีสารซีเอฟซี (CFCs) หรือ ก๊าซติดไฟอื่น ๆ
2. มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกินที่กำหนดตามตารางด้านล่างนี้ เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 177 [3] , DIN 52613 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

**ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k) ของฉนวนเซลล์ปิดชนิดยืดหยุ่นสูง**

| อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวด้านกลาง | -20 °C | 0 °C | 24 °C | 32 °C | 40 °C |
|---|---|---|---|---|---|
| ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity : k) | 0.034W/mK | 0.035W/mK | 0.038W/mK | 0.039W/mK | 0.040W/mK |

3. มีค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของเนื้อฉนวนไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐาน ASTM D 1056 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
4. มีค่าการแทรกซึมความชื้นต่ำกว่า 0.15 PERM-INCH ตามมาตรฐาน ASTM E 96 หรือมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
5. ไม่ลามไฟ ดับไฟด้วยตนเอง ไม่เกิดหยดไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E 84, ASTM D 635, BS 476, DIN 4102, EMPA, UL 94 V-0 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีความหนาแน่น โดยทั่วไปใช้ค่า 50 - 100 กก.ต่อ ลบ.ม. เมื่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 534 หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
7. มีปริมาณไนโตรซามีน ไม่เกิน 10 ppb ตามมาตรฐาน US.FDA. หรือ มาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า
8. มีเอกสารข้อแนะนำในการติดตั้ง เป็นภาษาไทย
9. มีการรับประกันอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 5 ปี

**2.2 แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตฉนวนกันความร้อน**

เส้นใยที่ใช้ผลิตอาจเป็นเส้นใยสัตว์ เส้นใยพืช เส้นใยแร่ หรือเส้นใยสังเคราะห์ก็ได้อย่างไรก็ตามเส้นใยพืชจัดเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สุดในการทำฉนวนกันความร้อน พืชเกือบทุกชนิดสามารถนำมาทำเป็นเยื่อฉนวนกันความร้อนได้ซึ่งสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พืชยืนต้น (wood) และพืชล้มลุก (non - wood) [4]

**1. พืชยืนต้น** แหล่งเส้นใยแบ่งตามขนาดความยาวของเส้นใยได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) เป็นพืชยืนต้นพวกไม้ผลัดใบ (coniferous)โดยทั่วไปมีใบเป็นรูปเข็ม เช่น พวกต้นสน สปรูซ (spruce) ไพน์ (pine) และ เฟอ (fir)ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ เส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนจะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร เยื่อที่ผลิตได้จากไม้เนื้ออ่อนเป็นเยื่อใยยาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร " N "( needle ) นำหน้า เช่น NBKP (needle bleach kraft pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเยื่อใยยาว

1.2 ไม้เนื้อแข็ง (hard wood) เป็นพืชยืนต้นพวกไม้ผลัดใบ (deciduous) ซึ่งโดยทั่วไปมีใบกว้าง เช่น ยูคาลิปตัส (eucalyptus) เบิร์ช (bircoh) และใบไม้กว้างต่างๆในประเทศไทยยกเว้นไม้บางชนิดในเขตอบอุ่น เช่น สนทะเล เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งเป็นเยื่อใยสั้นมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร " L" (leaved) นำหน้า เช่น LBKP (leaved bleached kraft pulp) เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นเยื่อจากไม้เนื้อแข็ง

**2. พืชล้มลุก** แหล่งเส้นใยจากพืชล้มลุก สามารถแยกย่อยได้เป็น 3 ประเภทคือ

2.1 ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย

2.2 พืชที่ปลูกขึ้นหรือเกิดขึ้นเอง เช่น ต้นไผ่ ต้นหญ้าขจรจบ ผักตบชวา

2.3 เส้นใยจากพืชผลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมีดังนี้

- จากเปลือกและต้น เช่น ปอสา กล้วย เป็นต้น
- จากใบ เช่น สับปะรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่2.3 แสดงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อในประเทศไทย**

| ประเภทของวัตถุดิบ | ผู้ผลิต | ราคา,บาท/ตัน | ปริมาณ,ตัน/ปี |
|---|---|---|---|
| ไม้ยูคาลิปตัส<br>Eucalyptus | Phoenix Pulp & Paper<br>Advance Agro<br>Panjapol<br>Siam Cellulose | 760-820 | 5000000<br>(+252000) |
| ชานอ้อย<br>Bagasse | Siam Pulp & Paper<br>( Thai Pulp& Paper ) | 200<br>300-400 | 45500<br>(+1000000) |
| ไม้ไผ่<br>Bamboo | Phoenix&Paper | 810-925 | 40000 |
| ปอ<br>Kenaf | Phoenix&Paper | 1550 | |
| ฟางข้าว<br>Rice straw | Bang-pa-in | 1000 | not in production |
| ปอสา<br>Paper mulberry | โรงงานทำกระดาษด้วยมือ<br>โรงงานผลิตกระดาษสา | 22000 | 4700 |

**ตารางที่2.4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน**[5]

| องค์ประกอบทางเคมีของไม้ | ไม้เนื้ออ่อน(softwood) | ไม้เนื้อแข็ง(hardwood) |
|---|---|---|
| เซลลูโลส(Cellulose) | ~45 | ~43 |
| เฮมิเซลลูโลส(Hemicellulose) | 5-20 | 15-30 |
| ลิกนิน(Lignin) | 24-32 | 17-25 |
| สารสกัดได้(Extractive) | ~3.4 | ~2.0 |

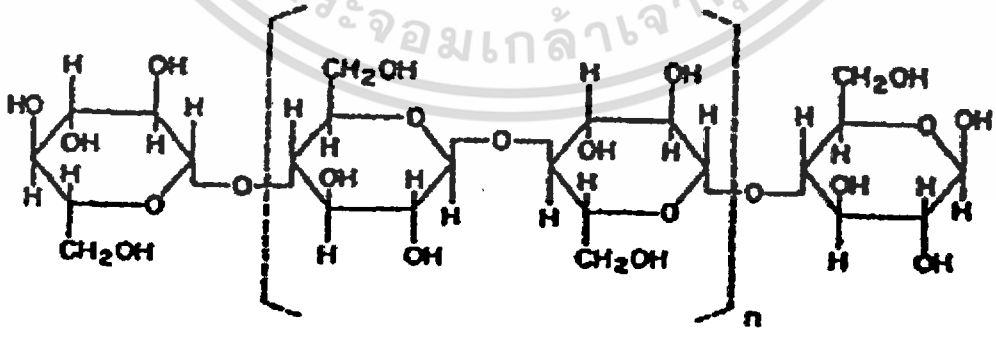
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers)** [6]

เส้นใยธรรมชาติ (natural fibers) เป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติม และสารเสริมแรง เพื่อเป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และสารประกอบอื่นๆ [7]

**1. เซลลูโลส (Cellulose)**

เป็นสารประกอบพอลิแซคคาไรด์ (polysaccarides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{12}O_6)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบรวมกับลิกนิน (Lignin) เพนโตแซน (pentosan) กัม (Gum) แทนนิน (tannin) ไขมัน (Fat) สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด



แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

**รูปที่ 2.2** สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส**

**การละลาย** เซลลูโลสไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในกรดเข้มข้นเช่นกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) กรดซัลฟูริก (sulfuric acid) เป็นต้น โดยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็ว ในสารละลายกรด ที่อุณหภูมิห้อง แต่จะหยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ เซลลูโลสบวมตัวในสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (alkali hydroxide) บางครั้งทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้

**ความหนืด** ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญ อย่างหนึ่ง ของเซลลูโลส โดยถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลสความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นอย่างเร็วทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

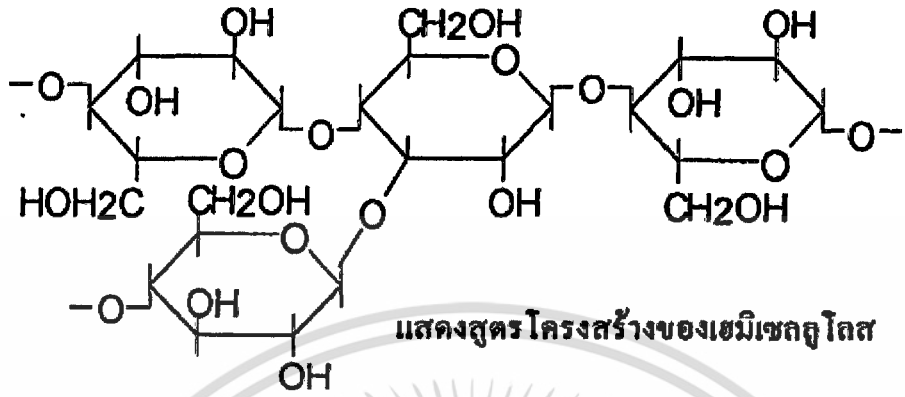
**การดูดซับความชื้น** เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับ หรือการคายไอน้ำ หรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัวของมันจนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

**ความหนาแน่น** เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มา หรืออาจเปลี่ยนไป เนื่องจาก การปรับปรุงทางเคมี

**2. เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)**

เป็นพอลิแซกคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกรบ ซังข้าวโพด เฮกโซแซน สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ โครงสร้างทางเคมีแสดงดังภาพ

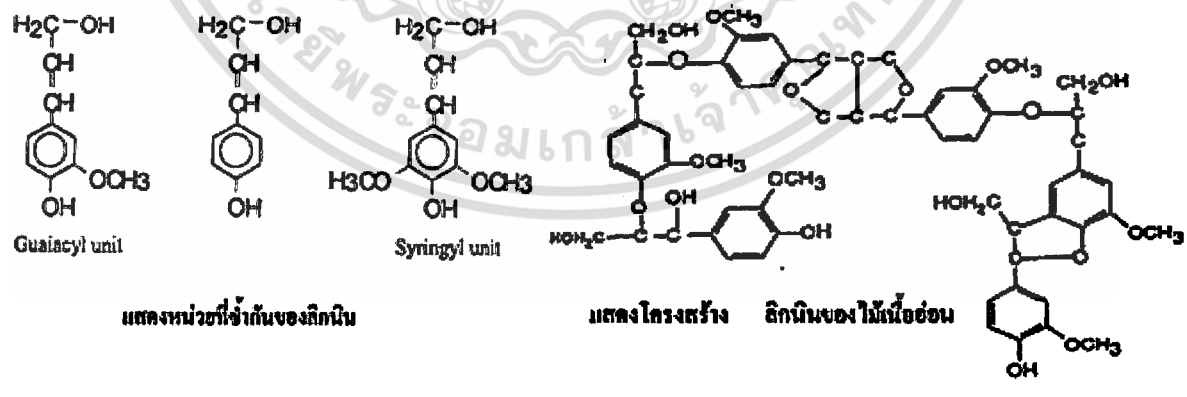
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**รูปที่ 2.3** สูตรโครงสร้างของเอมิเซลลูโลส [8]

**3. ลิกนิน (Lignin)**

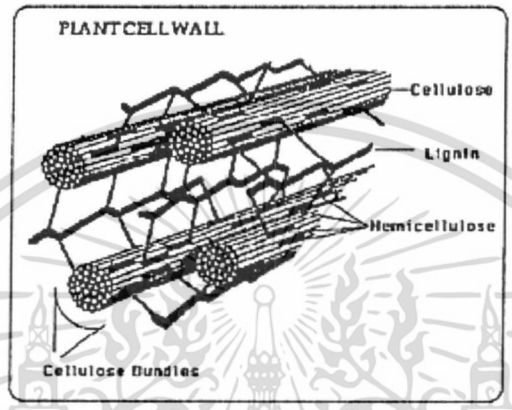
เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (lignase) หรือลิกนินเนส (ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างหน่วยที่ซ้ำกันของลิกนินแสดง ดังภาพ




**รูปที่ 2.4** หน่วยซ้ำของลิกนิน และโครงสร้างลิกนินของไม้เนื้ออ่อน [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมาก เช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้จะเป็นไปดังภาพ




แสดงการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้

**รูปที่ 2.5** การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินในไม้ [6]

**2.4 หญ้าแฝก (Vetiver grass)** [10]

**รูปที่ 2.6** รูปถ่ายหญ้าแฝกดอน [10]

หญ้าแฝกจัดเป็นหญ้าเขตร้อนที่ขึ้นอยู่ตามธรรมชาติกระจัดกระจายทั่วไปในสภาพแวดล้อมต่างๆ ในประเทศไทยจะพบหญ้าแฝกขึ้นอยู่ตามธรรมชาติในพื้นที่ทั่วไปจากที่ลุ่มจนถึงที่ดอน สามารถขึ้นได้ในเกือบทุกชนิด หญ้าแฝกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Vetiveria zizanioides เป็นพืชในตระกูลหญ้าเช่นเดียวกับ ข้าวโพด ข้าวฟ่าง อ้อย และตะไคร้ ขึ้นเป็นกอหนาแน่น เจริญเติบโตโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแตกกออย่างรวดเร็ว เส้นผ่าศูนย์กลางกอประมาณ 30 เซนติเมตร ความสูงจากยอดประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เมตร ลักษณะใบแคบยาวประมาณ 75 เซนติเมตร ความสูงจากยอดกอประมาณ 75 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 8 มิลลิเมตร ค่อนข้างแข็ง หากนำมาปลูกติดต่อกันเป็นแนวยาวขวางแนวลาดเทของพื้นที่กอซึ่งอยู่เหนือดินจะแตกกอติดต่อกันเหมือนรั้วต้นไม้ สามารถกรองเศษพืชและตะกอนดิน ซึ่งถูกน้ำชะล้างพัดพามาตกทับดินติดอยู่กับกอหญ้าเกิดเป็นคันดินธรรมชาติได้ หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีระบบรากลึกเจริญเติบโตในแนวดิ่งมากกว่าออกทางข้างและมีจำนวนมากจึงเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี รากจะประสานติดต่อกันแน่นหนาเสมือนม่านหรือกำแพงใต้ดิน สามารถกักเก็บน้ำและความชื้น ระบบรากแผ่ขยายกว้างเพียง 50 เซนติเมตร โดยรอบกอเท่านั้น ไม่เป็นอุปสรรคต่อพืชที่ปลูกข้างเคียง จัดเป็นมาตรการอนุรักษ์ดินและน้ำวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้ดินมีความชื้นและรักษาหน้าดิน เพื่อใช้สำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งการใช้หญ้าแฝกในการอนุรักษ์ดินและน้ำดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่ายในการปฏิบัติ

**2.4.1 พันธุ์หญ้าแฝก** [10]

ได้มีการศึกษาหญ้าสกุล Vetiveria ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบอนุกรมวิธาน ผลการศึกษาปรากฏว่าหญ้าแฝกที่พบในประเทศไทยจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือหญ้าแฝกหอมหรือแฝกกลุ่ม (Vetiveria zizanioides Nash) และแฝกดอน (Vetiveria nemoralis A. Camus) ในธรรมชาติพบว่าหญ้าแฝกทั้งสองชนิดมีการกระจายทั่วไป ขึ้นได้ดีในสภาพพื้นที่ทั้งที่ลุ่มและที่ดอน ในดินสภาพต่างๆ จากความสูงใกล้ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับประมาณ /800 เมตร

**1. หญ้าแฝกหอม หรือแฝกกลุ่ม (Vetiveria zizanioides Nash)**

หญ้าแฝกหอมเป็นพืชที่มีความสามารถในการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี และค่อนข้างเร็ว หญ้าแฝกหอมมีใบยาว 40-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2 เซนติเมตร มีหลังใบโค้ง ใบแบนมีสีเขียวเข้ม เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบ (Wax) มากทำให้ดูมัน ท้องใบออกสีขาวซีดกว่าด้านหลังใบ และเมื่อนำไปส่องดูกับแดดเห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ (Septum) ค่อนข้างชัดเจนโดยเฉพาะพื้นใบบริเวณส่วนโคนกลางใบ เส้นกลาง (Midrib) ฝังอยู่ในตัวแผ่นใบไม่โตหรือเด่นชัดเจน

**2. หญ้าแฝกดอน (Vetiveria nemoralis A. Camus)**

หญ้าแฝกดอนหรือแฝกพื้นบ้าน มีการกระจายพันธุ์อยู่ในวงแคบๆ ตามธรรมชาติเฉพาะในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือประเทศไทย ลาว เขมร เวียดนาม และมาเลเซียเท่านั้น หญ้าแฝกดอนมีใบยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร ใบสีเขียวซีด หลังใบสีเดียวกับด้านหลังใบแต่มีสีซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นในเนื้อใบ เส้นกลางใบสังเกตได้ชัดเจน มีลักษณะแข็งเป็นแกนนูนทางด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบลักษณะที่แตกต่างของหญ้าแฝกหอมและหญ้าแฝกดอน** [10]

| หญ้าแฝกหอม | หญ้าแฝกดอน |
|---|---|
| ลักษณะกอ<br>-เป็นพุ่มใบตั้งตรงขึ้นสูง<br>-สูงประมาณ 150-180 เซนติเมตร<br>-มีการแตกตะเกียงและแตกแขนงข้างลำต้นได้ | ลักษณะกอ<br>-เป็นพุ่มใบยาวปลายแผ่โค้งลงคล้ายกอตะไคร้ ไม่ตั้งมากเหมือนหญ้าแฝกหอม<br>-สูงประมาณ 100-150 เซนติเมตร<br>-ไม่มีการแตกตะเกียง และแขนงลำต้น |
| ใบ<br>-ยาว 45-100 เซนติเมตร กว้าง 0.6-1.2เซนติเมตร<br>-ใบสีเขียวเข้ม หลังใบโค้ง ท้องใบออกสีขาว มีรอยกั้นขวางในเนื้อใบ ส่องกับแดดเห็น ชัดเจน<br>-เนื้อใบค่อนข้างเนียน มีไขเคลือบมากทำให้ดูนุ่มมัน | ใบ<br>-ยาว 35-80 เซนติเมตร กว้าง 0.4-0.8 เซนติเมตร<br>-ใบสีเขียวซีด หลังใบพับเป็นสันสามเหลี่ยม ท้องใบสีเดียวกับหลังใบแต่ซีดกว่า แผ่นใบเมื่อส่องกับแดดไม่เห็นรอยกั้นขวางในเนื้อใบ<br>-เนื้อใบหยาบ มีไขเคลือบน้อย ทำให้ดูกร้านไม่เหลือบ |
| ช่อดอกและดอก<br>-สูง 150-200 เซนติเมตร<br>-ส่วนใหญ่มีสีม่วง | ช่อดอกและดอก<br>-สูง 100-150 เซนติเมตร<br>-มีได้หลายสี ตั้งแต่สีขาว ครีม ถึงม่วง |
| ราก<br>-มีความหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย<br>-สามารถหยั่งลึกได้ 100-300 เซนติเมตร | ราก<br>-ไม่มีความหอม<br>-สามารถหยั่งลึกได้ 8-10 เซนติเมตร |
| เมล็ด<br>-ขนาดโตกว่า | เมล็ด<br>-ขนาดเล็กว่า |
| พันธุ์<br>-กำแพงเพชร 2 , เชียงราย , สงขลา 1 , สงขลา 2 , สงขลา 3 , สุราษฎร์ธานี , ตรัง 1 , ตรัง 2 , ศรีรังกา , เชียงใหม่ , แม่ฮ่องสอน (รวม 11 พันธุ์) | พันธุ์<br>-อุดรธานี 1 , อุดรธานี 2 , นครพนม 1 , นครพนม 2,ร้อยเอ็ด , ชัยภูมิ , เลย , สระบุรี 1 , สระบุรี 2 ,ห้วยขาแข้ง , กาญจนบุรี , นครสวรรค์ , ราชบุรี ,ประจวบคีรีขันธ์ , จันทบุรี , พิษณุโลก , กำแพงเพชร |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
107785

