

การศึกษาสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเปลือกข้าวโพด

Study of Insulation Properties for Corn Husk Fiber

อมรรัตน์ แก้วประดับ^{1*}, สหวรรษ ดังภาธร¹, กรวิวัฒน์ ลาดพรวัว¹ และ สำเริง จักรใจ¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย บางมด กรุงเทพฯ 10140

*amornrat.kae@kmutt.ac.th, โทร.0-2470-9267

บทคัดย่อ

ปัจจุบันฉนวนเป็นอุปกรณ์มีความสำคัญต่อการประหยัดพลังงานทั้งอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากสารสังเคราะห์และมีราคาสูง ดังนั้นสมบัติความเป็นฉนวนของชีวมวลหลายชนิดจึงได้ถูกนำมาศึกษาเพื่อให้เกิดการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาใช้และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ชีวมวลเป็นที่น่าสนใจเนื่องจากมีองค์ประกอบของเซลลูโลส(Cellulose) ซึ่งสามารถนำมาทำฉนวนกันความร้อนได้ จากการศึกษาเปลือกข้าวโพดมีความพรุนของท่อลำเลียงเส้นใยทำให้สามารถกักเก็บอากาศได้ จึงได้นำเส้นใยเปลือกข้าวโพดมาศึกษาสมบัติของฉนวนและเปรียบเทียบกับฉนวนอื่น ๆ รวมถึงฉนวนที่ทำจากชีวมวล การศึกษาครั้งนี้ได้เลือกทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเปลือกข้าวโพด ได้แก่ ทดสอบแรงดัดโค้ง(Bending test) ทดสอบแรงดึง (Tensile test) ทดสอบการนำความร้อน(Thermal conductivity test) จากการศึกษา ได้นำเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่สกัดแล้วมาขึ้นรูปกับตัวประสาน ซึ่งมีความหนาแน่น 200, 300 และ 400 g/m³ ในสัดส่วนเส้นใยเปลือกข้าวโพดต่อตัวประสานคือ 85:15, 80:20 และ 70:30 ผลการทดสอบพบว่า แรงดัดโค้งที่รับได้สูงสุดมีค่า 0.214-1.760 MPa แรงดึงของวัสดุมีค่า 0.1390-1.097 MPa ค่าสภาพนำความร้อน 0.0575-0.0665 W/m·K โดยสูงขึ้นตามความหนาแน่นและสัดส่วนตัวประสาน และพบว่าที่ความหนาแน่น 200 g/m³ ขึ้นรูปพร้อมตัวประสานในสัดส่วน 85:15 มีค่าสภาพนำความร้อนของฉนวนเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.0575 W/m·K ต่ำที่สุดและต่ำกว่าหรือมีค่าความเป็นฉนวนที่ดีกว่าฉนวนโพลีเอทิลีน M-PE AluMax(ไม่มีฟอยล์) ฉนวนที่ทำจากขี้ข้าวโพดและมันสำปะหลัง

คำหลัก: สมบัติความเป็นฉนวน เส้นใยเปลือกข้าวโพด ทดสอบแรงดัดโค้ง ทดสอบแรงดึงของวัสดุ ค่าสภาพนำความร้อน

Abstract

In this present, insulation is important material selected to save energy consumption for both buildings and industries. Unfortunately, most of the insulation materials are made from synthetic materials which are expensive. Thus, properties of biomass insulation are studied to use the huge agricultural waste for the environmentally friendly insulation. Basically biomass consists of cellulose that is suitable for insulation board. As the corn husk has porosity like air gap insulation, it is studied for the insulation properties and compare to other insulation and biomass insulations. In this study, corn husk is subjected to bending test, tensile test and thermal conductivity test to compare the insulation properties. Corn husk fiber is extracted and formed with a density of 200, 300 and 400 g/m³, using corn husk and binder proportion as 85:15, 80:20 and 70:30. The results show that the insulation properties of bending force of about 0.214-1.760 MPa, tensile force of about 0.1390-1.097 MPa and thermal conductivity of about 0.0575-0.0665 W/m·K are understood. As the obtained results, higher density fiber corn husk and binder proportion tended to increase insulation properties. Moreover, a density of 200 g/m³ of corn husk fiber with a binder of 15% by mass has thermal conductivity of 0.0575 W/m·K which is lower and better insulation than that of insulation made from poly ethylene (M-PE AluMax without foil), corn cop and cassava.

