แผ่นวัสดุผสมโพลีเอทธิลีนเสริมเส้นใยเปลือกทุเรียน

Durian Shell Fiber-Polyethylene Composite Material Board

ประชุม คำพุฒ [1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติวัสดุผสมจากโพลีเอทธิลีนกับเส้นใยเปลือกทุเรียน โดยมีส่วนผสมของโพลีเอทธิลีนต่อเส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 โดยน้ำหนัก ผสมเส้นใยทุเรียนด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ทำการอัดขึ้นรูปแผ่นวัสดุผสมขนาด 30 x 30 x 0.5 ซม. โดยวิธีการอัดร้อน และทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุผสมที่มีปริมาณของโพลีเอทธิลีนที่สูงขึ้นจะมีความต้านทานการรับแรงดึง และแรงกระแทกสูงขึ้น ส่วนปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการรับแรงดัด และความแข็งที่ผิวสูงขึ้น ผลการวิจัยมีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุตกแต่งผนังอาคารเนื่องจากมีสีผิวและลวดลายของวัสดุผสมที่สวยงาม

คำสำคัญ : วัสดุผสม, เส้นใยทุเรียน, โพลีเอทธิลีน

Abstract

This paper aims to study the properties of composite material made from polyethylene (PE) and durian shell fiber. The ratios of PE to fiber are 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 and 50 : 50 (by weight). PE and durian shell fiber are mixed in the two rolls mill and formed to 30 x 30 x 0.50 cm. plate by hot rolling. The mechanical properties of the plates are tested in accordance with ASTM standard. Test results reveal that the higher PE content results in the increase of tensile strength and impact energy, whereas the increase of durian shell fiber leads to the increase in bending strength and surface hardness. Based on these results, the composite board of PE and durian shell fiber can be developed to be furnishing panels of building because of its beautiful color and texture.

Keywords : composite material, durian shell fiber, polyethylene.

[1]อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ของโลก มีพื้นที่ปลูกทุเรียนทั้งหมด 887,980 ไร่ ผลผลิตรวมทั้งประเทศประมาณ 876,000 ตัน เกษตรกรผู้ทำสวนทุเรียนกว่า 90,000 ครัวเรือน มีการใช้แรงงานในครัวเรือนและการจ้างงานในการทำสวนทุเรียนประมาณ 1 ล้านคน จากสถิติปริมาณผลผลิตทุเรียนทั้งประเทศ ปี พ.ศ. 2545 ของกรมส่งเสริมการเกษตรและราคาขายของทุเรียนพันธุ์ต่างๆ ในตลาดท้องถิ่นและตลาดขายส่งภายในประเทศ คิดเป็นมูลค่าของทุเรียนในตลาดภายในประเทศทั้งสิ้น 14,951.2 ล้านบาท เมื่อรวมมูลค่าการส่งออกและมูลค่าในประเทศเข้าด้วยกัน จะเห็นว่าในปี พ.ศ. 2545 ธุรกิจค้าส่งทุเรียนมีมูลค่ารวมกันทั้งสิ้น 17,594.7 ล้านบาท และอาจมีมูลค่ามากกว่า 20,000 ล้านบาท เมื่อแปลงเป็นมูลค่าธุรกิจค้าปลีก [1] ทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีความพิเศษคือ นอกจากรสชาติอร่อยแล้ว ยังมีกลิ่นแรง และมีเปลือกที่มีหนามแหลมคมแข็งมาก ซึ่งเป็นขยะเหลือทิ้งที่กำจัดได้ยากและเป็นอันตรายสูง ในปัจจุบันนี้ได้มีการศึกษาในเรื่องของวัสดุผสมที่ใช้ทดแทนไม้อย่างจริงจังทั้งต่างประเทศ [2-3] และในประเทศ [4-13] โดยส่วนใหญ่ทำออกมาในลักษณะของแผ่นไม้อัดเทียม ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุทดแทนไม้เช่นเดียวกัน [14-18] ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากงานวิจัยที่ผ่านมาและข้อมูลของผลผลิตทุเรียนที่เป็นจำนวนมากดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าขยะจากเปลือกทุเรียนนั้นมีปริมาณที่สูง ดังนั้นการนำเปลือกทุเรียนที่ทิ้งแล้วมาสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการแปรรูปให้เกิดประโยชน์ในทางธุรกิจ จึงเป็นแนวคิดที่สมควรได้รับการสนับสนุนอย่างเป็นรูปธรรม ดังนั้นจึงเกิดงานวิจัยโดยการนำขยะเปลือกทุเรียนมาแยกเป็นเส้นใย แล้วขึ้นรูปผสมกับพลาสติกโพลีเอทธิลีนเป็นแผ่นวัสดุผสมไม้เทียม สำหรับใช้ในการก่อสร้างตกแต่งอาคารบ้านเรือน หรือใช้ทำเป็นวัสดุประกอบในงานเฟอร์นิเจอร์