**ตารางที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใบหญ้าแฝก** [11]

| องค์ประกอบใบหญ้าแฝก | ปริมาณ (%) |
|---|---|
| Hemicellulose | 72064 |
| Lignin | 17.03 |
| Pentosan | 28.26 |
| ความสามารถในการละลายน้ำร้อน | 10.56 |
| ความสามารถในการละลายน้ำเย็น | 7.39 |
| ความสามารถในการละลาย 1 %NaOH | 39.57 |
| ความสามารถในการละลาย Alocohol-Benzene | 9.47 |

**2.4.2 การขยายพันธุ์หญ้าแฝก**

การขยายพันธุ์หญ้าแฝกเป็นขั้นตอนที่สำคัญ โดยกล้าหญ้าแฝกที่ได้มีการรวบรวมสายพันธุ์ และผ่านการคัดเลือกแล้วว่ามีความเหมาะสมที่จะใช้ในการปลูกตามสภาพพื้นที่ต่างๆ จึงนำมาขยายพันธุ์เพื่อเพิ่มปริมาณให้มีมากเพียงพอตามความต้องการ สำหรับวิธีการขยายพันธุ์สามารถดำเนินการได้หลายวิธี แต่หลักการคือการเพิ่มจำนวนหน่อหรือการเพิ่มจำนวนต้นต่อกอให้มีปริมาณมากขึ้น โดยหน่อที่เพิ่มขึ้นยังคงลักษณะของสายพันธุ์หญ้าแฝกสายพันธุ์นั้นอยู่ ซึ่งวิธีการขยายพันธุ์อาจจะดำเนินการได้ดังนี้ การขยายพันธุ์ในแปลงขนาดใหญ่ การขยายพันธุ์ในแปลงยกร่อง และการขยายพันธุ์ในถุงพลาสติก โดยมีรายละเอียดการขยายพันธุ์ดังนี้

<u>การเพิ่มจำนวนหน่อหญ้าแฝก</u>

1. การปลูกดินในแปลงขนาดใหญ่

นำหน่อพันธุ์หญ้าแฝก ปลูกลงแปลงในขณะที่ดินมี ความชุ่มชื้น ควรใช้หน่อพันธุ์หลุมละ 2-3 หน่อ โดย ใช้ระยะปลูก 50 x 50 ซม. และเว้นสำหรับเป็นทางเดิน 1.00-1.50 เมตร สลับกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การปลูกลงดินในแปลงยกร่อง

นำหน่อหญ้าแฝกปลูกในแปลง ที่เตรียมดินและ ยกร่องไว้แล้วปลูกในขณะที่ดินยังมีความชุ่มชื้นอยู่ ขนาดแปลงกว้าง 1.50 เมตร ระยะห่าง ระหว่างแปลง 1 เมตร ระยะปลูก 50x50 ซม.

3. การปลูกในถุงพลาสติก

- ถุงใหญ่ ทั่วไปจะใช้ถุงพลาสติกสีดำชนิดพับข้างขนาดตั้งแต่กว้าง 4x9 นิ้ว ขึ้นไป เมื่อกรอกดินผสมลงถุงแล้ว จะได้เส้นผ่าศูนย์กลางของถุงตั้งแต่ 15-20 เซนติเมตร การขยายพันธุ์ในถุงใหญ่ ก็เพื่อให้ได้ปริมาณต้นมากและสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน เหมาะสำหรับนำไปขยายพันธุ์ต่ออีกครั้ง

- ถุงเล็ก จะมีหลายชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกเล็กใสขนาด 3.5 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว หรือถุงดำพับข้างขนาดกว้าง 2x6 นิ้ว ถึง 2.5x8 นิ้ว หรือเมื่อกรอกดินผสมลงถุงแล้ว จะได้เส้นผ่าศูนย์กลางของถุง 5 เซนติเมตร ถึง 10 เซนติเมตร ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ถุงเล็กเหมาะสำหรับนำไปปลูกลงดินหรือพื้นที่เป้าหมายเพื่อประโยชน์ทางด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ

**<u>การเพาะชำหน่อหญ้าแฝก</u>**

1. กล้าหญ้าแฝกในถุงพลาสติกขนาดเล็ก

กล้าหญ้าแฝกที่ได้จากแม่พันธุ์ที่แข็งแรง นำมาทำการขยายพันธุ์ปลูกในถุงพลาสติกกว้าง 2 นิ้ว ยาว 6 นิ้ว ซึ่งเหมาะสำหรับ นำไปปลูกลงดินหรือในพื้นที่เป้าหมาย การปลูกหญ้าแฝกที่ได้จากการขยายพันธุ์ในถุงขนาดเล็กนี้จะช่วยให้หญ้าแฝกรอดตายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กล้าหญ้าแฝกแบบรากเปลือย

กล้าหญ้าแฝกแบบเปลือยรากเป็นการเตรียมกล้าโดยการขุดแยกหน่อจากกอหญ้าแฝกตัดใบให้สั้น 20 ซม. ตัดรากให้สั้น นำไปกระตุ้นรากโดยการแช่น้ำหรือวางบนขุยมะพร้าวที่ชุ่มชื้น เพื่อให้รากใหม่งอออกมาแล้วจึงนำไปปลูก แต่ข้อเสียคือ ตายง่ายไม่ได้รับการดูแลที่ดี

**2.4.3 สมบัติที่ดีของหญ้าแฝก**

1.หญ้าแฝกมีการแตกหน่อ รวมเป็นกอ และเบียดกันแน่น กอมีความแข็งแรง ตั้งตรง และไม่แผ่ขยายด้านข้าง

2.หญ้าแฝกเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว แต่อายุยืน อยู่ได้หลายปี เพราะมีการแตกหน่อใหม่ และไม่ต้องดูแล มาก

3.หญ้าแฝกมีข้อที่ลำต้นถี่ และเกิดจากการย่างปล้อง สามารถขยายพันธุ์โดยใช้หน่อได้ตลอดปี

4.หญ้าแฝกส่วนใหญ่ไม่ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ทำให้ สามารถควบคุมการแพร่ขยายได้

5.หญ้าแฝกมีใบยาว เมื่อตัดสามารถแตกใหม่ได้ง่าย ใบคม แข็งแรง และทนทานต่อการย่อยสลาย

6.หญ้าแฝกมีระบบรากยาว ประสานกันอย่างหนาแน่นช่วยยึดดิน และรากมีลักษณะอวบสามารถอุ้มน้ำได้ดี

7.บริเวณรากหญ้าแฝก เป็นที่อาศัยของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์หลายชนิดในดิน

8.หญ้าแฝกสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดีและมีความทนทานต่อโรคพืชทั่วไป

9.หญ้าแฝกมีส่วนที่เจริญอยู่ต่ำกว่าผิวดิน ช่วยให้ สามารถอยู่รอดได้ต่อสภาพต่างๆ ดีกว่า

**2.4.4 การใช้ประโยชน์หญ้าแฝก**

1. การใช้ประโยชน์จากหญ้าแฝกสำหรับงานศิลปะหัตกรรม

หญ้าแฝกที่สามารถนำมาใช้ในงานหัตกรรม ได้แก่กลุ่มหญ้าแฝกหอม ซึ่งมีใบมันและยาว เมื่อโดนน้ำจะนิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานหัตถกรรมที่ใช้หญ้าแฝกจะเป็นงานประกอบเครื่องจักรสาน เช่น

- ทำเป็นตะกร้า และภาชนะ ได้แก่ กระจาด กระด้ง และภาชนะรองต่างๆ
- ทำเป็นเครื่องตกแต่งบ้าน ได้แก่ นาฬิกาแขวนกรอบรูป โป๊ะไฟ ของตั้งโชว์ ดอกไม้
- ทำเป็นเครื่องประดับ ได้แก่ กระเป๋า หมวก เข็มขัด เข็มกลัดติดเสื้อ
- ทำเป็นของใช้สำนักงาน ได้แก่ แฟ้มเอกสาร ปกไดอารี

**รูปที่ 2.7** ผลิตภัณฑ์จากหญ้าแฝก

2. การใช้ประโยชน์จากต้น และใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุเพาะเห็ด

ใบของหญ้าแฝกมีองค์ประกอบทางเคมีที่เชื้อราบางชนิดสามารถเจริญเติบโตในกระบวนการของการหมักได้ สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับเพาะเห็ดได้ เห็ดที่ขึ้นได้ดี ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดเป๋าฮื้อ และเห็ดหอม

3. การใช้ประโยชน์จากต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุมุงหลังคา

คนไทยใช้ส่วนต้นและใบหญ้าแฝกเป็นวัสดุมุงหลังคาเช่นเดียวกับการใช้ใบจาก ก่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้ใบหญ้าคาซึ่งหาซื้อได้ง่าย แต่หญ้าแฝกเป็นวัสดุมุงหลังคาที่มีคุณสมบัติดีกว่าการใช้หญ้าคามาก เพราะส่วนลำต้นและใบของหญ้าแฝกมีไขเคลือบ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว และมักจะไม่ถูกแมลงทำลาย

4. การใช้ประโยชน์จากรากหญ้าแฝก

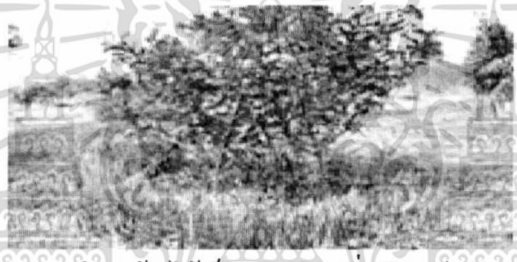
รากหญ้าแฝกใช้ทำน้ำมันหอม สบู่ ยาสมุนไพรรักษาโรคบางชนิด เช่น รากบดละเอียดผสมน้ำแก้ไข้ แก้โรคเกี่ยวกับน้ำดี รากต้มดื่มช่วยละลายนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ด้านอนุรักษ์ดินและน้ำ

การปลูกหญ้าแฝกตามแนวขั้นบันไดจะช่วยป้องกันการชะล้างพังทลายของดิน ซึ่งแถวหญ้าแฝกจะช่วยกักเก็บตะกอนดิน รวมทั้งช่วยลดความแรงของน้ำที่ไหลบ่า ช่วยกักเก็บน้ำไว้ในดินและพื้นที่ตอนบน และช่วยลดการสูญเสียธาตุอาหารพืชจากพื้นที่

6. ด้านฟื้นฟูและปรับปรุงดิน



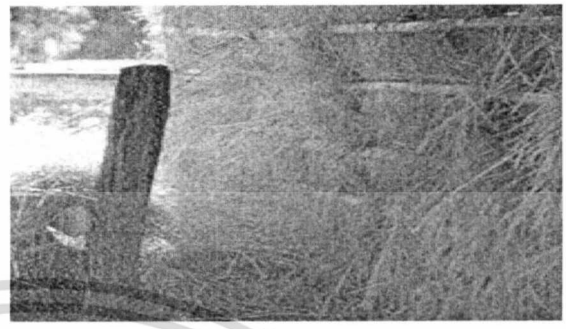
การปลูกหญ้าแฝกรอบโคนต้นไม้เป็นการช่วยเพิ่มอินทรียวัตถุแก่ดิน ช่วยรักษาความชื้นในดิน ช่วยให้ดินมีการระบายน้ำดีขึ้น ช่วยทำให้ดินโปร่งและระบายอากาศของดินดี และช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน

7. ด้านรักษาสภาพแวดล้อม

การปลูกหญ้าแฝกตามแนวร่องน้ำช่วยรักษาคุณภาพน้ำและแหล่งน้ำ ช่วยดูดซับโลหะหนักจากสภาพแวดล้อม ช่วยในการบำบัดและกรองน้ำเสีย และช่วยป้องกันการพังทลายของไหล่ถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.5 ฟางข้าว (Rice straw)** [12]



"ฟางข้าว" เศษวัสดุเหลือทิ้งจากท้องนาที่ไม่ได้รับการเหลียวแล และถูกมองข้ามเสมอมา

"ฟางข้าว" มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถ พัฒนาเป็นฉนวนความร้อน เพื่อทดแทนฉนวนใยแก้วและแผ่นโฟมที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ วัสดุฉนวนความร้อนกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากในปัจจุบัน มีการใช้มากทั้งในโรงงาน งานก่อสร้างอาคารและบ้านพักอาศัย แต่ส่วนใหญ่จะใช้ฉนวนใยแก้ว และแผ่นโฟม โดยเฉพาะอย่างยิ่งฉนวนใยแก้วที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ จากสถิติในปี 2543 ไทยมีการนำเข้าฉนวนใยแก้วสูงถึง 45,149,891 บาท[12] ทำให้เสียดุลการค้า นอกจากนั้น ฉนวนความร้อนเหล่านี้ ยังผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งมักประสบปัญหาและคำถามเกี่ยวกับความปลอดภัยต่อสุขภาพเมื่อนำมาใช้งาน การพัฒนาฉนวนความร้อนที่อาศัยเส้นใยจากพืชที่หาได้จากธรรมชาติ ย่อมส่งผลดีทั้งช่วยลดปัญหาการขาดดุลการค้า และปัญหาด้านสุขภาพ ซึ่ง "ฟางข้าว" จัดเป็นฉนวนความร้อนที่ดีอย่างหนึ่ง และจากการทดสอบค่าการนำความร้อนของฟางข้าวแห้งที่นำมาอัดจนมีความหนาแน่นประมาณ 80 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.07 W/m.K วัตต์ต่อเมตรองศาเคลวินในขณะที่ฉนวนใยแก้ว มีค่าการนำความร้อนประมาณ 0.03-0.04 W/m.Kขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาแน่นของฉนวน [12]

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่า จากการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนระหว่าง ฟางข้าว และ ฉนวนใยแก้วมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะ นำฟางข้าวมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนที่ดีได้ในอนาคต เนื่องจากมีคุณ สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงความร้อนที่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น มีความหนาแน่นต่ำ สามารถม้วน งอ หรือพับได้ และ มีความแข็งแกร่ง นอกจากนี้ ใยฉนวนความร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าการนำความร้อนต่ำสามารถใช้ทดแทนฉนวนความร้อนที่ทำจากใยแก้วและโฟมเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

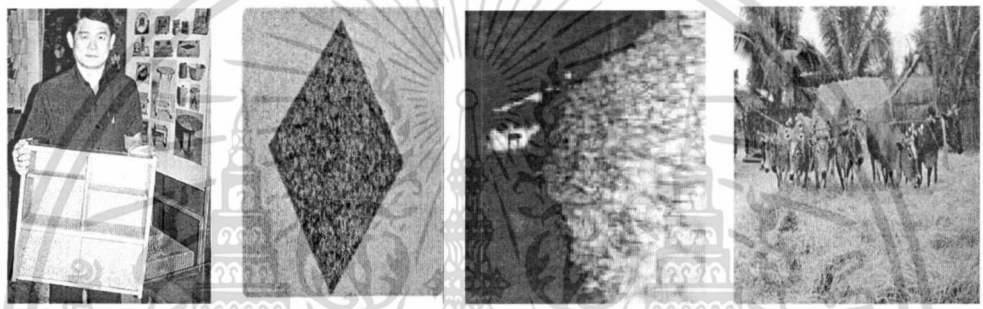
**2.5.1 ประโยชน์ของ “ฟางข้าว”**

1.ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นประกอบชีวภาพ คล้ายคลึงกับแผ่นไม้ประกอบ เช่น แผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด และแผ่นไม้อัดสารแร่ เป็นต้น

2. การผลิตแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยฟางข้าว เพื่อเป็นวัสดุโพลิเมอร์ชนิดใหม่

3. ใช้ผลิตเป็นฉนวนความร้อน

4. ใช้เป็นที่เพาะเชื้อเห็ดฟาง



**รูปที่ 2.8** ผลิตภัณฑ์จากฟางข้าว

**2.5.2 คุณสมบัติของฟางข้าว**

1. ผลพลอยได้จากการปลูกข้าว มีมากหลังฤดูเก็บเกี่ยวข้าว เป็นแหล่งอาหารหยาบสำหรับโค-กระบือในช่วงแล้ง

2. มีคุณค่าทางอาหารต่ำ มีโปรตีน เยื่อใย และค่าคุณค่าทางอาหารย่อยได้ทั้งหมด ประมาณ 2.76%, 36.17% และ 45% ของวัตถุแห้งตามลำดับ

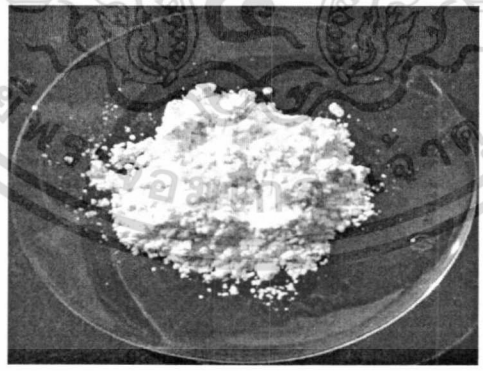
3. อัตราการย่อยได้ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบทางเคมีของฟางข้าว**[13]

| คุณค่าทางอาหาร | ฟางธรรมดา |
|---|---|
| วัตถุแห้ง | 90.0 |
| โปรตีนรวม | 2.76 |
| เยื่อใย | 38.13 |
| เถ้า | 14.54 |
| ไขมัน | 2.00 |
| คุณค่าทางอาหารคาร์โบไฮเดรท | 32.27 |
| ย่อยได้ทั้งหมด | 40.2 |
| โปรตีนย่อยได้ | 0 |
| การย่อยได้ของวัตถุแห้ง | 50.0 |