Keywords: Properties of insulation, Corn husk, Bending test, Tensile test, Thermal conductivity

ETM-05

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ดังนั้นอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมจึงตระหนักถึงการหาแนวทางประหยัดพลังงานในระบบต่างๆ เช่น ระบบปรับอากาศ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากกว่าระบบอื่นๆ เพื่อลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ ฉนวนเป็นวัสดุหนึ่งซึ่งช่วยทำให้กรอบอาคารได้รับความร้อนและส่งผ่านเข้ามาในอาคารน้อยลง แต่ปัจจุบันฉนวนกันความร้อนผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ซึ่งมีราคาแพง และมีอันตราย เช่น ฉนวนโพลีเอทิลีนและฉนวนใยหิน เป็นต้น สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก พลังงานโดยมีส่วนที่เหลือใช้จากผลผลิตแล้ว เช่น ฟางข้าว แกลบ และเปลือกข้าวโพด [1-3] หากนำชีวมวลที่เหลือใช้จากการเกษตรเหล่านี้มาผลิตฉนวนกันความร้อนได้จะสามารถทดแทนในเชิงอุตสาหกรรมพลังงานและการผลิตฉนวน[4] รวมถึงเพิ่มมูลค่าชีวมวลให้เกิดประโยชน์มากขึ้น Taha Ashour., et al.(2010)[5] ได้ศึกษาการนำฟางเสริมในการฉาบปูนเพื่อให้มีความเป็นฉนวนกันความร้อนมากขึ้น โดยพบว่ามีความสามารถในการนำความร้อนต่ำสุดที่ 0.1856 W/m·K นอกจากนี้ Hanifi Binici., et al.(2014)[6] ได้ศึกษาการสร้างฉนวนจากก้านทานตะวัน ขยะ และฝ้าย และพบว่ามีความสามารถในการนำความร้อนต่ำสุดที่ 0.0728 W/m·K จากงานวิจัย[7] ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนฉนวนจากโบายางพาราซึ่งมีความสามารถในการนำความร้อนใกล้เคียงกับฉนวนใยแก้ว นอกจากนี้ ประยูร สุรินทร์ และคณะ(2554)[8] ได้ศึกษาแผ่นวัสดุก่อสร้างอาคารที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าวผสมผงคอนกรีตกับซีเมนต์เพื่อลดค่าสภาพนำความร้อนแต่ทำให้ความแข็งแรงลดลงเนื่องจากมีส่วนผสมของเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น จากการศึกษาของN.Jaya Chitra [9] พบว่าองค์ประกอบของเปลือกข้าวโพด(Corn Husk) ดังรูปที่ 1 มีสัดส่วนโดยน้ำหนักดังนี้คือ เซลลูโลส 40 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส 45 เปอร์เซ็นต์ รวมถึง ลิกนิน โปรตีน และ เถ้า รวม15 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าเปลือกข้าวโพดมีเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสปริมาณสูง ซึ่งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเป็นโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตฉนวน ในงานวิจัยนี้จึงเห็นความสำคัญของการใช้วัสดุจากชีวมวลในการผลิตฉนวนเพื่อทดแทนวัสดุสังเคราะห์ที่มี

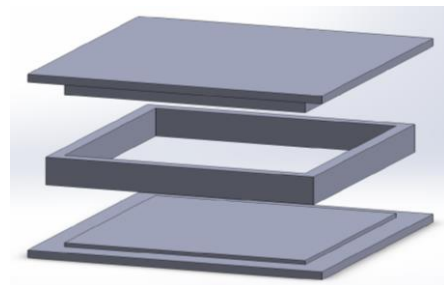
ราคาแพงและไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการศึกษาเส้นใยจากเปลือกข้าวโพดซึ่งอัดขึ้นรูปกับตัวประสานเพื่อทดสอบสมบัติความเป็นฉนวน ได้แก่ การนำความร้อน (Thermal Conductivity) การทดสอบแรงดัดโค้ง(Bending Test) และการทดสอบแรงดึง(Tensile Test)



รูปที่ 1 เปลือกข้าวโพด รูปที่ 2 เส้นใยเปลือกข้าวโพด

2. อุปกรณ์การทดลอง

การทดสอบสมบัติของฉนวนที่ขึ้นรูปจากใยเปลือกข้าวโพด (Corn Husk Fiber) ด้วยแม่พิมพ์ขนาดกว้าง 6 นิ้ว ยาว 6 นิ้วหนา 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีอุปกรณ์การทดลองได้แก่ เตาอบขึ้นงานเพื่อลดความชื้นของชิ้นงานฉนวน ดังรูปที่ 4 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานฉนวนด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก Digital ดังรูปที่ 5 ทดสอบค่า Tensile ด้วยเครื่อง Tinlus Olsen H50KS ดังรูปที่ 6 และทดสอบการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ด้วยเครื่อง Thermal Conductivity Analyzer Model 88 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 3 แม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานฉนวน



รูปที่ 4 เตาอบขึ้นงาน

ETM-05



รูปที่ 5 (ซ้าย) เครื่องชั่งน้ำหนัก Digital



รูปที่ 6 (ขวา) เครื่องวัดค่า Tensile Tinius Olsen H50KS



รูปที่ 7 Thermal Conductivity Analyzer



รูปที่ 8 ตัวอย่างชิ้นงานทำจากเส้นใยเปลือกข้าวโพด

3. วิธีการทดลอง

การศึกษาสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเปลือกข้าวโพด ได้ศึกษาโดยนำเปลือกข้าวโพดมาฉีกเป็นเส้นใย แล้วขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ดังรูปที่ 3 ซึ่งส่วนประกอบแม่พิมพ์ชั้นล่างเป็นฐานรองรับชิ้นงาน ชั้นกลางเป็นตัวกำหนดรูปทรงชิ้นงานและชั้นบนเป็นส่วนที่ใช้กดวัสดุเพื่อขึ้นรูปให้มีความหนาตามที่ต้องการ โดยวางเส้นใยข้าวโพดสลับกับตัวประสาน(Binder)ชนิดแบ่งเปียก จำนวน 9 ชิ้นงาน ดังรูปที่ 8 โดยมีอัตราส่วนระหว่างเส้นใยข้าวโพดและตัวประสาน 85:15 80:20 และ 70:30 และมีความหนาแน่น 200 300 และ 400 kg/m³ ตามตารางที่ 1 โดยอัดขึ้นรูป

เส้นใยที่อุณหภูมิ 90 °C และนำมาทดสอบสมบัติ 3 ประการดังนี้

3.1 ทดสอบ Thermal conductivity

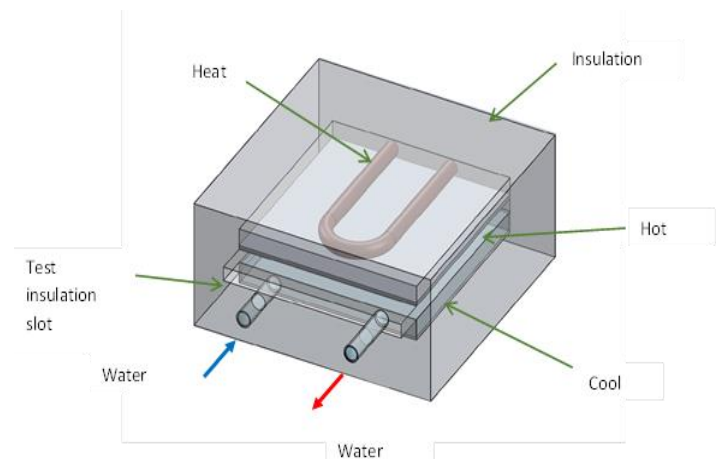
สำหรับค่า Thermal conductivity ใช้ตัวอย่างชิ้นงานทำการทดสอบโดยชุดทดสอบดังรูปที่ 9 ตามมาตรฐาน ASTM C177 และคำนวณค่าสภาพนำความร้อนจากสมการอัตราการนำความร้อน (1)