**2.6 แคลเซียมซัลเฟต (Calcium Sulfate)**



เป็นสารเคมีที่ใช้ในห้องทดลองและงานอุตสาหกรรมในรูปแอนไฮดรัสเป็นของแข็งใช้เป็นตัวดูดความชื้น(desiccant) ในห้องทดลอง โดยมีชื่อเรียกว่า ดรายเออไรต์ เฮมิไฮเดรต รู้จักกันดีในชื่อของ ปลาสเตอร์ออฟปารีส ขณะที่ ไดไฮเดรต เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติมีชื่อว่า ยิปซัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2.8 ตางรางแสดงคุณสมบัติของแคลเซียมซัลเฟต**

| | |
|---|---|
| ชื่อผลิตภัณฑ์ | แคลเซียมซัลเฟต, 1/2-ไฮเดรต, ผง |
| ชื่อภาษาอังกฤษ | calcium sulfate |
| ชื่อเสมือน | ปูนพลาสเตอร์; ยิปซัมแห้ง |
| ลักษณะ | ผง สีขาว, ไม่มีกลิ่น |
| สูตรเคมี | $CaSO_4$ |
| น้ำหนักโมเลกุล | 136.14 g/mol (*anhydrous*) |
| ความเสถียร | เสถียร |
| คำเตือน | ทำให้ระคายเคือง หลีกเลี่ยงการสัมผัส ดวงตา ผิวหนัง เสื้อผ้า เก็บในภาชนะปิดสนิท ใช้ในสถานที่ที่มีการระบายอากาศเพียงพอ ทำความสะอาดหลังการสัมผัส ทำความสะอาดหลังการสัมผัส. |
| จุดไวไฟ<br>ขีดจำกัดการติดไฟ | (ระบบปิด) ไม่มีการวิเคราะห์<br>ขีดจำกัดบน - ไม่มีการวิเคราะห์ % ขีดจำกัดล่าง - ไม่มีการวิเคราะห์ % |

**2.7 กระบวนการผลิตวัสดุกันความร้อน**

การทดลองผลิตฉนวนกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งประเภทเส้นใยธรรมชาติแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

**1. การเตรียมวัตถุดิบ** วัตถุดิบที่จะนำมาใช้ในการผลิตเยื่อต้องนำไปตัดเป็นท่อนๆ ที่มีความยาวประมาณหนึ่งนิ้วครึ่ง ขนาดวัตถุดิบจะถูกคัดเลือกโดยผ่านตะแกรงร่อน เพื่อคัดขนาดให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน แล้วจึงนำไปเข้ากระบวนการผลิตเยื่อ

**2. การผลิตเยื่อ ( pulping )** เป็นขั้นตอนที่วัตถุดิบจะถูกนำมาทำเป็นเยื่อไม้ กรรมวิธีผลิตเยื่อสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ

2.1 การผลิตเยื่อเชิงกล ( Mechanical pulping process ) การผลิตเยื่อเชิงกลหมายถึงกระบวนการผลิตเยื่อโดยการใช้พลังงานกล ช่วยให้เส้นใยแตกหลุดจากกันเป็นอิสระ กล่าวคือ ไม้ทั้งท่อนจะได้รับการตัดออกเป็นชิ้นเล็กๆแล้วบดด้วยลูกหิน (Ground wood ,GW )หรือบดด้วยจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

( refiner ) จนละเอียดเป็นเยื่อไม้ จึงให้ผลผลิตเยื่อสูงตั้งแต่ร้อยละ 85 ขึ้นไปเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้ ได้แก่ เยื่อ PGWP (pressurized ground wood pulp) เยื่อ TMP(thermo mechanical pulp) เยื่อ CTMP(chemi thermo nechanical plup) เยื่อไม้ที่ผลิตได้จากการผลิตเยื่อวิธีนี้ จะมีส่วนผสมของลิกนินทั้งหมดปนอยู่ด้วยค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดนี้ส่วนใหญ่จะมีการฉีกขาดและตัดเป็นท่อนๆ ไม่แยกเป็นเส้นใยสมบูรณ์แต่ละเส้น นอกจากนี้ยังมีชิ้นไม้เล็กๆ หรือกลุ่มของเส้นใย (bundle of fiber)ปนอยู่จำนวนมาก เนื่องจากเส้นใยแต่ละเส้นไม่สามารถแยกเป็นเส้นใยสมบูรณ์ และยังคงมีลิกนินในปริมาณสูงมาก เยื่อเชิงกล เมื่อนำมาทำเป็นวัตถุดิบในการผลิตจะมีคุณสมบัติด้านความทึบสูง แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยต่ำ จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตเยื่อประเภทรับแรงสูง เยื่อชนิดนี้มีราคาค่อนข้างถูก

2.2 การผลิตเยื่อกึ่งเคมี (semi – chemical pulp process ) หมายถึง กระบวนการผลิตเยื่อที่ต้องอาศัยทั้งพลังงานกลเช่นเดียวกับการผลิตเยื่อเชิงกลและการใช้สารเคมีเข้ามาช่วยให้เส้นใยแยกตัวเป็นอิสระง่ายขึ้น สารเคมีที่ใช้ได้แก่ โซเดียมซัลไฟล์ชนิดที่เป็นกลาง(neutral sodium sulfite ) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate )เยื่อที่ผลิตได้ ได้แก่ NSSC (neutral sulfite semichemical) ซึ่งยังคงมีปริมาณลิกนินเหลืออยู่บ้างแต่น้อยกว่าปริมาณลิกนินในเยื่อเชิงกล

2.3 การผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping process ) เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานความร้อนและสารเคมีละลายลิกนิน ซึ่งเชื่อมระหว่างเส้นใยออกมา เส้นใยที่ได้จากเยื่อเคมีทุกชนิดจะสามารถแยกตัวเป็นเส้นใยแต่ละเส้นได้อย่างสมบูรณ์ แตกต่างจากเส้นใยที่ผลิตได้จากเยื่อเชิงกลไม่มีลักษณะของไม้ซึ่งเป็นการจับกลุ่มของเส้นใยเหลืออยู่จึงเป็นที่มาของคำว่าปลอดไม้ (wood – free pulp ) การเรียกชื่อเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะเรียกตามระบบสารเคมีที่ใช้ เช่น ถ้าใช้โซดาไฟในการผลิต จะเรียกเยื่อโซดา (sodo pulp )เป็นต้น เยื่อเคมีจัดเป็นเยื่อที่มีการผลิตลำดับสูงสุดในอุตสาหกรรมและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเยื่อชนิดนี้สามารถนำไปพัฒนาสมบัติกายภาพของเส้นใยได้ดีตามความเหมาะสม

**3. การเตรียมเยื่อ (stock preparation )** มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยให้เหมาะสมแก่การเดินแผ่นที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการผลิต โดยการยีเยื่อซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การยีเยื่อให้กระจายในน้ำ เพื่อให้เส้นใยแยกจากกันและกระจายในน้ำอย่างสม่ำเสมอ
- การทำความสะอาดน้ำเยื่อ (cleaning ) เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเยื่อ
- การควบคุมความเข้มข้นของน้ำเยื่อ เพื่อให้น้ำเยื่อมีคุณสมบัติคงที่( consistency )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.8 การใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ในการต้มเยื่อ**

จากการที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ในการต้มเยื่อโดยที่โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)จะทำปฏิกิริยากับสารลิกนินในเนื้อไม้โดยจะทำการชะลิกนินซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อเส้นใยออก น้ำต้มเยื่อที่ได้ต้องนำมาทำการ Recover ใหม่ ซึ่งบางโรงงานได้มีการปล่อยน้ำต้มเยื่อลงในแหล่งน้ำ สารลิกนินที่อยู่ในน้ำต้มเยื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ จะก่อให้เกิดสารไดออกซิน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นเพื่อเป็นการสะดวกต่อการทำงาน การลดมลภาวะของสิ่งแวดล้อม และเป็นการประหยัดต่อการผลิต จึงได้ทำการใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) ในการต้มเยื่อแทนที่โซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH)เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์(KOH) มีองค์ประกอบของปุ๋ยอยู่ คือ โพแทสเซียม เมื่อได้น้ำจากการต้มเยื่อแล้วสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ย หรือรดน้ำต้นไม้

$$KOH + HCl \longrightarrow \boxed{KCl} + H_2O \qquad (2.1)$$

$$KOH + H_2SO_4 \longrightarrow \boxed{K_2SO_4} + H_2O \qquad (2.2)$$

แม่ปุ๋ย

**2.9 ค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ (Kappa number)**

Kappa number คือ เป็นตัวตรวจวัดปริมาณ lignin ในเยื่อหลังจากผ่านกระบวน การผลิตเยื่อ ในการทดลองนี้จะกำหนดค่าอยู่ระหว่าง 25-30 [14]

**การหาค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ (Kappa number)**

1. หาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อ
2. หาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อ
3. หาปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังกระบวนการต้ม

**การนำค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ (Kappa number)ไปใช้ประโยชน์**

1. ช่วยให้ทราบว่า ควรที่จะผลิตเยื่อให้มีค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ อยู่ในช่วง 25-30 ซึ่งถ้าต่ำกว่า 25 เส้นใยจะอยู่ในเซลลูโลสมากเกินไป ทำให้เยื่อที่ผลิตได้เกาะกันเป็นก้อน ไม่กระจายตัว แต่ถ้าสูงกว่า 30 เส้นใยจะถูกทำลายมากเกินไป ทำให้เยื่อที่ผลิตได้ไม่เกาะเกี่ยวกัน เส้นใยขาด ไม่สมบรูณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่วยให้ทราบว่า ควรที่จะใช้ความเข้มข้นของสารเคมีในการต้มเยื่อกี่เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถ้าเปอร์ความเข้มข้นของสารเคมีสูงเกินไป จะทำให้เยื่อที่ผลิตได้กระจายตัวได้ไม่ดี มีค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อต่ำ และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตจะต่ำ แต่ถ้าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารเคมีต่ำเกินไป จะทำให้เยื่อที่ผลิตได้ขาดไม่สมบูรณ์ มีค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อสูง และเปอร์เซ็นต์ผลผลิตจะสูง

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตแผ่นฉนวนความร้อนจากฟางข้าว และหญ้าแฝก พบว่า สิ่งที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของแผ่นฉนวนความร้อน ชนิดของสารยึดติดและสารเติมแต่ง ปริมาณของสารยึดติด ชนิดของวัสดุ ลักษณะรูปร่างวัสดุ เป็นต้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อการขึ้นรูปแผ่นฉนวนความร้อนที่ได้ สำหรับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีดังนี้

Pathak B. S. Jain A.K. และ Singh A. (1986) [15] ศึกษาถึงลักษณะสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของพืชเส้นใยที่เหลือทิ้งทางการเกษตร 10 ชนิด จากการศึกษาพบว่า พืชที่มีความหนาแน่นสูง (high bulk density) ที่ 150 kg/m$^3$ ประกอบด้วย ต้น arhar ต้นฝ้าย ส่วนความหนาแน่นที่ระดับปานกลาง (medium bulk density) ที่ 100-150 kg/m$^3$ ประกอบด้วย เปลือกถั่วลิสง ซังข้าวโพด และแกลบ และส่วนที่มีความหนาแน่นต่ำที่ 50-100 kg/m$^3$ ประกอบด้วย ชานอ้อย ต้นข้าวโพด ฟางข้าวสาลี และที่มีความหนาแน่นต่ำมากๆ (very low bulk density) คือต่ำกว่า 50 kg/m$^3$ คือฟางข้าว ส่วนการทดสอบ ค่าปริมาณความชื้นที่ต่ำสุด คือ ต้น arhar และสูงสุด คือ ต้นข้าวโพด ส่วนค่าความร้อนของเปลือกถั่วลิสง เท่ากับ 20.01 MJ/kg ส่วนค่า proximate ประกอบด้วย ค่า fixed carbon ของฟางข้าวสาลีเท่ากับ 17.93% และฟางข้าวเท่ากับ 11.10% ส่วนค่า volatilc matter ของเปลือกถั่วลิสงเท่ากับ 83.9% ของฟางข้าวเท่ากับ 69.7% และขี้เถ้าของฟางข้าวเท่ากับ 19.20% ซังข้าวโพดเท่ากับ 1.84% พบว่าส่วนที่มีเซลลูโลสที่มากคือ ต้น Dhaincha เท่ากับ 46.3% ส่วนค่า pentosan ของซังข้าวโพดเท่ากับ 27.9% ส่วนค่าลิกนินที่สูงคือ ต้น Arhar เท่ากับ 39.7% และยังมีธาตุอื่นๆ อีก

Samatharjan A. Vijayaraghavan N.C. และ Swaminathan K.R. (1992) [16] ได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกลและเชิงความร้อนของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดทำมาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยนำวัสดุ 5 ชนิด ประกอบด้วย เปลือกข้าวโพด ซังข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง กะลามะพร้าว และฟางข้าว ใช้กาวยูเรีย ฟอร์มาลดีไฮด์ 6% (โดยน้ำหนัก) เป็นสารยึดติด มาผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นต่ำ (low density particle board) จากการทดสอบ พบว่า แผ่นที่ทำจากซังข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสงจะมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่สูงกว่าแผ่นที่ทำจากฟางข้าว แผ่นที่ทำจากซังข้าวโพดและเปลือกถั่วลิสงจะมีค่ามอดลัสแตกร้าวที่สูงกว่าแผ่นอื่นๆ ส่วนค่าความแข็งแรงทนการกระแทก (impact strength) และค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และแผ่นที่ทำจากซังข้าวโพดจะมีค่าความต้านทานแรงดึง (thermal conductiviy) ของแผ่นที่ทำจากฟางข้าวจะมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำที่สุด และเปลือกถั่วลิสงจะมีค่าสูงกว่าแผ่นอื่นๆ

Paturau J.M. (1982) [17] ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดชนิดความหนาแน่นต่ำจากกากอ้อย โดยนำกากอ้อยที่ได้จากโรงงานน้ำตาลนำมาแยกพิท (pith) ออกร่อนผ่านตะแกรง แล้วนำเข้าเครื่องโดยใช้ปูนขาว หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำการย่อย 40 นาที ภายใต้ความดัน 620 Kpa เมื่อครบเวลาล้างแล้วก็จะส่งไปที่เครื่องย่อยเพื่อเติมสารเคลือบผิวกันซึม (sizing agent) ใช้เรซิน 1% ส่งไปในเยื่อที่มีค่า pH เป็นกลาง จากนั้นทำการตกตะกอนเยื่อที่ทำการคัดขนาดโดยปรับค่า pH ไปที่ 4.6-4.8 ด้วยสารละลายปูนขาว 3% และเติมสารเพื่อใช้ป้องกันแมลงและเชื้อรา

Suttisonk B. (1999) [18] ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำวัสดุเหลือใช้ประเภทผลไม้เพื่อทำเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ โดยใช้เส้นใยจากเปลือกมะพร้าวและเปลือกทุเรียน ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนเพิ่มในส่วนผสมจะลดค่าการนำความร้อนลง โดยความยาวที่เหมาะสมของเส้นใยคือ 2 มิลลิเมตร และอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือปริมาณเส้นใยร้อยละ 20 ของปริมาณซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก) จากการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่า มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.0254 W /m.K ค่าแรงอัดเท่ากับ 24.52 kg/cm$^3$ (ระยะเวลาในการบ่มในอากาศ 1 วัน และในน้ำ 9 วัน และค่าความหนาแน่น 958.50 kg/cm$^3$ และสำหรับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับเส้นใยทุเรียน คือปริมาณเส้นใยทุเรียนร้อยละ 10 ของปริมาณซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก) ให้ค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.3506 W /m.K ค่าแรงอัดเท่ากับ 33.60 kg/cm$^3$ (ระยะเวลาในการบ่มในอากาศ 1 วัน ในน้ำ 9 วัน และบ่มต่อในอากาศอีก 12 วัน และค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1,456 kg/cm$^3$ )

รัตติยา มณีศรี และคณะ (2539) [19] ได้ศึกษาการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดความหนาแน่นปานกลางจากต้นหญ้าสลาบหลวง ในการผลิตโดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ และกาวยูเรียเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ เรซิน เป็นสารยึดติดที่ได้สังเคราะห์ขึ้นใช้ในห้องปฏิบัติการในการทดลองและทดสอบสมบัติทางกายภาพคือค่าความหนาแน่น (density) ค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานมอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จากการทดลองพบว่า สิ่งที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพ คือ ชนิดของชิ้นไม้ ชนิดของสารยึดติด ปริมาณสารยึดติดกล่าวคือถ้าใช้สารยึดติดกาวยูเรียเมลามีนฟอร์มาลดีไอด์ (urea melamine formaldehyde resin) กับหญ้าสลาบหลวงที่ปริมาณสารยึดติดเท่ากัน พบว่า จะมีสมบัติที่ใช้กาวยูเรียเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ เรซิน เป็นสารยึดติดจะดีกว่ายูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ เรซิน เป็นสารยึดติด ถ้าใช้สารยึดติดชนิดเดียวกันปริมาณสารยึดติดเท่ากัน พบว่า ชิ้นไม้ยูคาลิปตัสจะมีสมบัติดีกว่าแผ่นที่ใช้ต้นหญ้าสลาบหลวง และหากใช้สารยึดติดในปริมาณที่แตกต่างกัน ก็จะมีผลต่อสมบัติแตกต่างเช่นเดียวกัน

ประยูร สุรินทร์ (2544) [20] ได้ศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย พบว่า การนำความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0724-0.0925 W /m.K ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นและปริมาณกาวที่ใช้ ค่าการนำความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นและปริมาณกาวเพิ่มขึ้น การดูดซึมน้ำ การขยายตัวทางความหนาและความยาวลดลง ส่วนความต้านทานแรงกระแทก ค่ามอดูลัสแตกร้าวและยืดหยุ่น ค่าต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงขึ้น แผ่นฉนวนความร้อนที่ผลิตได้ใช้ปริมาณกาว 25% และ 33% มีความหนาแน่นระหว่าง 600-700 $kg/cm^3$ สามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีและยังใช้เป็นแผ่นอัดความหนาแน่นปานกลาง

จากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตแผ่นฉนวนความร้อนมาใช้กันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ ที่เป็นประเทศเกษตรกรรมทั่วโลก ซึ่งรวมถึงประเทศไทยโดยปัจจุบันได้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายประเภทมาผลิตแผ่นฉนวนและปาร์ติเกิล เช่น เศษไม้ ขี้เลื้อย เปลือกถั่ว กาบมะพร้าว ชานอ้อย ซังข้าวโพด ฟางข้าว เป็นต้น และวัสดุประเภทอื่นๆ ด้วย ดังนั้นแนวทางที่น่าจะมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นฉนวนความร้อนเพื่อทดแทนไม้ได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# วิธีการทดลอง

การทดลองครั้งนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อโดยใช้สารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ จากนั้นขึ้นรูปเยื่อด้วยตะแกรงขึ้นรูปเยื่อแล้วนำผลผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบคุณสมบัติทางกลต่างๆ ขั้นตอนการทดลองดังนี้

## 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดหม้อต้มสแตนเลสพร้อมฝาปิดสนิท
2. เครื่องตัดวัตถุดิบ
3. ตะแกรงล้างเยื่อ
4. ตะแกรงขึ้นรูป
5. อ่างสำหรับขึ้นรูปเยื่อ
6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (OHAUS รุ่น ARC120 ; Ohaus Corp. Pine Brook, NJ USA)
7. เครื่องปั่นกวน (Stirrer, CTL รุ่น HS1 ; บริษัทซีทีแลบอราตอรี่ จำกัด)
8. ชุดไทเทรต
9. pH paper
10. เครื่องแก้ว

## 3.2 เครื่องมือวิเคราะห์

1. เครื่องวัดสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (Quiols Thermal Conductivity Meter, NETZSCH รุ่น WJ-EEE-13)
2. เครื่องวัดความหนา

## 3.3 วัตถุดิบที่ต้องใช้ในการทดลอง

1. หญ้าแฝก (หญ้าแฝกดอน พันธุ์ราชบุรี / แหล่ง : ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ บริษัทวีนิไทย จำกัดมหาชน)
2. ฟางข้าว (แหล่ง : ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.4 สารเคมีที่ต้องใช้ในการทดลอง**

1) สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ยี่ห้อ CARLO ERBA
2) สารละลายกรดซัลฟูริก เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
3) สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
4) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
5) สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ MERCK
6) อินดิเคเตอร์ (0.2%น้ำแป้ง)

**3.5 การเตรียมสารละลายในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ(Kappa number)**

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 เตรียมกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 4 นอร์มอล ตวงมา 111 มิลลิลิตร เติมน้ำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

1.2 เตรียมโพแทสเซียมไอโอไดร์ 166 กรัม เติมทำให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

1.3 เตรียมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เข้มข้น 0.1 นอร์มอล 1 หลอด ใส่ขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เตรียม 2 ลิตร ใช้ 2 หลอด

1.4 เตรียมโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.2 นอร์มอล 2 หลอด เติมให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

1.5 เตรียมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ชั่งแป้ง 2.5 กรัม เติมน้ำธรรมดาเล็กน้อย เทลงในน้ำที่เดือด 500 มิลลิลิตร ต้มจนเดือด ทิ้งให้เย็น เติมโพแทสเซียมไอโอไดร์ 0.5 กรัม คนให้ละลายตั้งไว้ให้ตกตะกอน ใช้ส่วนที่ใสใส่ขวด ใส่ฟอร์มัลดีไฮด์1 มิลลิลิตร เพื่อรักษาสภาพของน้ำแป้งที่เตรียมไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.6 วิธีการทดลอง**

**3.6.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของหญ้าแฝกและฟางข้าว**

1. นำหญ้าแฝกและฟางข้าวตัดออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนปลาย – ส่วนโคนตัดเป็นท่อนยาวหนึ่งนิ้วครึ่ง
2. นำหญ้าแฝกและฟางข้าวส่วนหนึ่งมาหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยวิธีการดังนี้
   - ชั่งภาชนะ บันทึกผล
   - ชั่งภาชนะและหญ้าแฝกหรือฟางข้าว บันทึกผล
   - นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปใส่ไว้ในเดซิเคเตอร์ จนหญ้าแฝกหรือฟางข้าวพร้อมภาชนะเย็นลง
   - ชั่งน้ำหนักของหญ้าแฝกหรือฟางข้าวพร้อมภาชนะที่อบแล้ว บันทึกผล เพื่อนำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และเปอร์เซ็นต์ความชื้น (ภาคผนวก ข)

**3.6.2 การหาภาวะในการต้มเยื่อสำหรับหญ้าแฝกและฟางข้าว**

1. ตวงน้ำปริมาณ 8 เท่าของน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกหรือฟางข้าว (8 : 1) ใส่ลงในชุดหม้อต้มสแตนเลส ชั่งสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์จำนวน 10 % ของน้ำหนักหญ้าแฝกหรือฟางข้าวแห้ง ใส่ลงในน้ำคนให้ละลายจนหมด
2. นำหญ้าแฝกหรือฟางข้าวที่ได้จากส่วนโคน – ส่วนปลายที่แยกออกจากกันแล้วมาล้างด้วยน้ำสะอาด โดยล้างส่วนโคนแล้วเทลงในสารละลาย แช่ 3 ชั่วโมง แล้วนำส่วนปลายที่ล้างน้ำสะอาดแล้ว แช่รวมกับส่วนโคนต่ออีก 17 ชั่วโมง นำไปต้มจนเดือด บันทึกเวลา หลังจากเดือดแล้ว ให้ทำการต้มต่อจนกระทั่งครบ 3 ชั่วโมง พอที่เยื่อจะสามารถกระจายตัวจากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้หมดสารเคมีโดยล้างจนน้ำเยื่อมีฤทธิ์เป็นกลางต่อกระดาษลิตมัส
3. จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปกระจายจนเยื่อมีลักษณะเป็นเส้นๆไม่เกาะติดกันแล้วจึงนำไปล้างน้ำเปล่าบีบให้แห้งและนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
4. นำเยื่อมาจำนวนหนึ่งเพื่อหาความชื้น โดยวิธีเช่นเดียวกับข้อ 3.4.1
5. คำนวณหาผลผลิตเยื่อที่ได้
6. จากนั้นทำซ้ำจากข้อ 1-5 โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในการต้มเป็น 12% , 14% และ 16 % ตามลำดับ ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำเยื่อที่ผ่านการกระจายแล้ว ของแต่ละความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์อัตราส่วนน้ำต่อน้ำหนักแห้งของหญ้าแฝกหรือฟางข้าวมาหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number) ให้อยู่ในช่วง 25-30

**3.6.3 การหาปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number)**

1. นำเยื่อที่ผลิตมากระจายออกจากกัน ทำการหาความชื้นของเยื่อหลังผ่านการยีเยื่อเพื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (ภาคผนวก ข) มาคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องใช้ในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (ภาคผนวก ง)
2. เตรียมชุดควบคุม ในการทดลองหาค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อโดยการ
   2.1 ตวงน้ำปริมาณ 800 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 ml แล้วกวนด้วยเครื่องปั่นกวน โดยใช้แท่งแม่เหล็ก ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ
   2.2 ตวง 4 N $H_2SO_4$ 100 ml ใส่ลงไปในน้ำ
   2.3 ปิเปต 0.1 N $KMnO_4$ 100 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ เริ่มจับเวลาตั้งแต่หยดแรกของ $KMnO_4$ ลงในบีกเกอร์และทำการวัดอุณหภูมิที่เวลา 5 นาที
   2.4 หลังจากรอ 10 นาทีใส่ 1 N KI 20 ml หยดน้ำแป้ง เพื่อใช้เป็นอินดิเคเตอร์
   2.5 ทำการไทเทรต กับ 0.2 N $Na_2S_2O_3$ จนสารละลายกลายเป็น ไม่มีสี
   2.6 บันทึกปริมาณ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ ทำการทดสอบซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยในการไทเทรต
3. หาปริมาณสารละลาย $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไทเทรตเยื่อ
   3.1 ชั่งเยื่อ 1.5 กรัม ใส่เครื่องปั่น
   3.2 ตวงน้ำปริมาณ 800 ml เทลงในบีกเกอร์ขนาด 200 ml แบ่งออกเป็น 2 ส่วน เท่าๆกัน
   3.3 นำน้ำส่วนแรกเทลงเครื่องปั่น ทำการปั่นเป็นจังหวะ เพื่อให้เยื่อกระจายตัว
   3.4 เทเยื่อที่ปั่นเทลงบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร นำน้ำส่วนที่ 2 ล้างเครื่องปั่นให้ สะอาด เทลงบีกเกอร์ใบเดิม
   3.5 ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน โดยใช้แท่งแม่เหล็ก ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แล้วทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 2.2-2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า Kappa number ซึ่งค่า Kappa number ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 25-30 และนำค่า Kappa number ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (ภาคผนวก ง)

**<u>การคำนวณปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ Kappa number</u>**

Kappa number = afd / m

a = 2(b-c)

b = ml of titrant of blank

c = ml of titrant of sample

d = ค่าเทียบจากตาราง

m = mass of sample

f = 1 + 0.013 ( 25 – t )

t = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 3.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used [14]

| a+ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 0.958 | 0.960 | 0.962 | 0.964 | 0.966 | 0.968 | 0.970 | 0.973 | 0.975 | 0.977 |
| 40 | 0.979 | 0.981 | 0.983 | 0.985 | 0.987 | 0.989 | 0.991 | 0.994 | 0.996 | 0.998 |
| 50 | 1.000 | 1.002 | 1.004 | 1.006 | 1.009 | 1.011 | 1.013 | 1.015 | 1.017 | 1.019 |
| 60 | 1.022 | 1.024 | 1.026 | 1.028 | 1.030 | 1.033 | 1.035 | 1.037 | 1.039 | 1.042 |
| 70 | 1.044 | | | | | | | | | |

**3.6.4 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน**

3.6.4.1 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนโดยไม่ใส่ Binder

1. ชั่งเยื่อแห้งปริมาณ 28 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำ ทำการกระจายเยื่อจนเยื่อกระจายเป็นเส้นไม่จับกันเป็นก้อน
2. นำเยื่อที่ได้เทลงในตะแกรงขึ้นรูป ทำการรีดน้ำออก
3. นำแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแล้วไปผึ่งในที่อากาศถ่ายเทได้ดีจนแห้ง ซึ่งจะได้แผ่นฉนวนขนาดกว้าง 24 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1- 4 แต่เปลี่ยนปริมาณเยื่อแห้งเป็น 56, 84, 112 และ 140 กรัม ตามลำดับ

3.6.4.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนโดยการผสมกับ binder คือแคลเซียมซัลเฟต

1. ชั่งเยื่อและ binder ในอัตราส่วน เยื่อ ต่อ binder (1 : 1) โดยนำเยื่อใส่บีกเกอร์ เติมน้ำ ทำการกระจายเยื่อจนเยื่อกระจายเป็นเส้นไม่จับกันเป็นก้อน
2. ต่อจากนั้นทำการใส่ binder แล้วผสมให้เข้ากัน
3. นำเยื่อที่ได้เทลงในตะแกรงขึ้นรูป ทำการรีดน้ำออก
4. นำแผ่นฉนวนที่ขึ้นรูปแล้วไปผึ่งในที่อากาศถ่ายเทได้ดีจนแห้ง
4. จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1- 4 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนเยื่อ ต่อ Binder เป็น 1.5 : 1 และ 2 : 1 ตามลำดับ ตามลำดับ

**3.6.5 การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน**

3.6.5.1 ทดสอบวัดความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ขึ้นรูป

วิธีวัดความหนาแน่น ;

1.) วัดความหนาของแผ่นขึ้นรูปด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ซึ่งมีทศนิยม 2 ตำแหน่ง ในแผ่นวัสดุกันความร้อน โดยเลือกสุ่มวัดความหนาโดยรอบแผ่นวัสดุกันความร้อน ในพื้นผิวที่เรียบสม่ำเสมอกันมากที่สุด 3 ครั้ง

2.) บันทึกผล หาค่าเฉลี่ยรวมของความหนาของแต่ละแผ่น

3.6.5.2 ทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (ค่า k)

1.) เปิดเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน(Quiols Thermal Conductivity Meter, NETZSCH รุ่น WJ-EEE-13) แบบวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้านเดียว ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่อเตรียมหัววัดให้พร้อมใช้งาน

2.) เตรียมแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ขึ้นรูปจากหญ้าแฝกและฟางข้าว เรียงเป็นชั้นให้มีความหนารวมกันมากกว่าหรือประมาณ 2 เซนติเมตร เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากเนื้อวัสดุทั้งหมด

3.) วางหัววัดที่พร้อมใช้งานลงบนแผ่นงานที่ต้องการวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน กดปุ่ม “เริ่มการทำงาน”

4.) เปลี่ยนตำแหน่งวางหัววัด โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนทั้ง 2 ด้าน ด้านละ 3 ตำแหน่ง

5.) บันทึกค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้ หาค่าเฉลี่ยรวมของแต่ละแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว

ในเบื้องต้นของการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% โดยน้ำหนักของฟางข้าว และที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ได้ผลการหาสภาวะในการต้มเยื่อ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงสภาวะในการต้มเยื่อของหญ้าแฝกและฟางข้าว

| ฟางข้าว | | | หญ้าแฝก | | |
|---|---|---|---|---|---|
| KOH (%) | ร้อยละของผลผลิต (%) | ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ | KOH (%) | ร้อยละของผลผลิต (%) | ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ |
| 10 | 62.47±0.46 | 35.30±0.82 | 12 | 61.72±0.69 | 32.20±0.79 |
| 12 | 51.96±1.50 | 32.40±1.60 | 14 | 58.09±0.52 | 31.20±0.79 |
| 14 | 53.76±3.53 | 25.70±0.95 | 16 | 56.61±0.55 | 25.30±0.48 |
| 16 | 48.38±0.92 | 21.30±0.48 | 18 | 48.40±0.96 | 21.50±0.53 |

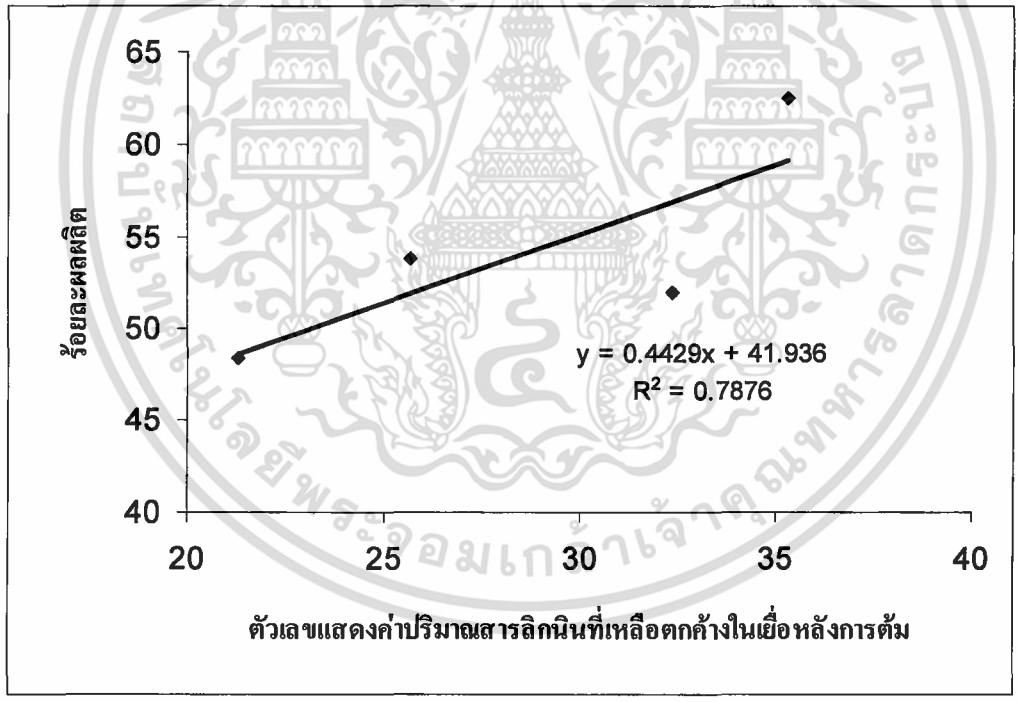
หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้มาจากการทำซ้ำทั้งหมด 10 ครั้ง

จากตารางที่ 4.1 แสดงสภาวะในการต้มเยื่อของหญ้าแฝกและฟางข้าว ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% โดยน้ำหนักของฟางข้าว ได้ค่าร้อยละของผลผลิตจากฟางข้าวเท่ากับ 62.47, 51.96, 53.76 และ 48.38 ตามลำดับ และมีปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อ 35.3, 32.4, 25.7 และ 21.3 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อนี้ เป็นค่าที่กำหนดสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตเยื่อให้ได้เยื่อที่มีคุณภาพของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาะเกี่ยวกันได้ดี ค่าอยู่ในช่วง 25 – 30 ดังตารางที่ 3.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเยื่อ คือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14% โดยน้ำหนักของฟางข้าว ได้ค่าร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 53.76 และมีปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อเท่ากับ 26 แสดงดังรูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.3

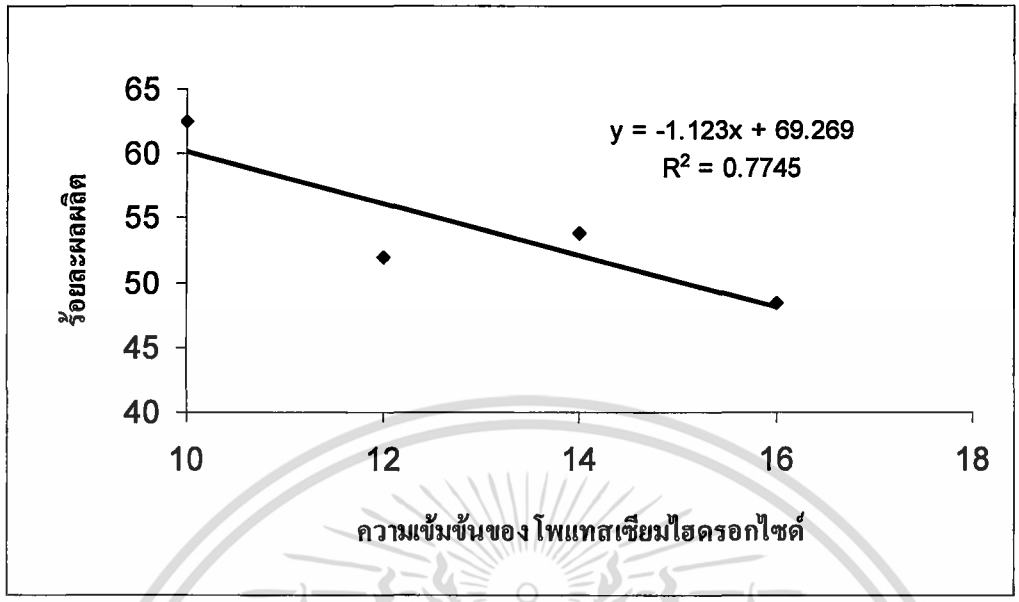
และที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ได้ค่าร้อยละของผลผลิตจากหญ้าแฝกเท่ากับ 61.72 58.09 56.61 48.40 ตามลำดับ และมีปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ 32.2, 31.2, 25.3 และ 21.5 ตามลำดับ ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเยื่อ ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ได้ค่าร้อยละของผลผลิตเท่ากับ 56.61 และมีปริมาณสารลิกนินตกค้างในเยื่อเท่ากับ 25 ดังแสดงจากกราฟรูปที่ 4.4 – รูปที่ 4.6




รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มฟางข้าวกับร้อยละของผลผลิต

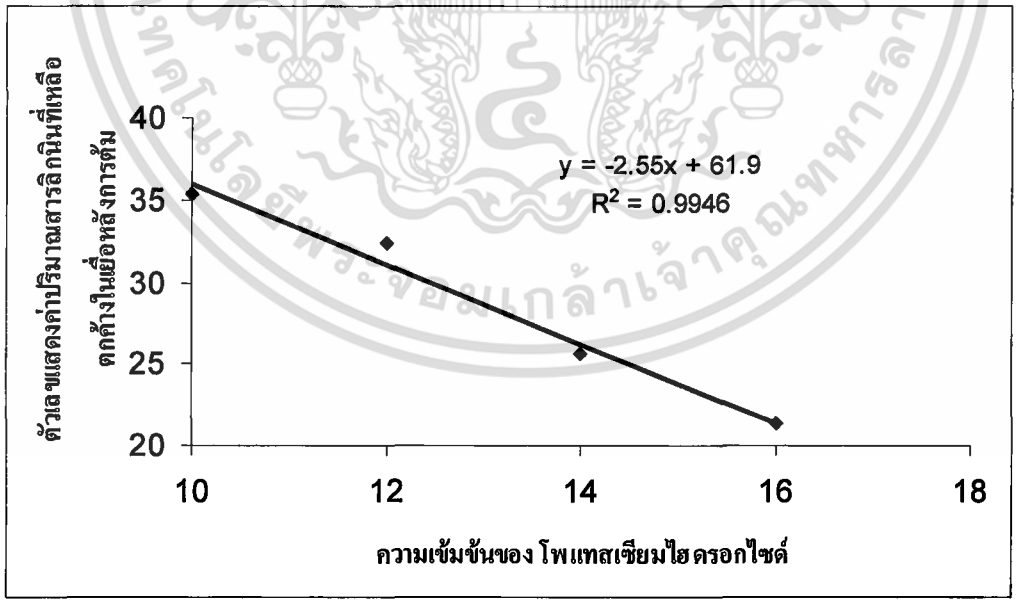
จากกราฟแสดงว่า ถ้ามีปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มมากหรือค่าแคปปานัมเบอร์มาก ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้จะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของฟางข้าว

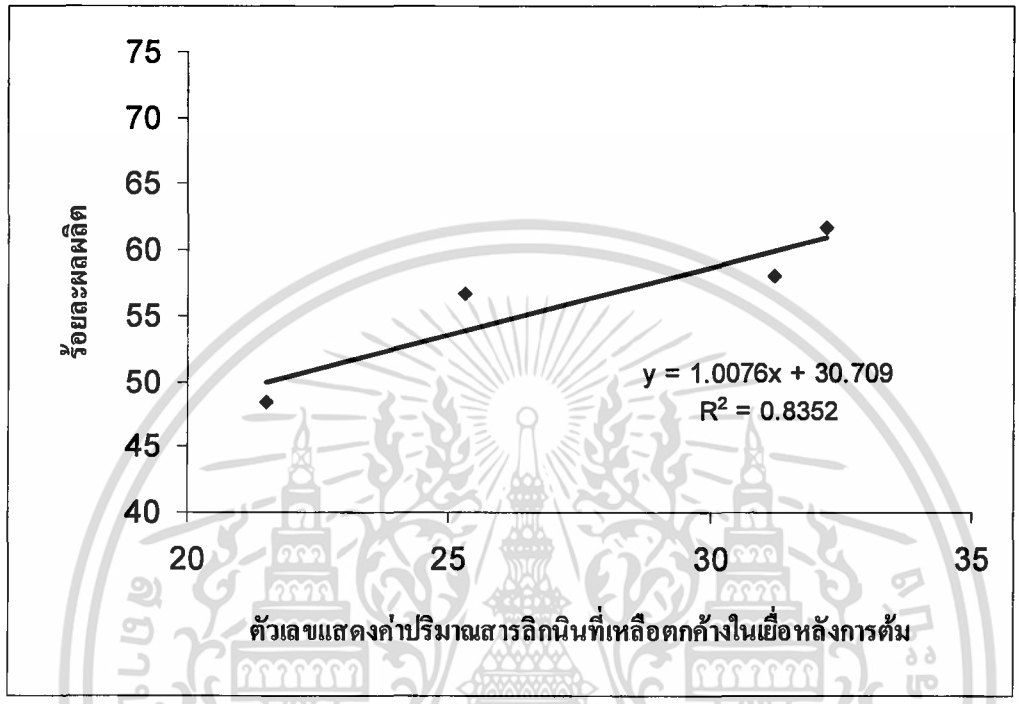
จากกราฟแสดงว่า เมื่อมีการใช้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้จะลดลง




รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

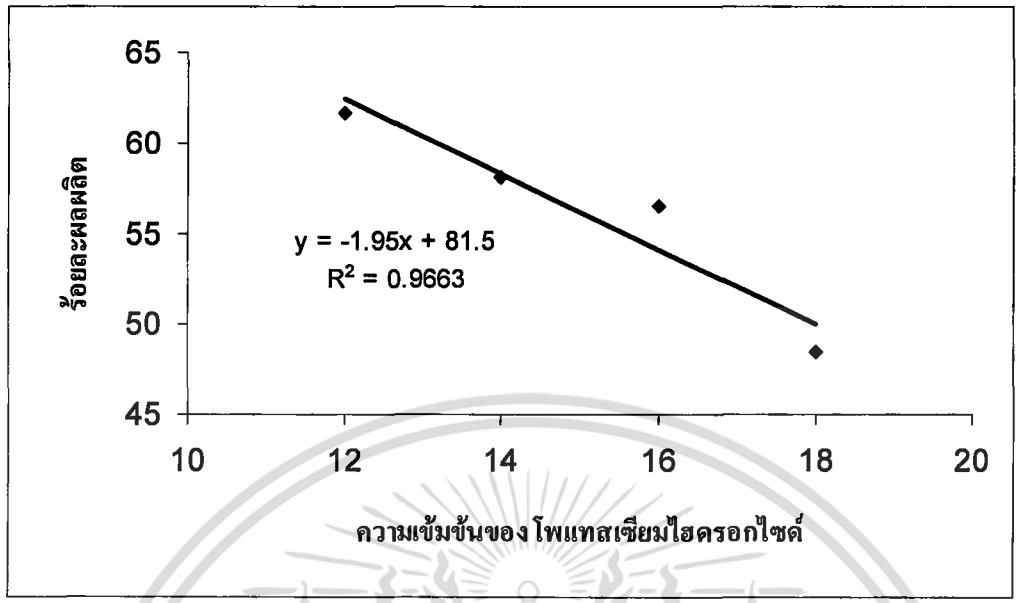
จากรูปที่ 4.3 แสดงว่าเมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น จะพบว่า ค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อลดลง




รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มหญ้าแฝกกับร้อยละของผลผลิต

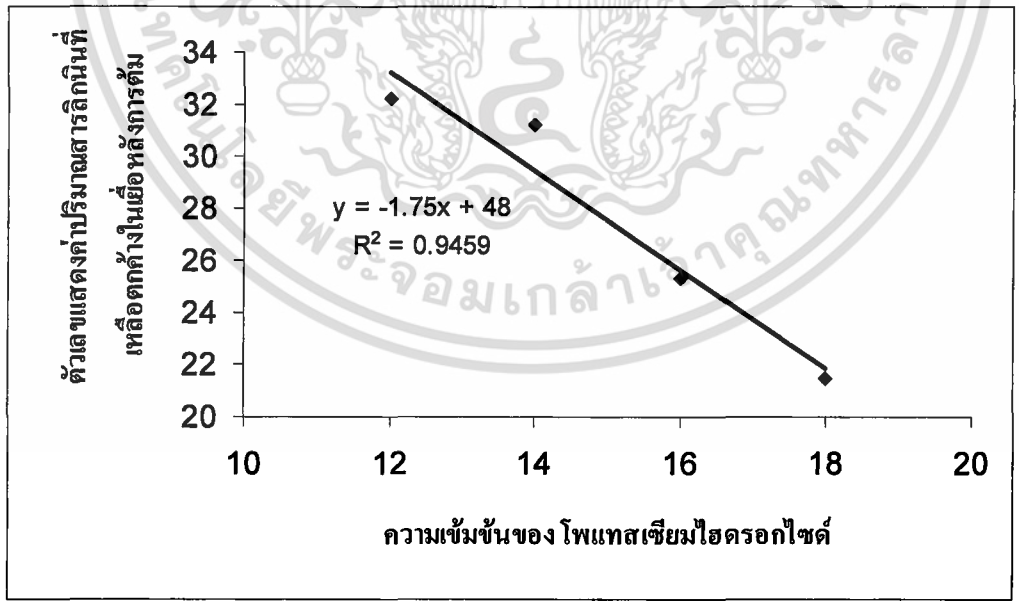
จากกราฟแสดงว่า ถ้าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มมากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้จะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10%, 12%, 14% และ 16% กับร้อยละผลผลิตของหญ้าแฝก

จากกราฟจะเห็นว่า ถ้าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ร้อยละผลผลิตที่ได้ลดลง



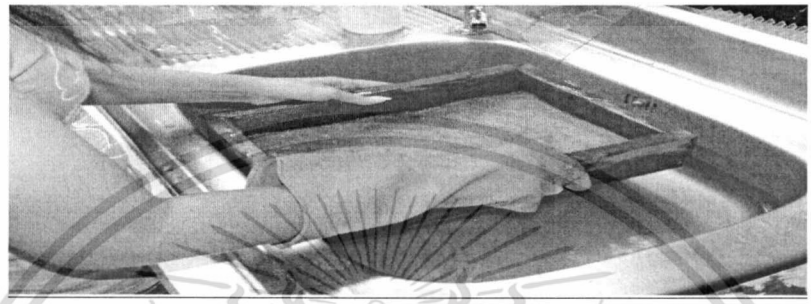

รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12%, 14%, 16% และ 18% กับตัวเลขแสดงค่าปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อหลังการต้มหญ้าแฝก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 แสดงว่า เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น ทำให้ปริมาณสารลิกนินที่เหลือตกค้างในเยื่อลดลง

4.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน

4.2.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติด



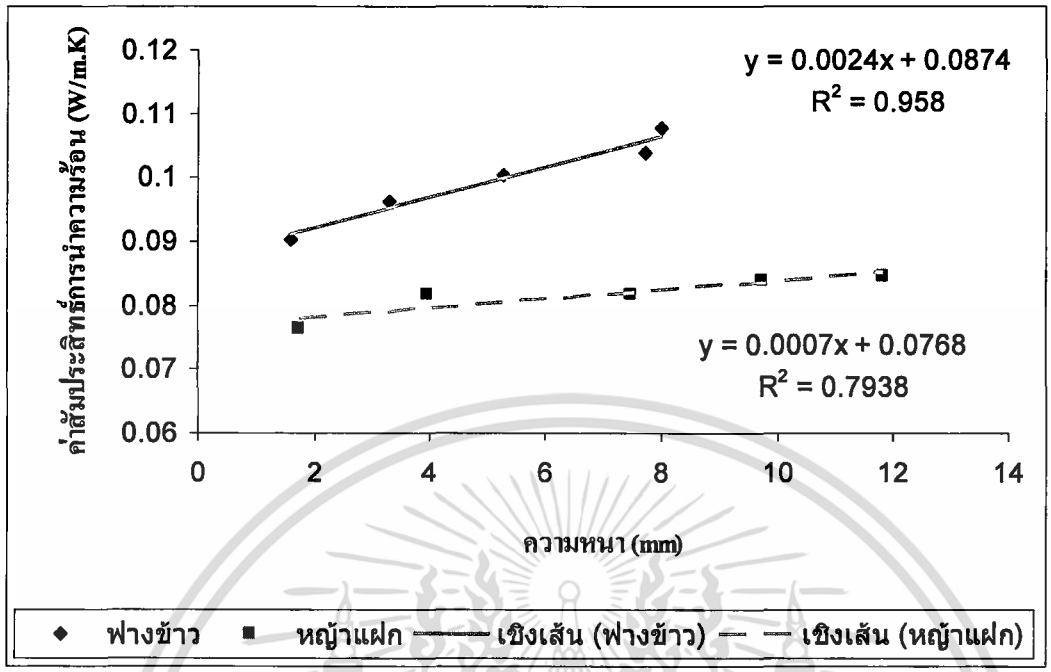
รูปที่ 4.7 แสดงการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากตะแกรงขึ้นรูป

ในการศึกษาสมบัติการนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าว ผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปตัวอย่างแผ่นวัสดุความร้อนตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยใช้ความหนาที่กำหนดเป็น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน แสดงตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆของหญ้าแฝกและฟางข้าวที่ไม่ผสมสารยึดติด

| ฟางข้าว (R) | | หญ้าแฝก (G) | |
|---|---|---|---|
| ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) |
| 1.60 | 0.0903±0.0028 | 1.73 | 0.0763±0.0023 |
| 3.30 | 0.0964±0.0028 | 3.94 | 0.0819±0.0045 |
| 5.26 | 0.1004±0.0069 | 7.47 | 0.0818±0.0001 |
| 7.73 | 0.1039±0.0020 | 9.75 | 0.0839±0.0032 |
| 7.99 | 0.1077±0.0031 | 11.82 | 0.0846±0.0003 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ

จากการกำหนดค่าความหนา 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิเมตร ของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าว เมื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนผลที่ได้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้จากแผ่นวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยเยื่อจากฟางข้าวมีค่ามากกว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่วัดได้จากแผ่นวัสดุที่ขึ้นรูปด้วยเยื่อจากหญ้าแฝก แต่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแต่ละความหนาแตกต่างกันไม่มาก จึงแสดงให้เห็นว่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และแสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นฉนวนลดลงเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น

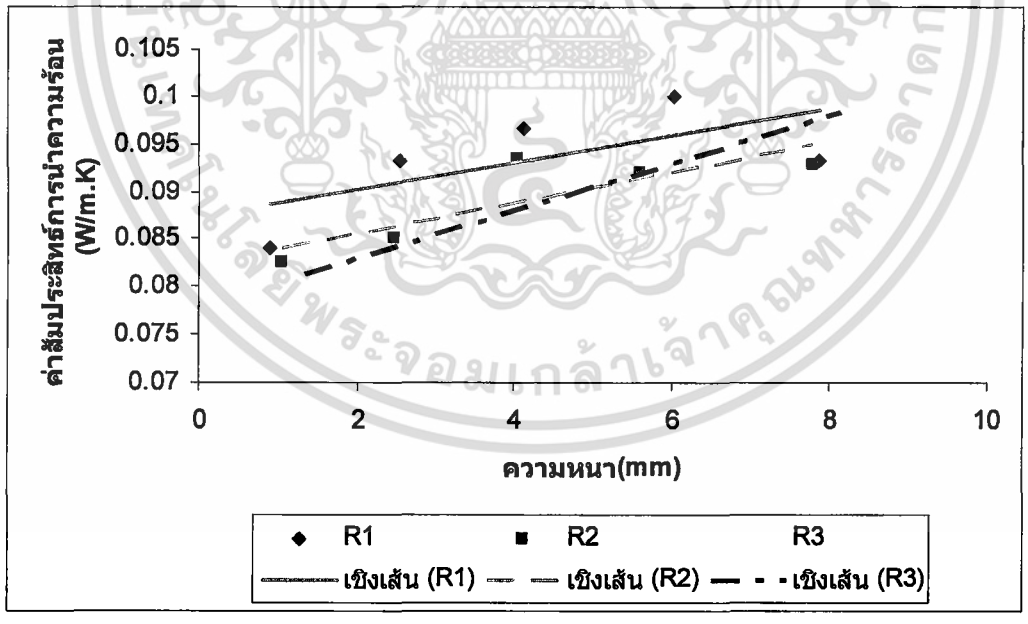
และสามารถบ่งชี้ได้ว่า เยื่อของหญ้าแฝกมีความเป็นฉนวนมากกว่าเยื่อของฟางข้าว เพราะหญ้าแฝกมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าฟางข้าว ในขณะที่ความหนาของ เยื่อทั้งสองชนิดหนาใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 <u>ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวผสมสารยึดติด</u>

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยึดติด1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว

| ฟางข้าวผสมสารยึดติดในสัดส่วน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1:1 | | 1.5:1 | | 2:1 | |
| ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) |
| 0.88 | 0.0841±0.0010 | 1.04 | 0.0825±0.0017 | 1.34 | 0.0789±0.0033 |
| 2.55 | 0.0932±0.0004 | 2.46 | 0.0850±0.0010 | 2.41 | 0.0836±0.0003 |
| 4.13 | 0.0967±0.0001 | 4.05 | 0.0935±0.0021 | 4.3 | 0.0935±0.0006 |
| 6.03 | 0.0999±0.0010 | 5.61 | 0.0920±0.0053 | 6.24 | 0.0931±0.0007 |
| 7.86 | 0.0933±0.0003 | 7.78 | 0.0929±0.0010 | 8.14 | 0.0967±0.0005 |




รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าว ซึ่งแทนเป็น R1, R2 และ R3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณสารยึดติด R1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยความหนาที่ขึ้นรูปได้เป็น 0.88, 2.55, 4.13, 6.03 และ 7.86 มิลลิเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเป็น 0.0841, 0.0932, 0.0967, 0.0999 และ 0.0933 W/m.K ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ R2 และ R3 ที่ความหนาใกล้เคียงกันค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ไม่แตกต่างกันและมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกิน 0.1000 W/m.K