3.2 ทดสอบ Tensile Test

ทดสอบ Tensile Test โดยการทดสอบเพื่อหาความเค้นแรงดึง(Tensile Strength) จาก Tensile Tinius Olsen H50KS (รูปที่ 6) และวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM A370

3.3 ทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending Test)

สำหรับการทดสอบแรงดัดโค้งทดสอบด้วยวิธี Three-point Bending (รูปที่10)เพื่อหาความเค้นแรงดัดซึ่งวิเคราะห์ด้วยมาตรฐาน ASTM D790



รูปที่ 9 ชุดทดสอบค่าการนำความร้อนของฉนวน

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Q = อัตราการนำความร้อน (w)

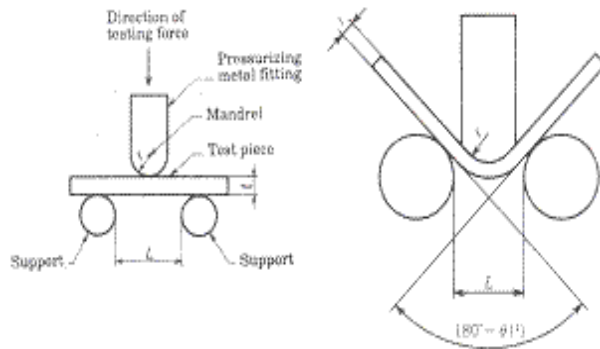
k = ค่าสภาพนำความร้อน (w/m·K)

A = พื้นที่สำหรับการนำความร้อน (m²)

dT = ผลต่างอุณหภูมิหน้าเข้าและน้ำออก (K)

dx = ระยะทางการเคลื่อนที่ของความร้อน (m)

ETM-05



รูปที่ 10 ชุดทดสอบแรงดัดโค้งด้วยวิธี
Three-point Bending

ตารางที่ 1 ชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงาน	อัตราส่วน ระหว่างเส้นใย และตัวประสาน	ความ หนาแน่น (kg/m ³)	ความหนา ชิ้นงาน (mm)	ความชื้น (%)
1-1	85:15	200	10.8	9.02
1-2		300	14.0	8.80
1-3		400	14.1	8.33
2-1	80:20	200	11.0	9.00
2-2		300	13.5	9.07
2-3		400	12.5	8.82
3-1	70:30	200	11.0	9.03
3-2		300	12.2	9.54
3-3		400	13.2	10.21

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบค่าสภาพนำความร้อน

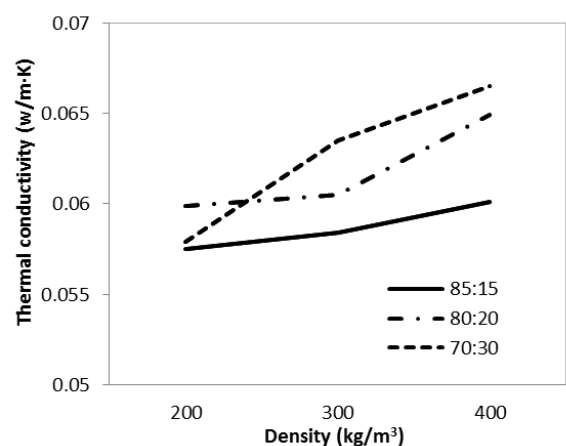
ชิ้นงาน	อัตราส่วน ระหว่างเส้นใย และตัวประสาน	ความ หนาแน่น (kg/m ³)	k (w/m·K)
1-1	85:15	200	0.0575
1-2		300	0.0584
1-3		400	0.0601
2-1	80:20	200	0.0599
2-2		300	0.0605
2-3		400	0.0649
3-1	70:30	200	0.0579
3-2		300	0.0635
3-3		400	0.0665

4. ผลการทดลอง

การทดสอบสมบัติความเป็นฉนวน โดยทดสอบชิ้นงานที่มีสัดส่วนระหว่างเส้นใยและตัวประสานแตกต่างกัน รวมถึงมีความหนาแน่น 200-400 kg/m³ จำนวน 9 ชิ้นงาน มีผลการศึกษาดังนี้

4.1 Conduction Coefficient

จากการทดสอบด้วยชุดทดสอบที่สร้างขึ้นมาดังรูปที่ 9 ผลการทดสอบค่าสภาพนำความร้อนของชิ้นงานเส้นใยข้าวโพดที่ขึ้นรูปด้วยอัตราส่วนเส้นใยข้าวโพดและตัวประสานต่างกันและความหนาแน่นต่างกันดังตารางที่ 2 พบว่าชิ้นงานที่มีอัตราส่วนเส้นใยข้าวโพดต่อตัวประสาน 85:15 มีค่าสภาพนำความร้อน 0.0634, 0.0644 และ 0.0663 w/m·K สำหรับความหนาแน่น 200, 300 และ 400 kg/m³ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับ รูปที่ 11 แสดงค่าสภาพนำความร้อนจากชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนเส้นใยข้าวโพดและตัวประสาน 85:15, 80:20 และ 70:30 พบว่าค่าสภาพนำความร้อนมากขึ้นเมื่ออัตราส่วนเส้นใยข้าวโพดและตัวประสานเป็น 80:20 และ 70:30 เนื่องจากมีสัดส่วนเส้นใยน้อยลงทำให้มีชิ้นงานทดสอบมีความพรุนมากขึ้นและถูกแทนที่ด้วยสัดส่วนของตัวประสานที่มากขึ้นส่งผลให้การส่งผ่านความร้อนสูงและค่าสภาพนำความร้อนสูงขึ้น และเมื่อชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้นจาก 200 เป็น 300 และ 400 kg/m³ พบว่าแม้ว่าน้ำหนักเส้นใยข้าวโพดมีมากขึ้นแต่น้ำหนักตัวประสานซึ่งมีส่วนประกอบของแข็งมีมากขึ้นส่งผลทำให้ค่าสภาพนำความร้อนสูงขึ้น

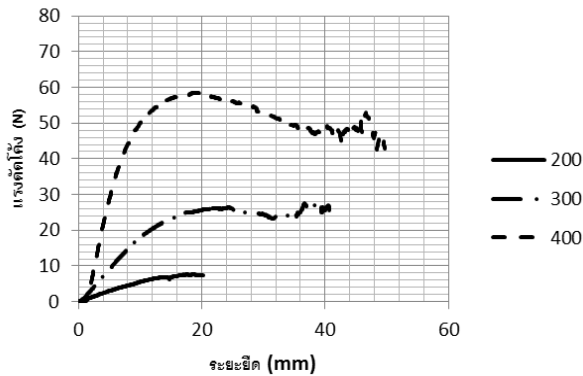


รูปที่ 11 ค่าสภาพนำความร้อนจากชิ้นงานทดสอบที่อัตราส่วนเส้นใยข้าวโพดและตัวประสาน 85:15, 80:20 และ 70:30