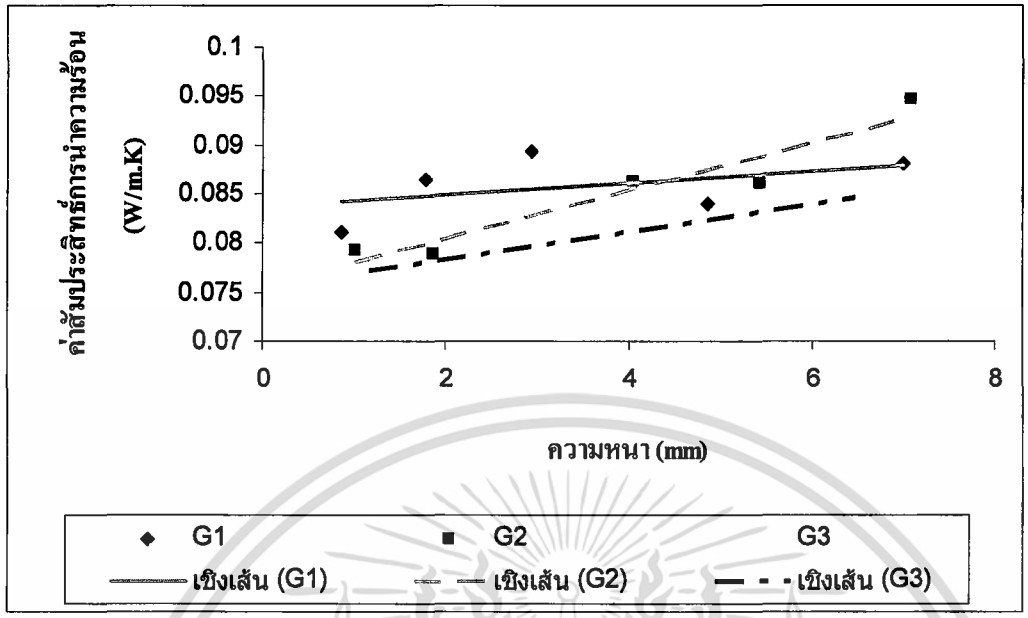
4.2.3 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกผสมสารยึดติด

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาต่างๆที่ปริมาณสารยึดติด1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก

| หญ้าแฝกผสมสารยึดติดในสัดส่วน | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1:1 | | 1.5:1 | | 2:1 | |
| ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) |
| 0.85 | 0.0811±0.0006 | 1.01 | 0.0793±0.0003 | 1.17 | 0.0783±0.0009 |
| 1.78 | 0.0865±0.0006 | 1.86 | 0.0789±0.0001 | 2.65 | 0.0770±0.0027 |
| 2.93 | 0.0894±0.0006 | 4.06 | 0.0862±0.0023 | 3.94 | 0.0796±0.0001 |
| 4.87 | 0.0840±0.0003 | 5.44 | 0.0860±0.0007 | 4.05 | 0.0835±0.0001 |
| 6.99 | 0.0880±0.0037 | 7.07 | 0.0947±0.0001 | 6.47 | 0.0847±0.0021 |

หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้มาจากการทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1 1.5:1 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก

จากรูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับปริมาตรของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ซึ่งแทนเป็น G1, G2 และ G3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณสารยึดติด G1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนค่อนข้างคงที่ อยู่ในช่วง 0.0811 – 0.0898 W/m.K ที่ความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อน 0.85, 1.78, 2.93, 4.87 และ 6.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นจึงถือได้ว่าความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่มีปริมาณสารยึดติดผสมอยู่ ในสัดส่วน 1:1 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ G2 และ G3 มีการเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มความหนา มีค่าใกล้เคียงกัน สาเหตุเนื่องมาจากปริมาณเยื่อเพิ่มขึ้น และปริมาณสารยึดติดลดลง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ

## 4.3 ผลการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน

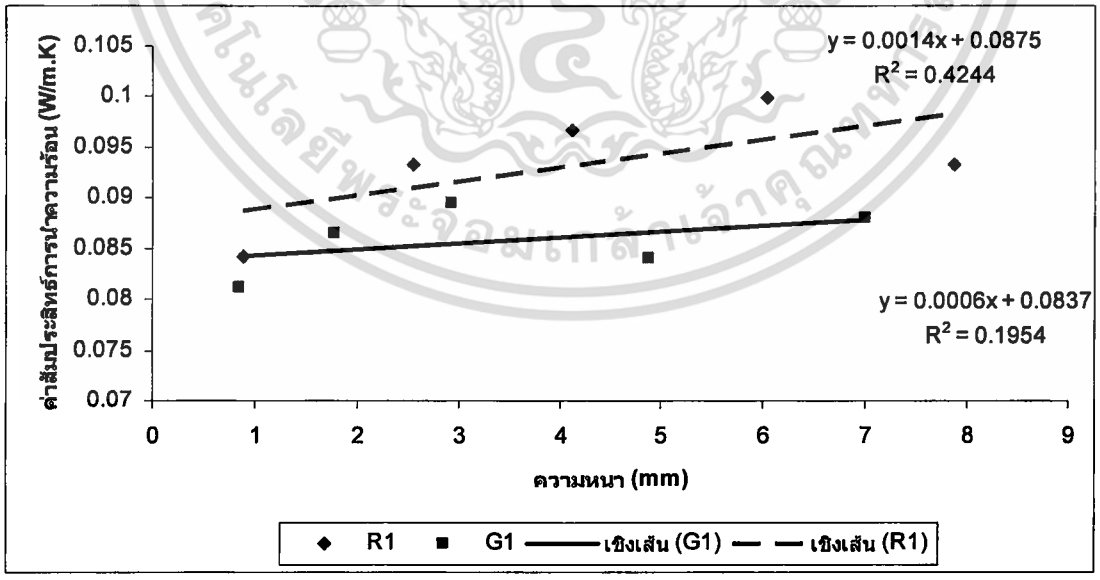
เพื่อแสดงให้เห็นว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากหญ้าแฝกและฟางข้าวมีความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้จากหญ้าแฝกกับฟางข้าว ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ผลการเปรียบเทียบมีค่าดังตารางที่ 4.5 และแสดงดังรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1

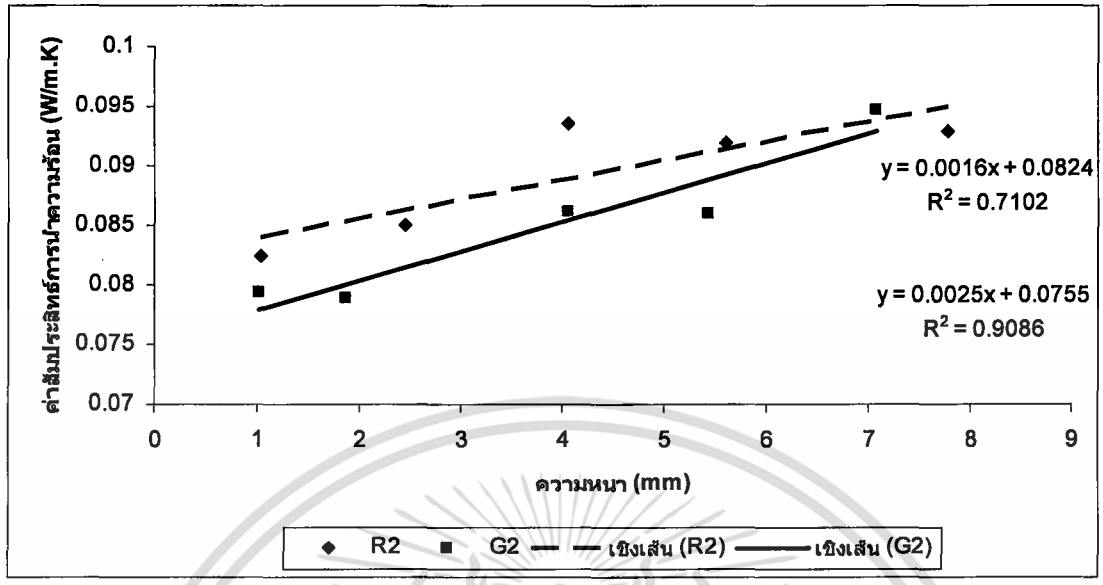
| ปริมาณสารยึดติด | ความหนา(mm) | | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(W/m.K) | |
|---|---|---|---|---|
| | ฟางข้าว(R) | หญ้าแฝก (G) | ฟางข้าว(R) | หญ้าแฝก (G) |
| 1:1 | 0.88 | 0.85 | 0.0841±0.0010 | 0.0811±0.0006 |
| | 2.55 | 1.78 | 0.0932±0.0004 | 0.0865±0.0006 |
| | 4.13 | 2.93 | 0.0967±0.0001 | 0.0894±0.0006 |
| | 6.03 | 4.87 | 0.0999±0.0010 | 0.0840±0.0003 |
| | 7.86 | 6.99 | 0.0933±0.0003 | 0.0880±0.0037 |
| 1.5:1 | 1.04 | 1.01 | 0.0825±0.0017 | 0.0793±0.0003 |
| | 2.46 | 1.86 | 0.0850±0.0010 | 0.0789±0.0001 |
| | 4.05 | 4.06 | 0.0935±0.0021 | 0.0862±0.0023 |
| | 5.61 | 5.44 | 0.0920±0.0053 | 0.0860±0.0007 |
| | 7.78 | 7.07 | 0.0929±0.0010 | 0.0947±0.0001 |
| 2:1 | 1.34 | 1.17 | 0.0789±0.0033 | 0.0789±0.0033 |
| | 2.41 | 2.65 | 0.0836±0.0003 | 0.0836±0.0003 |
| | 4.30 | 3.94 | 0.0935±0.0006 | 0.0935±0.0006 |
| | 6.24 | 4.05 | 0.0931±0.0007 | 0.0931±0.0007 |
| | 8.14 | 6.47 | 0.0967±0.0005 | 0.0967±0.0005 |

หมายเหตุ : ข้อมูลที่ได้มาจากตารางที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งนำเสนอในรูปแบบการเปรียบเทียบผลระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 3 อัตราส่วน โดยเปรียบเทียบระหว่างหญ้าแฝกกับฟางข้าว

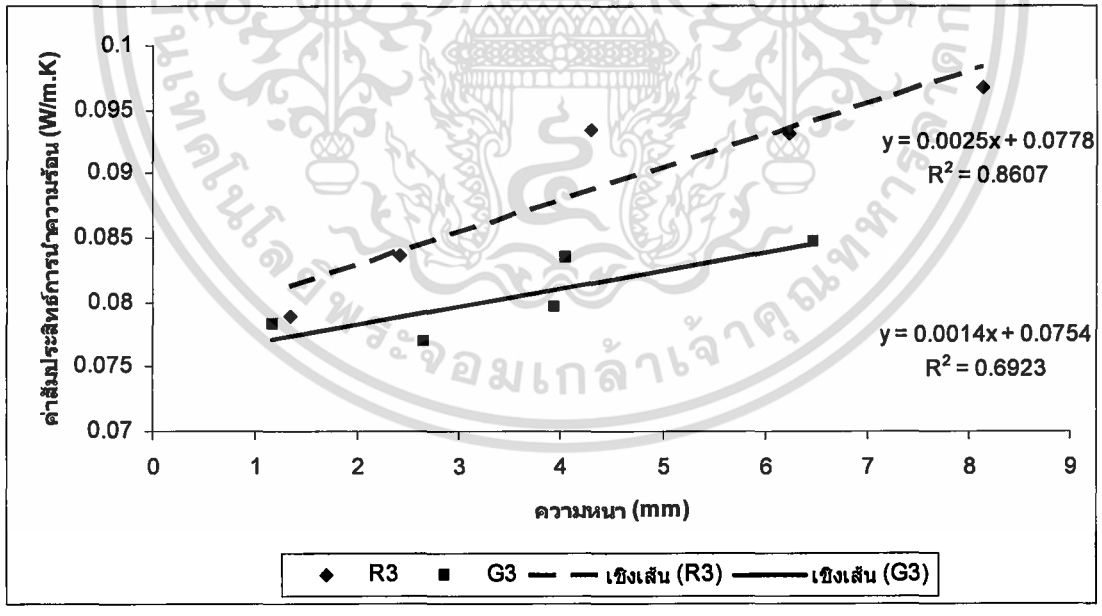



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G1) และฟางข้าว (R1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 1.5:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G2) และฟางข้าว (R2)




รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนความหนาต่างๆ ที่ปริมาณสารยึดติด 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก (G3) และฟางข้าว (R3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 – 4.12 เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจากแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ความหนาใกล้เคียงกัน ที่ปริมาณสารยึดติด 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ทำให้ทราบได้ว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากฟางข้าวมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากหญ้าแฝกในทุกสัดส่วน แสดงว่าหญ้าแฝกมีค่าความเป็นฉนวนที่ดีกว่าฟางข้าว และเมื่อเพิ่มสัดส่วนเยื่อกับปริมาณสารยึดติดเป็น 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลงตามการเพิ่มปริมาณเยื่อ ชี้ให้เห็นว่าที่สัดส่วนปริมาณสารยึดติด 2:1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยกว่าสัดส่วนปริมาณสารยึดติด1.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ ดังนั้นที่สัดส่วนปริมาณสารยึดติด 2:1 มีสมบัติความเป็นฉนวนได้ดีที่สุด

จะเห็นได้ว่า จากรูปที่ 4.10, 4.11 และ 4.12 นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกและฟางข้าวใกล้เคียง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขั้นการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผู้ทำการวิจัยทดลองมีการสูญเสียปริมาณสารยึดติด และเยื่อไปทำให้ได้ผลการทดสอบออกมาไม่แต่ต่างกันเท่าที่ควร

4.4 <u>ผลการเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติดกับไม่ผสมสารยึดติด คือแคลเซียมซัลเฟต</u>

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกและฟางข้าวที่ผสมปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 และที่ไม่ผสมสารยึดติด

| ชนิด | ไม่ผสมสารยึดติด | | ผสมสารยึดติด | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1:1 | | 1.5:1 | | 2:1 | |
| | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/m.K) |
| ฟางข้าว | 1.60 | 0.0903±0.0028 | 0.88 | 0.0841±0.0010 | 1.04 | 0.0825±0.0017 | 1.34 | 0.0789±0.0033 |
| | 3.30 | 0.0964±0.0028 | 2.55 | 0.0932±0.0004 | 2.46 | 0.0850±0.0010 | 2.41 | 0.0836±0.0003 |
| | 5.26 | 0.1004±0.0069 | 4.13 | 0.0967±0.0001 | 4.05 | 0.0935±0.0021 | 4.30 | 0.0935±0.0006 |
| | 7.73 | 0.1039±0.0020 | 6.03 | 0.0999±0.0010 | 5.61 | 0.0920±0.0053 | 6.24 | 0.0931±0.0007 |
| | 7.99 | 0.1077±0.0031 | 7.86 | 0.0933±0.0003 | 7.78 | 0.0929±0.0010 | 8.14 | 0.0967±0.0005 |
| หญ้าแฝก | 1.73 | 0.0763±0.0023 | 0.85 | 0.0811±0.0006 | 1.01 | 0.0793±0.0003 | 1.17 | 0.0789±0.0033 |
| | 3.94 | 0.0819±0.0045 | 1.78 | 0.0865±0.0006 | 1.86 | 0.0789±0.0001 | 2.65 | 0.0836±0.0003 |
| | 7.47 | 0.0818±0.0001 | 2.93 | 0.0894±0.0006 | 4.06 | 0.0862±0.0023 | 3.94 | 0.0935±0.0006 |
| | 9.75 | 0.0839±0.0032 | 4.87 | 0.0840±0.0003 | 5.44 | 0.0860±0.0007 | 4.05 | 0.0931±0.0007 |
| | 11.82 | 0.0846±0.0003 | 6.99 | 0.0880±0.0037 | 7.07 | 0.0947±0.0001 | 6.47 | 0.0967±0.0005 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟางข้าวเมื่อไม่ผสมสารยึดติดและผสมสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความหนาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่มีค่าต่างกันไม่เกิน 0.01 W/m.K ทั้งที่ผสมปริมาณสารยึดติดและไม่ผสมปริมาณสารยึดติด ทำให้ทราบว่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่เมื่อลดสัดส่วนของปริมาณสารยึดติดและเพิ่มปริมาณวัตถุดิบเยื่อ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะลดลง ดังปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด คือ ปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 2:1 โดยน้ำหนักของฟางข้าวเท่ากับ 0.0789 W/m.K และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของหญ้าแฝกเป็นในลักษณะเดียวกันแต่มีค่าน้อยกว่าฟางข้าว และที่ปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝกอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าที่ปริมาณสารยึดติดในสัดส่วน 1.5:1 และ 1:1 และไม่ผสมสารยึดติด ตามลำดับ จึงมีคุณสมบัติของความเป็นฉนวนที่ดีที่สุด