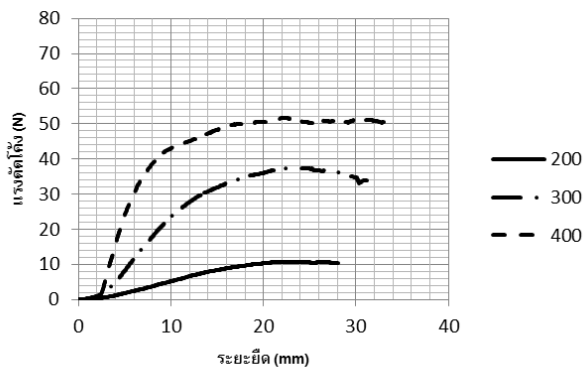
ETM-05

4.2 ผลการทดสอบ Bending Test

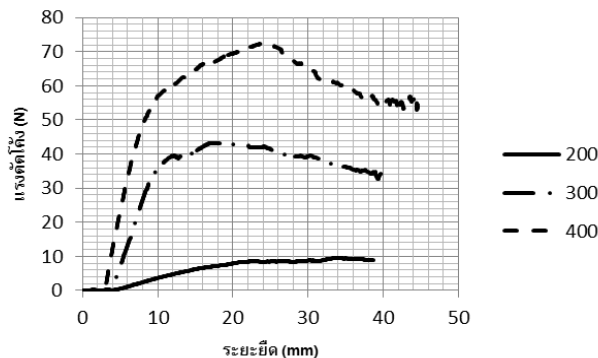
ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบ Bending Test สำหรับ 9 ชิ้นงาน พบว่า เมื่อชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น ส่งผลให้ค่า Bending Strength สูงขึ้นสำหรับอัตราส่วนระหว่างเส้นใยและตัวประสาน 85:15, 80:20 และ 70:30 (รูปที่ 12-14) และมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่ออัตราส่วนของเส้นใยขาวโตน้อยลงและตัวประสานมีมากขึ้น



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดโค้งและระยะยืดของชิ้นงานสำหรับอัตราส่วนเส้นใยและตัวประสาน 85:15



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดโค้งและระยะยืดของชิ้นงานสำหรับอัตราส่วนเส้นใยและตัวประสาน 80:20



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดโค้งและระยะยืดของชิ้นงานสำหรับอัตราส่วนเส้นใยและตัวประสาน 70:30

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ Bending Test

ชิ้นงาน	อัตราส่วนระหว่างเส้นใยและตัวประสาน	ความหนาแน่น (kg/m ³)	Bending strength (MPa)
1-1	85:15	200	0.342
1-2		300	1.058
1-3		400	2.073
2-1	80:20	200	0.482
2-2		300	1.384
2-3		400	1.927
3-1	70:30	200	0.452
3-2		300	1.696
3-3		400	2.757

4.3 ผลการทดสอบ Tensile Test

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบ Tensile Test พบว่า อัตราส่วนระหว่างเส้นใยและตัวประสาน 85:15 มีค่า Tensile Strength 0.146 MPa สำหรับความหนาแน่น 200 kg/m³ และมีค่า Tensile Strength สูงขึ้นเป็น 0.374 และ 0.488 เมื่อความหนาแน่นของชิ้นงานเพิ่มขึ้นเป็น 300 และ 400 kg/m³ ตามลำดับ และมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนของตัวประสานมีค่ามากขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และส่งผลต่อค่า Ultimate Tensile Strength มีค่าสูงขึ้น

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ Tensile Test

ชิ้นงาน	อัตราส่วนระหว่างเส้นใยและตัวประสาน	ความหนาแน่น (kg/m ³)	Tensile Strength (MPa)
1-1	85:15	200	0.146
1-2		300	0.374
1-3		400	0.488
2-1	80:20	200	0.156
2-2		300	0.711
2-3		400	1.097
3-1	70:30	200	0.139
3-2		300	0.723
3-3		400	0.865

ETM-05

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเปลือกข้าวโพดมีความพรุนของท่อลำเลียงเส้นใยทำให้สามารถกักเก็บอากาศได้ จึงได้นำเส้นใยเปลือกข้าวโพดมาศึกษาสมบัติของฉนวนและเปรียบเทียบกับฉนวนอื่น ๆ รวมถึงฉนวนที่ทำจากชีวมวลในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนของเส้นใยเปลือกข้าวโพด ได้แก่ ทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending test) ทดสอบแรงดึง (Tensile test) ทดสอบการนำความร้อน (Thermal conductivity test)