## 4.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

เพื่อแสดงให้เห็นว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตจากหญ้าแฝกและฟางข้าว มีความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้กับฉนวนความร้อนอื่นๆที่มีการทดลองและสรุปเป็นรายงานไว้แล้ว[21] ผลการเปรียบเทียบแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าว มีค่าต่ำกว่าแผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความชื้น แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา แผ่นไม้อัด ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของแผ่นฉนวนความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าวกับแผ่นวัสดุประเภทอื่นๆ

| วัสดุประเภทต่างๆ | ความหนา (mm) | ความหนาแน่น ($kg/m^3$) | การนำความร้อน (W/m.K) | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|---|
| แผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวที่ | 0.2 | 23.2799 | 0.0903 | จากผลการ |
| ความเข้มข้นของสารละลาย | 0.4 | 22.7801 | 0.0964 | ทดลอง |
| โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14% | 0.6 | 21.1139 | 0.1004 | |
| | 0.8 | 19.7413 | 0.1039 | |
| | 10.0 | 23.9773 | 0.1077 | |
| แผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกที่ | 0.2 | 21.4223 | 0.0763 | จากผลการ |
| ความเข้มข้นของสารละลาย | 0.4 | 19.7792 | 0.0819 | ทดลอง |
| โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16% | 0.6 | 15.6216 | 0.0818 | |
| | 0.8 | 15.8828 | 0.0839 | |
| | 10.0 | 53.8763 | 0.0846 | |
| แผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวที่ | 0.2 | 20.8372 | 0.0789 | จากผลการ |
| ปริมาณสารยึดติด 2:1 โดยน้ำหนักของ | 0.4 | 27.4818 | 0.0836 | ทดลอง |
| ฟางข้าว | 0.6 | 24.7094 | 0.0935 | |
| | 0.8 | 24.4507 | 0.0931 | |
| | 10.0 | 23.5810 | 0.0967 | |
| แผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวที่ | 0.2 | 22.6456 | 0.0783 | จากผลการ |
| ปริมาณสารยึดติด 2:1 โดยน้ำหนักของ | 0.4 | 23.3402 | 0.0770 | ทดลอง |
| หญ้าแฝก | 0.6 | 21.5751 | 0.0796 | |
| | 0.8 | 23.1500 | 0.0835 | |
| | 10.0 | 19.6293 | 0.0847 | |
| แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความชื้น | | 775 | 0.2973 | วัสดุฉนวน |
| แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดอลูมิเนียมฟอยล์ | | 745 | 0.3215 | ประเภทอื่น |
| แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา | | 725 | 0.3058 | [21] |
| แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา | | 608 | 0.1143 | |
| แผ่นไม้อัด | | 907 | 0.2290 | |
| แผ่นพอลิยูรีเทนโฟม | | 55 | 0.0303 | |
| ใยแก้ว | | 69 | 0.0410 | |
| ใยแก้วอลูมิเนียมฟอยล์ 1 ด้าน | | 130 | 0.0460 | |
| แผ่นฉนวนยาง | | 74 | 0.0483 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

| ชนิดชิ้นงาน | ข้อดี | ข้อเสีย |
|---|---|---|
| แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ | • สภาพการนำความร้อนต่ำ<br>• น้ำหนักเบา<br>• ง่ายต่อการคมนาคม และการขนย้าย<br>• ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม<br>• เข้ากระบวนการผลิตใหม่ได้เมื่อเสื่อมสภาพ<br>• นำสิ่งเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์<br>• นำไปประยุกต์ใช้ได้ง่าย | • สภาพการซึมเข้าไปได้ของน้ำสูง<br>• อาจยุบตัวตามอายุ<br>• สามารถขึ้นราได้ง่าย<br>• ติดไฟได้แต่ความสามารถในการสันดาปลดลงเมื่อใช้สารหน่วงไฟไหม้<br>• หักเปราะได้ |
| แผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ (ใยแก้ว) [1] | • สภาพการนำความ ร้อนต่ำ<br>• ราคาต่ำในรูปของเส้นใยอัดแผ่นแบบคลุม แบบลูสฟิลล์ สำหรับฉนวนหุ้มท่อ<br>• ไม่เป็นพิษและการดูดซึมน้ำต่ำมีความเสถียรภาพดี | • วัตถุฉาบใยอัดแผ่นอาจติดไฟและตัวประสานอาจลุกไหม้<br>• สมรรถนะทางความร้อนถ้าไม่ใช้เปลือกหุ้มกั้นแทรกซึมของอากาศ<br>• มีราคาปานกลางถึงสูงในรูปแบบแผ่นแข็ง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการค้นคว้าวิจัยในโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษา การหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ การทดลองขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน และปริมาณสารยึดติด ที่ใช้ในการผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวและหญ้าแฝกที่เหลือทิ้งทางการเกษตร พร้อมกับศึกษา สมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อน สามารถให้ผลสรุปของงานวิจัยดังนี้

## 5.1 สรุปผลการทดลอง

### 5.1.1 การหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว

จากผลการทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเยื่อคือ ที่ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 14% โดยน้ำหนักของฟางข้าว ซึ่งได้ค่าร้อยละของผลผลิตจากฟางข้าวเท่ากับ 53.76 และมีปริมาณลิกนินตกค้างในเยื่ออยู่ในช่วง 25 – 30 คือ 26

ส่วนหญ้าแฝก สภาวะที่เหมาะสมที่ควรเลือกใช้ในการผลิตเยื่อที่ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 16% โดยน้ำหนักของหญ้าแฝก ซึ่งได้ค่าร้อยละของผลผลิตจากหญ้าแฝกเท่ากับ 56.61 และมีปริมาณลิกนินตกค้างในเยื่อเท่ากับ 25

### 5.1.2 การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน

#### 5.1.2.1 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติด

จากผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าวไม่ผสมสารยึดติด จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแต่ละความหนาแตกต่างกันไม่มาก ชี้ให้เห็นว่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แสดงว่าค่าความเป็นฉนวนลดลงเมื่อปริมาณเยื่อเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกมีค่าต่ำกว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าว ในขณะที่ความหนาของทั้งสองชนิดหนาใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า หญ้าแฝกมีความเป็นฉนวนมากกว่าฟางข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าวผสมสารยึดติด

ที่ปริมาณสารยึดติด R1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ R2 และ R3 ที่ความหนาใกล้เคียงกันค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ไม่แตกต่างกันและมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนไม่เกิน 0.1000 W/m.K

5.1.2.3 ผลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกผสมสารยึดติด

ที่ปริมาณสารยึดติด G1 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนค่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 0.0811 – 0.0898 W/m.K ที่ความหนาต่างๆ ดังนั้นจึงถือได้ว่าความหนาของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่มีปริมาณสารยึดติดผสม 1:1 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของ G2 และG3 มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มความหนา ที่ใกล้เคียงกัน

5.1.3 ผลการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน

พบว่า ที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นที่มีปริมาณน้อยจะมีสมบัติในการนำความร้อนที่ต่ำ ที่ปริมาณสารยึดติดของแผ่นที่มีปริมาณมากขึ้นมีแนวโน้มค่าการนำความร้อนสูงตามไปด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แผ่นที่มีปริมาณสารยึดติด 2:1 โดยน้ำหนักของหญ้าแฝกและฟางข้าว จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารยึดติดเพิ่มขึ้นเป็น 1.5:1 และ 1:1 ตามลำดับ และยังสามารถสรุปได้ว่าที่ปริมาณสารยึดติดเดียวกัน แผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นวัสดุกันความร้อนจากฟางข้าว แสดงให้เห็นว่า หญ้าแฝกมีความเป็นฉนวนได้ดีกว่าฟางข้าว

5.1.4 ผลการเปรียบเทียบแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผสมสารยึดติดกับไม่ผสมสารยึดติด

ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฟางข้าวเมื่อไม่ผสมสารยึดติดและผสมสารยึดติดในสัดส่วน 1:1, 1.5:1 และ 2:1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความหนาค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ และมีค่าต่างกันไม่เกิน 0.01 W/m.K ค่าความหนาไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แต่เมื่อลดสัดส่วนของปริมาณสารยึดติดและเพิ่มปริมาณวัตถุดิบเยื่อ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะลดลง ซึ่งสัดส่วนที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุด คือ ปริมาณสารยึดติด 2:1 จึงมีคุณสมบัติของความเป็นฉนวนที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้ กับแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์

จากผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นวัสดุกันความร้อนจากหญ้าแฝกและฟางข้าว มีค่าต่ำกว่าแผ่นยิปซัมตราช้างชนิดทนความชื้น แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดอลูมิเนียมฟอยล์ แผ่นยิปซัมตราช้างชนิดธรรมดา แผ่นเซลโลกรีตชนิดธรรมดา แผ่นไม้อัด และข้อดีที่โดดเด่นของชิ้นงานที่ผลิตได้คือ มีน้ำหนักเบา มากกว่าแผ่นที่ผ่านมาตรฐานเชิงพาณิชย์ ที่เป็นใยแก้วซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกัน ง่ายต่อการขนย้าย แต่มีค่าความชื้นที่สูงกว่าและอาจขึ้นราได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า แผ่นวัสดุกันความร้อนที่ผลิตได้เป็นฉนวนความร้อนที่ดีประเภทหนึ่ง

จากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรทั้ง 2 ชนิด มาผลิตแผ่นวัสดุกันความร้อนความร้อน มีสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีประเภทหนึ่ง

5.2 <u>ปัญหาและข้อเสนอแนะการดำเนินงานวิจัย</u>

สำหรับปัญหาและข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยในครั้งนี้เพื่อที่จะต้องนำไปปรับปรุงในการทำวิจัยและเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ในการทำวิจัยในครั้งต่อไป

5.2.1 ตะแกรงขึ้นรูปที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูป มีเสกลบอกปริมาตรที่ไม่ชัดเจน ทำให้แผ่นที่ขึ้นรูปมีความหนาที่ไม่เท่ากันทั้งแผ่น ส่งผลทำให้บางจุดหนาบางจุดบาง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้อาจไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากผลิตด้วยมือ

5.2.2 ขั้นการขึ้นรูปมีการสูญเสียปริมาณสารยึดติด และปริมาณเยื่อออกไปทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้มีค่าแปรปรวนไปจากความเป็นจริง

5.2.2 ศึกษาชนิดและปริมาณสารยึดติดที่นำมาใช้ ผลิตฉนวนกันความร้อนที่แตกต่างกันออกไปเพื่อศึกษาสมบัติเชิงความร้อน คือ ค่าความต้านทานความร้อน สมบัติเชิงกายภาพ คือ ค่าการดูดซับน้ำ และสมบัติเชิงกล คือ ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความแข็งแรงทนการกระแทก รวมทั้งการติดไฟ และการขึ้นราของแผ่นที่ใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายๆ ชนิด

5.2.3 ควรทำการประเมินศักยภาพทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตด้วย เพื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม

5.2.4 เพื่อลดการใช้สารเคมีในการต้มและวัตถุดิบ การนำเยื่อที่ไม่ได้คุณภาพหรือของเสียกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาผสมกับวัตถุดิบใหม่ เพื่อทำการผลิตเยื่อในครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


1. ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537, " คู่มือฉนวนความร้อน ," พิมพ์ครั้งที่ 1, เอ็มแอนด์อี, 312 หน้า.
2. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2543, " การใช้ฉนวน ," เอกสารเผยแพร่การออกแบบอาคารอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 58 หน้า.
3. American Society for Testing and Materials, 1985, " ASTM C 177 Standard Test Methods for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus ," In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.06, Phiadephia, ASTM. pp. 20-31.
4. สุชาติ ไทยเพ็ชร, 2541. ไม้ : วัสดุจากธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 2. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้.
5. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. 2546. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระดาษ. ใน"เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชากระบวนการเคมีอุตสาหกรรม". กรุงเทพฯ : กองการวิจัยกรมวิทยาศาสตร์บริการ.
6. นวภรณ์ อนันตธนวนิชย์, นุชรี ปัญจะผลินกุล และพัชรี มณฑาทิพย์ 2544. " การศึกษาไม้เทียมคอมโพสิตจากผงหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีน (พีพี) และเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) " โครงงานพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
7. Kuhad, R.C., 1993, " Lignocellulose Biotechnology : Currentand future proaspects ," Critical Reviers in Biotechnology, Vol. 13 , No. 2 , pp. 151-172.
8. Menachem, L. And Irving, S.G. 1991. Wood Structure and Composition. New York : Marcel Dekker.
9. Banks, W.B.; Lawther, J.M., 1994, " Derivatization of Wood in Composition " in Cellulose Polymers, Blends and Composites. (Gillbert, R.D.ed.), Hanser Publishers, New York , 131-153.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง(ต่อ)


10. วรธรรม อุ่นจิตติชัย 2545 รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยเรื่อง "วัสดุประกอบพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นใยหญ้าแฝกและเทอร์โมพลาสติก" ชุดโครงการวิจัย เรื่อง การวิจัยและพัฒนาปฏิสัมพันธ์ของหญ้าแฝกกับปลวก เพื่อสนองพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ เพื่อเสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมโครงการที่ 1.
11. Woratham Oonjittichai, Songklod Jarusombuti, Ittipol Jangchud, Charat Chuayna, and Phornphimol Amornchot, "Biological Composites from Vetiver Grass as Wood Material Subbtitute," 2002 , การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 ด้านวัสดุทดแทนไม้, วันที่ 18-20 กันยายน 2545, หน้า 1-16.
12. เส้นทางของเศษฟางข้าว...วัสดุทดแทนไม้ที่มีอนาคต, วันที่ 20 ตุลาคม 2548, สาขาพืชผัก, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
13. งานวิเคราะห์อาหารสัตว์. 2524. ผลวิเคราะห์อาหารสัตว์ กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์.
14. TAPPI PRESS., 1992, Techonology Park/Atlanta, P.O. Box Atlanta, GA 30348- 5113, U.S.A.
15. Pathak, B.S., Jain, A.K. and Singh, A., 1986, " Characteristics of Crop Residues ," Agricultural Wastes, Vol. 16, No. 1, pp. 27-35.
16. Sampathrajan, A., Vijayaraghavan, N.C. and Swaminathan, K.R., 1992, " Mechanical and Thermal Properties of Particle boards made from farm residues ," Bioresource Technology, Vol. 40, No. 3, pp. 249-251.
17. Paturau, J.M., 1982, " By- products of the Cane Sugar Industry ," Sugar series 3. 2 nd ed. Elsevier, Amsterdam. Pp. 76-119.
18. Suttisonk, B., 1999, " Investigation of Feasibility of Utilizing Agriculture Waste (fruit) as a Component of Building Materials with Low Thermal Conductivity ," Master of Science Thesis, Energy Management Technology Program, King Mongkut' s University of Technology Thonburi, 67 p.
19. รัตติยา มณีศรี, ปิยะวัฒน์ ช่างเพ็ชร และ ปิติ อมรศิลป์, 2539, " การพัฒนาการใช้วัชพืชเพื่อทดแทนไฟเบอร์บอร์ด ," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 95 หน้า .


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. ประยูร สุรินทร์, 2544, “ การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี, 99 หน้า.
21. คณะพลังงานและวัสดุ, 2541, “ คู่มือวัสดุก่อสร้าง ” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 92 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# คำที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเยื่อ

R - 0.2 /1 คือ ฟางข้าวขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1

R1 - 0.2 /1 คือ ฟางข้าว + binder ขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1

G - 0.2 /1 คือ หญ้าแฝกขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1

G1 - 0.2 /1 คือ หญ้าแฝก + binder ขนาดความหนา 0.2 มิลลิเมตร แผ่นทดสอบที่ 1

Time to temp คือ อุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิเดือด

Time at temp คือ อุณหภูมิที่คงที่เมื่อเริ่มจับเวลา

Maximum temperature คือ อุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการ

Water added คือ น้ำหนักน้ำที่ใช้ – น้ำหนักความชื้นในวัตถุดิบ – น้ำหนักสารเคมีที่ใช้

Gram oven dry, (g.o.d) คือ น้ำหนักวัตถุดิบแห้งลบความชื้นออก

Gram air dry, (g.a.d) คือ น้ำหนักวัตถุดิบที่ยังไม่ได้ลบความชื้นออก

Kappa number คือ เป็นตัวตรวจวัดปริมาณ lignin ในเยื่อหลังจากผ่านกระบวนการผลิตเยื่อ

14%KOH คือ วัตถุดิบ 100 กรัมแห้ง ต้องใช้ KOH 14 กรัมแห้ง

8:1 คือ ปริมาตรของสารละลาย 8 ลิตรต่อวัตถุดิบ 1 กิโลกรัม

การหาสภาวะที่เหมาะสม คือ

1. ปริมาณสารเคมี : จะต้องใช้ปริมาณสารเคมีเท่าไรจึงจะได้สภาวะที่เหมาะสม
2. ปริมาณน้ำ : จะต้องไม่แห้งทำให้สารเคมีลดน้อยลงหรือมากขึ้น
3. จำนวนเวลา : คิดเวลาในการต้มเยื่อว่าใช้เวลากี่ชั่วโมงจึงเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข
# การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น, การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และการหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตของวัตถุดิบ

**วิธีการหาความชื้นของวัตถุดิบ :**

1. ชั่งภาชนะอย่างน้อย 3 ใบ เป็นกรัม
2. เติมวัตถุดิบที่ต้องการลงในภาชนะที่แห้งซึ่งชั่งแล้วจะได้น้ำหนักของวัตถุดิบที่ต้องการหา แล้วทำการอบอย่างน้อย 4 ชั่วโมง หรือทิ้งไว้ค้างคืน
3. นำมาใส่ Desicator เพื่อทำให้เย็นตัวลง แล้วทำการชั่ง (น้ำหนัก+วัตถุดิบ)
4. คำนวณ % ความชื้น

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก} - \text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}} \times 100$$

$$= \frac{1.00 - 0.17}{1.00} \times 100$$

$$= 83 \quad \%$$

**วิธีการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง :**

$$\% \text{ dry weight} = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}} \times 100$$

$$= \frac{0.17 \times 100}{1.00}$$

$$= 17 \quad \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**วิธีการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังผ่านการยีเยื่อ :**

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก} - \text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง}}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}} \times 100$$

$$= \frac{10.00 - 2.20}{10.00} \times 100$$

$$= 78 \ \%$$

**วิธีการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งหลังผ่านการยีเยื่อ :**

$$\% \text{ dry weight} = \frac{\text{น้ำหนักวัตถุดิบแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักวัตถุดิบเปียก}}$$

$$= \frac{2.20 \times 100}{10.00}$$

$$= 22 \ \%$$

**วิธีการหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตหลังผ่านการยีเยื่อ :**

คิดจาก เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

เยื่อเปียก 1,284.29 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง $= \frac{22 \times 1,284.29}{100} = 282.54$ g.

ถ้าวัตถุดิบ 500 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 282.54 g.

ถ้าวัตถุดิบ 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง $= \frac{282.54 \times 100}{500}$

$= 56.51 \ \%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค
# การหาสภาวะเยื่อ

**วัตถุดิบ ;** ฟางข้าวส่วนโคน น้ำหนัก 9.6 kg.

ฟางข้าวส่วนปลาย น้ำหนัก 10.9 kg.

% dry weight (ส่วนโคน) = 91.40 %.

% dry weight (ส่วนปลาย) = 91.40 %.

คิดเป็นอัตราส่วนปลาย : โคน = 1.14 : 1 ถ้า 2 .14 ส่วน คิดเป็น 500 g.

โคน 1.14 ส่วน คิดเป็นน้ำหนัก = $\frac{500 \times 1.14}{2.14}$ = 266.4 g.

ปลาย 1 ส่วน คิดเป็นน้ำหนัก = $\frac{500}{2.14}$ = 233.6 g.

สภาวะการต้มเยื่อ 14% KOH, 8 :1, 3 ชั่วโมง

**- 14%KOH ;** ถ้าต้องการใช้วัตถุดิบ 100 g.o.d ต้องใช้ KOH 14 g.

ถ้าต้องการใช้วัตถุดิบ 500 g.o.d ต้องใช้ KOH = $\frac{14}{100} \times 500 = 70$ g.

ข้างขวดติด KOH 85% ถ้าต้องใช้ KOH 85 g. ต้องชั่งสารมา 100 g.

ถ้าต้องใช้ KOH 70 g. ต้องชั่งสารมา = $\frac{100}{85} \times 70 = 82.4$ g.

**- 8 : 1 ;** ถ้าต้องการใช้วัตถุดิบ 500 g. ฉะนั้นน้ำที่ใช้ คือ 500x8 = 4,000 g.

Water added = ( น้ำหนักน้ำ- ความชื้นในวัตถุดิบส่วนโคน
- ความชื้นในวัตถุดิบส่วนโคน - น้ำหนักสารเคมีที่ใช้ )

= (4,000 - 21.98 - 23.17 – 82.4) = 3872.45 ml .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง
# การหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ (Kappa number)

**การคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องใช้ในการหาค่าปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ**

เยื่อแห้ง 22.00 g.o.d ได้จากเยื่อเปียก 100 g.

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 1.50 g.o.d จะได้จากเยื่อเปียก = $\frac{100 \times 1.5}{22.00}$ = 6.82 g.o.d

Kappa number = $\frac{afd}{m}$ ; เมื่อ a = 2(b-c)

f = 1+0.013 (25-t)

d = เปิดตารางโดยใช้ค่า a เปิด

m = มวลของเยื่อ(g.o.d) ที่ใช้ในการหาแคปปานัมเบอร์

t = อุณหภูมิของ Sample

b = ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต blank (ml)

c = ปริมาตร $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ในการไทเทรต blank (ml)

Kappa Number = $\frac{afd}{m} = \frac{39 \times 0.981 \times 0.977}{1.50} = 25$

a = 2(49.90 - 30.60) = 38.60 (~ 39)

f = 1+0.013 (25-26.5) = 0.981

d = 0.977

m = 1.50

ตารางที่ ง 1.1 Factors a to correct for different percentages of permanganate used [12]

| a + | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 0.958 | 0.960 | 0.962 | 0.964 | 0.966 | 0.968 | 0.970 | 0.973 | 0.975 | 0.977 |
| 40 | 0.979 | 0.981 | 0.983 | 0.985 | 0.987 | 0.989 | 0.991 | 0.994 | 0.996 | 0.998 |
| 50 | 1.000 | 1.002 | 1.004 | 1.006 | 1.009 | 1.011 | 1.013 | 1.015 | 1.017 | 1.019 |
| 60 | 1.022 | 1.024 | 1.026 | 1.028 | 1.030 | 1.033 | 1.035 | 1.037 | 1.039 | 1.042 |
| 70 | 1.044 | | | | | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก จ
# การหาอัตราส่วนเยื่อในการขึ้นรูป

**<u>เยื่อเพรียว</u>**

เยื่อแห้ง 28 g. ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร

เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 28 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง = $\frac{100 \times 28}{22}$ = 127.27 g.

ดังนั้น จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 127.27 g.

**<u>เยื่อผสม binder</u>**

อัตราส่วนเยื่อ : binder = 1:1 ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร ใช้เยื่อแห้ง 28 g.

คิดเป็นอัตราส่วนเยื่อ : binder = 14 :14

ดังนั้น เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 14 g. = $\frac{100 \times 14}{22}$ = 63.64 g.

ดังนั้น ที่อัตราส่วน 1:1 จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 63.64 g. : binder 14 g.

อัตราส่วนเยื่อ : binder = 1.5:1 ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร ใช้เยื่อแห้ง 16.8 g.

คิดเป็นอัตราส่วนเยื่อ : binder = 16.8 :11.20

ดังนั้น เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 16.8 g. = $\frac{100 \times 16.8}{22}$ = 76.36 g.

ดังนั้น ที่อัตราส่วน 1.5:1 จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 76.36 g. : binder 11.20 g.

อัตราส่วนเยื่อ : binder = 2:1 ที่ความหนา 0.2 เซนติเมตร ใช้เยื่อแห้ง 18.67 g.

คิดเป็นอัตราส่วนเยื่อ : binder = 18.67 :9.33

ดังนั้น เยื่อเปียก 100 g. ได้เป็นเยื่อแห้ง 22 g.

ถ้าเยื่อเปียก 18.67 g. = $\frac{100 \times 18.67}{22}$ = 84.86 g.

ดังนั้น ที่อัตราส่วน 2:1 จะต้องใช้เยื่อเปียกในการขึ้นรูป 84.86 g. : binder 9.33 g.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ
# การหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว

**ตารางที่ ฉ 1.1 ข้อมูลการหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว**

| | ผลการทดลองฟางข้าว | | | ผลการทดลองหญ้าแฝก | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ครั้งที่ | KOH (%) | ร้อยละของ ผลผลิต(%) | ปริมาณสาร ลิกนินที่ตกค้าง ในเยื่อ | KOH (%) | ร้อยละของ ผลผลิต(%) | ปริมาณสาร ลิกนินที่ตกค้าง ในเยื่อ |
| 1 | 10 | 56.98 | 36 | 12 | 61.69 | 33 |
| | 12 | 53.88 | 31 | 14 | 57.89 | 31 |
| | 14 | 55.45 | 26 | 16 | 55.55 | 25 |
| | 16 | 49.82 | 21 | 18 | 49.47 | 21 |
| 2 | 10 | 56.45 | 35 | 12 | 61.32 | 33 |
| | 12 | 52.35 | 33 | 14 | 58.24 | 32 |
| | 14 | 56.51 | 24 | 16 | 56.85 | 25 |
| | 16 | 48.89 | 22 | 18 | 48.48 | 22 |
| 3 | 10 | 57.25 | 36 | 12 | 62.75 | 32 |
| | 12 | 55.46 | 31 | 14 | 57.89 | 32 |
| | 14 | 47.99 | 27 | 16 | 56.34 | 25 |
| | 16 | 47.53 | 21 | 18 | 48.69 | 22 |
| 4 | 10 | 5735 | 34 | 12 | 60.59 | 32 |
| | 12 | 52.55 | 30 | 14 | 57.69 | 31 |
| | 14 | 50.51 | 27 | 16 | 56.89 | 26 |
| | 16 | 49.68 | 21 | 18 | 47.3 | 21 |
| 5 | 10 | 56.55 | 34 | 12 | 61.52 | 32 |
| | 12 | 51.98 | 28 | 14 | 58.64 | 31 |
| | 14 | 48.38 | 26 | 16 | 57.25 | 26 |
| | 16 | 48.55 | 22 | 18 | 49.56 | 21 |
| 6 | 10 | 56.68 | 35 | 12 | 61.89 | 33 |
| | 12 | 52.35 | 29 | 14 | 57.36 | 32 |
| | 14 | 54.31 | 25 | 16 | 56.78 | 25 |
| | 16 | 48.63 | 21 | 18 | 47.59 | 21 |
| 7 | 10 | 56.45 | 35 | 12 | 60.85 | 31 |
| | 12 | 55.78 | 31 | 14 | 58.88 | 30 |
| | 14 | 57.84 | 26 | 16 | 56.76 | 25 |
| | 16 | 47.34 | 22 | 18 | 49.66 | 21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ (ต่อ)
# การหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว

ตารางที่ ฉ 1.1 ข้อมูลการหาสภาวะในการต้มเยื่อหญ้าแฝกและฟางข้าว

| ครั้งที่ | ผลการทดลองฟางข้าว | | | ผลการทดลองหญ้าแฝก | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | KOH (%) | ร้อยละของผลผลิต(%) | ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ | KOH (%) | ร้อยละของผลผลิต(%) | ปริมาณสารลิกนินที่ตกค้างในเยื่อ |
| 8 | 10 | 56.93 | 36 | 12 | 62.22 | 33 |
| | 12 | 54.89 | 32 | 14 | 58.39 | 32 |
| | 14 | 56.76 | 26 | 16 | 57.35 | 26 |
| | 16 | 48.5 | 21 | 18 | 47.22 | 22 |
| 9 | 10 | 57.56 | 36 | 12 | 61.85 | 31 |
| | 12 | 51.68 | 33 | 14 | 57.44 | 30 |
| | 14 | 54.4 | 25 | 16 | 56.21 | 25 |
| | 16 | 47.58 | 21 | 18 | 47.48 | 22 |
| 10 | 10 | 57.69 | 36 | 12 | 62.55 | 32 |
| | 12 | 52.35 | 31 | 14 | 58.49 | 31 |
| | 14 | 55.45 | 25 | 16 | 56.14 | 25 |
| | 16 | 47.33 | 21 | 18 | 48.59 | 22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ช
# การขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อน

ตารางที่ ช 1.1 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติดของฟางข้าว(R)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| R - 0.2 / 1 | 26.29 | 1.57 | 0.0883 |
| R - 0.2 / 2 | 27.18 | 1.62 | 0.0923 |
| R - 0.4 / 1 | 54.13 | 3.31 | 0.0984 |
| R - 0.4 / 2 | 54.12 | 3.29 | 0.0944 |
| R - 0.6 / 1 | 79.92 | 5.28 | 0.1053 |
| R - 0.6 / 2 | 79.85 | 5.23 | 0.0955 |
| R - 0.8 / 1 | 109.84 | 7.75 | 0.1053 |
| R - 0.8 / 2 | 109.76 | 7.70 | 0.1024 |
| R - 1.0 / 1 | 137.86 | 8.00 | 0.1055 |
| R - 1.0 / 2 | 137.84 | 7.97 | 0.1099 |

ตารางที่ ช 1.2 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนไม่ผสมสารยึดติดของหญ้าแฝก(G)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| G - 0.2 / 1 | 27.23 | 1.76 | 0.0747 |
| G - 0.2 / 2 | 26.14 | 1.70 | 0.0779 |
| G - 0.4 / 1 | 54.94 | 3.48 | 0.0850 |
| G - 0.4 / 2 | 55.73 | 4.39 | 0.0787 |
| G - 0.6 / 1 | 83.28 | 6.89 | 0.0817 |
| G - 0.6 / 2 | 111.27 | 8.04 | 0.0818 |
| G - 0.8 / 1 | 111.41 | 9.45 | 0.0861 |
| G - 0.8 / 2 | 109.76 | 10.04 | 0.0816 |
| G - 1.0 / 1 | 139.52 | 11.85 | 0.0848 |
| G - 1.0 / 2 | 139.46 | 11.78 | 0.0844 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช 1.3 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของฟางข้าว(R1)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| R1 - 0.2 / 1 | 17.53 | 0.95 | 0.0849 |
| R1 - 0.2 / 2 | 15.87 | 0.81 | 0.0833 |
| R1 - 0.4 / 1 | 46.45 | 2.51 | 0.0929 |
| R1 - 0.4 / 2 | 47.47 | 2.58 | 0.0935 |
| R1 - 0.6 / 1 | 73.13 | 4.03 | 0.0967 |
| R1 - 0.6 / 2 | 76.31 | 4.23 | 0.0967 |
| R1 - 0.8 / 1 | 108.94 | 5.86 | 0.1010 |
| R1 - 0.8 / 2 | 109.76 | 6.20 | 0.0989 |
| R1 - 1.0 / 1 | 135.70 | 7.74 | 0.0935 |
| R1 - 1.0 / 2 | 135.84 | 7.97 | 0.0930 |

ตารางที่ ช 1.4 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของฟางข้าว(R2)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| R2 - 0.2 / 1 | 20.34 | 1.06 | 0.0825 |
| R2 - 0.2 / 2 | 19.95 | 1.02 | 0.0850 |
| R2 - 0.4 / 1 | 47.84 | 2.33 | 0.0920 |
| R2 - 0.4 / 2 | 47.47 | 2.58 | 0.0935 |
| R2 - 0.6 / 1 | 76.23 | 3.86 | 0.0959 |
| R2 - 0.6 / 2 | 76.31 | 4.23 | 0.0929 |
| R2 - 0.8 / 1 | 103.52 | 5.73 | 0.0953 |
| R2 - 0.8 / 2 | 102.16 | 5.49 | 0.1029 |
| R2 - 1.0 / 1 | 136.46 | 7.58 | 0.1029 |
| R2 - 1.0 / 2 | 136.84 | 7.97 | 0.1025 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช 1.5 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 2:1 ของฟางข้าว(R3)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| R3 - 0.2 / 1 | 19.95 | 0.95 | 0.0849 |
| R3 - 0.2 / 2 | 20.23 | 0.81 | 0.0833 |
| R3 - 0.4 / 1 | 47.87 | 2.46 | 0.0931 |
| R3 - 0.4 / 2 | 47.47 | 2.36 | 0.0935 |
| R3 - 0.6 / 1 | 76.48 | 4.36 | 0.0958 |
| R3 - 0.6 / 2 | 76.31 | 4.23 | 0.0967 |
| R3 - 0.8 / 1 | 109.49 | 5.86 | 0.0975 |
| R3 - 0.8 / 2 | 109.76 | 5.96 | 0.0965 |
| R3 - 1.0 / 1 | 138.46 | 8.31 | 0.1003 |
| R3 - 1.0 / 2 | 137.84 | 7.97 | 0.1010 |

ตารางที่ ช 1.6 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของหญ้าแฝก(G1)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| G1 - 0.2 / 1 | 14.29 | 0.89 | 0.0807 |
| G1 - 0.2 / 2 | 13.98 | 0.81 | 0.0815 |
| G1 - 0.4 / 1 | 34.69 | 1.76 | 0.0869 |
| G1 - 0.4 / 2 | 34.89 | 1.80 | 0.0860 |
| G1 - 0.6 / 1 | 57.43 | 2.97 | 0.0890 |
| G1 - 0.6 / 2 | 57.38 | 2.89 | 0.0898 |
| G1 - 0.8 / 1 | 83.35 | 4.84 | 0.0842 |
| G1 - 0.8 / 2 | 83.38 | 4.89 | 0.0838 |
| G1 - 1.0 / 1 | 109.63 | 7.77 | 0.0906 |
| G1 - 1.0 / 2 | 108.73 | 6.21 | 0.0853 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช 1.7 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของหญ้าแฝก(G2)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| G2 - 0.2 / 1 | 18.15 | 0.99 | 0.0793 |
| G2 - 0.2 / 2 | 18.25 | 1.02 | 0.0789 |
| G2 - 0.4 / 1 | 39.88 | 1.81 | 0.0862 |
| G2 - 0.4 / 2 | 40.10 | 1.90 | 0.0860 |
| G2 - 0.6 / 1 | 63.69 | 3.47 | 0.0947 |
| G2 - 0.6 / 2 | 64.07 | 4.64 | 0.0914 |
| G2 - 0.8 / 1 | 87.23 | 5.39 | 0.0897 |
| G2 - 0.8 / 2 | 87.33 | 5.49 | 0.0887 |
| G2 - 1.0 / 1 | 113.49 | 7.05 | 0.0887 |
| G2 - 1.0 / 2 | 113.84 | 7.08 | 0.0885 |

ตารางที่ ช 1.8 ข้อมูลการขึ้นรูปแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 2:1 ของหญ้าแฝก(G3)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ | น้ำหนักเฉลี่ย (g) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
|---|---|---|---|
| G3 - 0.2 / 1 | 18.76 | 1.15 | 0.0783 |
| G3 - 0.2 / 2 | 19.23 | 1.18 | 0.0770 |
| G3 - 0.4 / 1 | 41.42 | 2.63 | 0.0796 |
| G3 - 0.4 / 2 | 41.51 | 2.66 | 0.0853 |
| G3 - 0.6 / 1 | 60.59 | 3.65 | 0.0867 |
| G3 - 0.6 / 2 | 61.20 | 4.23 | 0.0847 |
| G3 - 0.8 / 1 | 67.47 | 4.04 | 0.0854 |
| G3 - 0.8 / 2 | 67.54 | 4.06 | 0.0854 |
| G3 - 1.0 / 1 | 90.79 | 5.96 | 0.0893 |
| G3 - 1.0 / 2 | 90.84 | 6.97 | 0.0863 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ซ
# การทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อน

ตารางที่ ซ 1.1 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของฟางข้าว(R1)และหญ้าแฝก(G1)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ R1 | | ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ G1 | |
|---|---|---|---|
| ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
| 0.95 | 0.0849 | 0.89 | 0.0807 |
| 0.81 | 0.0833 | 0.81 | 0.0815 |
| 2.51 | 0.0929 | 1.76 | 0.0869 |
| 2.58 | 0.0935 | 1.80 | 0.0860 |
| 4.03 | 0.0967 | 2.97 | 0.0890 |
| 4.23 | 0.0967 | 2.89 | 0.0898 |
| 5.86 | 0.0989 | 4.84 | 0.0842 |
| 6.20 | 0.1010 | 4.89 | 0.0838 |
| 7.74 | 0.0930 | 7.77 | 0.0906 |
| 7.97 | 0.0935 | 6.21 | 0.0853 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ซ 1.2 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1.5:1 ของฟางข้าว(R2)และหญ้าแฝก(G2)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ R2 | | ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ G2 | |
|---|---|---|---|
| ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
| 1.06 | 0.0825 | 0.99 | 0.0793 |
| 1.02 | 0.0850 | 1.02 | 0.0789 |
| 2.33 | 0.0935 | 1.81 | 0.0862 |
| 2.58 | 0.0920 | 1.90 | 0.0860 |
| 3.86 | 0.0929 | 3.47 | 0.0947 |
| 4.23 | 0.0959 | 4.64 | 0.0914 |
| 5.73 | 0.0953 | 5.39 | 0.0897 |
| 5.49 | 0.1029 | 5.49 | 0.0887 |
| 7.58 | 0.1025 | 7.05 | 0.0887 |
| 7.97 | 0.1039 | 7.08 | 0.0885 |

ตารางที่ ซ 1.3 ข้อมูลเปรียบเทียบการทดสอบแผ่นวัสดุกันความร้อนผสมสารยึดติด 1:1 ของฟางข้าว(R3)และหญ้าแฝก(G3)

| ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ R3 | | ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ G3 | |
|---|---|---|---|
| ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) | ความหนา (mm) | ค่าการนำความร้อน (W/m.K) |
| 0.95 | 0.0789 | 1.15 | 0.0783 |
| 0.81 | 0.0836 | 1.18 | 0.0770 |
| 2.46 | 0.0935 | 2.63 | 0.0796 |
| 2.36 | 0.0931 | 2.66 | 0.0835 |
| 4.36 | 0.0967 | 3.65 | 0.0847 |
| 4.23 | 0.0958 | 4.23 | 0.0847 |
| 5.86 | 0.0965 | 4.04 | 0.0854 |
| 5.96 | 0.0975 | 4.06 | 0.0854 |
| 8.31 | 0.1010 | 5.96 | 0.0863 |
| 7.97 | 0.1003 | 6.97 | 0.0893 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฌ
# การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$$SD = \sqrt{\left(\frac{Xi - \overline{X}}{n}\right)^2}$$

$SD$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$Xi$ คือ ค่าของข้อมูลในตัวที่ $i$

$\overline{X}$ คือ ค่ากลางของข้อมูล

$n$ คือ จำนวนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้