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าสภาพนำความร้อนของเปลือกข้าวโพดและวัสดุชีวมวลอื่นๆ

วัสดุ	ตัวประสาน	ความหนาแน่น (kg/m ³)	ค่าสภาพนำความร้อน (W/m·K)
เปลือกข้าวโพด	แป้งเปียก	200	0.0575-0.0665
M-PE AluMax (ที่ทำการฉีกฟอยล์แล้ว)		—	0.0607
ชานอ้อย	กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	600 - 700	0.0724 - 0.0925
ชังข้าวโพด	กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	200 - 800	0.063 - 0.123
ต้นมันสำปะหลัง	กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	200 - 800	0.059 - 0.105

การทดสอบได้นำเส้นใยเปลือกข้าวโพดที่สกัดแล้วมาขึ้นรูปกับตัวประสาน ซึ่งมีความหนาแน่น 200, 300 และ 400 g/m³ ในสัดส่วนเส้นใยเปลือกข้าวโพดต่อตัวประสานคือ 85:15, 80:20 และ 70:30 ผลการทดสอบพบว่า แรงดัดโค้งที่รับได้สูงสุดมีค่า 0.214-1.760 MPa แรงดึงของวัสดุมีค่า 0.1390-1.097 MPa ค่าสภาพนำความร้อนมีค่า 0.0575-0.0665 W/m·K โดยสูงขึ้นตามความหนาแน่นและสัดส่วนตัวประสาน และพบว่าที่ความหนาแน่น 200 g/m³ ขึ้นรูปพร้อมตัวประสานในสัดส่วน 85:15 มีค่าสภาพนำความร้อนของฉนวนเส้นใยเปลือกข้าวโพด 0.0575 W/m·K ต่ำที่สุดและต่ำกว่าหรือมีความเป็นฉนวนที่ดีกว่าฉนวนโพลีเอทิลีน M-PE AluMax (ไม่มีฟอยล์) ฉนวนที่ทำจากชังข้าวโพดและมันสำปะหลัง (ตารางที่ 5)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท รักบ้านเกิด จำกัด "การนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเลี้ยงสัตว์", แหล่งที่มา <http://www.rakbankerd.com/agriculture/page.php?id=0961&s=tblanimal>, เข้าดูเมื่อวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ 2557.
- [2] บริษัท ดี.ดี.อินซูเลชั่น แอนด์ เทรตติ้ง จำกัด "เซลลูโลส", แหล่งที่มา <http://www.foamdd.com/cellulo2.html>, เข้าดูเมื่อวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ 2557.
- [3] ธัญชัย ปุณณกรกิจ และคณะ(2549), ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, Journal of Architectural/Planning Research and Studies, ฉบับที่ 4, หน้า 1-13.
- [4] ประยูร สุรินทร์. (2544), การศึกษาการผลิตและสมบัติของแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีวัสดุ) มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] Taha Ashour., et al.(2010), The influence of natural reinforcement fibers on insulation values of earth plaster for straw bale buildings, Materials & Design, Vol.31, pp. 4676-4685.
- [6] Hanifi Binici., et al.(2014), An environmentally friendly thermal insulation material from sunflower stalk textile waste and stubble fibers, Construction and Building Materials, Vol.51, pp 24-33.
- [7] จักรกริษฐ์ พิสุตรเสียง และคณะ(2555), ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนฉนวนใยพารา, วารสารกรมโยธาธิการและผังเมือง, ฉบับที่ 36, หน้า 40-46.
- [8] ประยูร สุรินทร์ และคณะ(2554), แผ่นวัสดุก่อสร้างอาคารที่ผลิตจากเส้นใยมะพร้าวผสมผงคอนกรีตกับซีเมนต์, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554, โรงแรมแอมบาสเตอร์ ซิตี้ จอมเทียน จ.ชลบุรี.
- [9] N.Jaya Chitra and R. Vasanthakuman((2012), Studies on polypropylene bio composite with corn husk waste, International Journal of Scientific and Engineering Research, Vol.3, Issue 7.