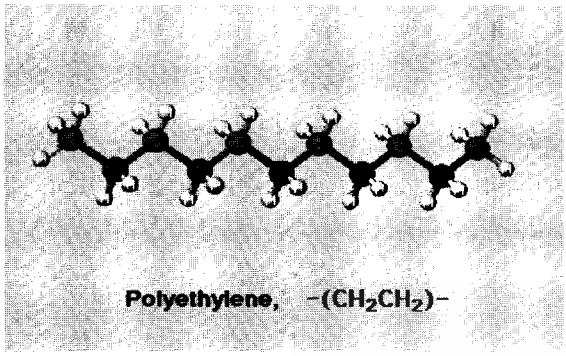
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นวัสดุผสมโพลีเอทธิลีนเสริมเส้นใยเปลือกทุเรียน

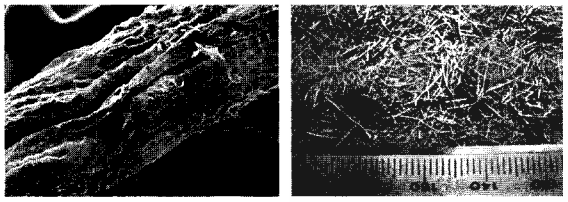
3. วิธีการวิจัย

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เม็ดพลาสติกโพลีเอทธิลีน (PE) เกรดฉีด บดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 18 ของบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) (รูปที่ 1) และเส้นใยเปลือกทุเรียนหมอนทองจากตลาดไท จังหวัดปทุมธานี โดยนำมาแยกด้วยวิธีทางชีวภาพเพื่อให้ลิกนินหลุดออกจากเส้นใย นำไปล้างน้ำสะอาดและผึ่งแดดให้แห้ง จะได้เส้นใยสีขาว มีความยาว 1.5 เซนติเมตร (รูปที่ 2) ส่วนอุปกรณ์ ได้แก่ ตะแกรงร่อนแยกขนาดวัสดุ ตามมาตรฐาน ASTM [19], เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) (รูปที่ 3), เครื่องทดสอบหาค่าการทนต่อแรงดึง, เครื่องทดสอบหาค่าการทนต่อแรงกระแทกโดยวิธีไอซอด, เครื่องทดสอบหาค่าการต้านทานการโก่งงอ, เครื่องกัดชิ้นงาน (Milling Machine), เครื่องบากชิ้นงานทดสอบเพื่อนำไปใช้กับเครื่องทดสอบการทนต่อแรงกระแทก, เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill) (รูปที่ 4) และเครื่องบดพลาสติก (Granulator) (รูปที่ 5)

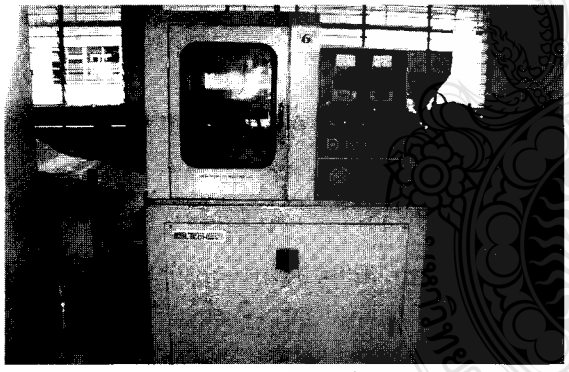


รูปที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของโพลีเอทธิลีน

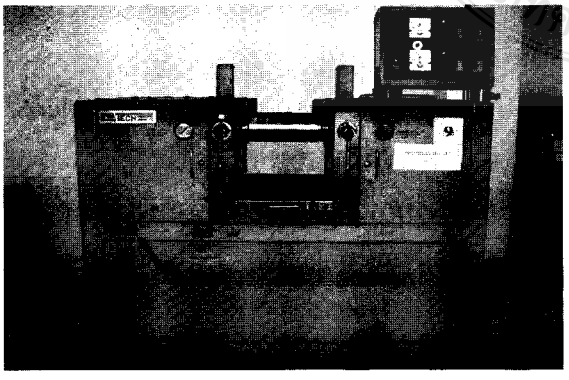


ก) ขยาย 200 เท่า ด้วย SEM ข) ขนาดปกติ

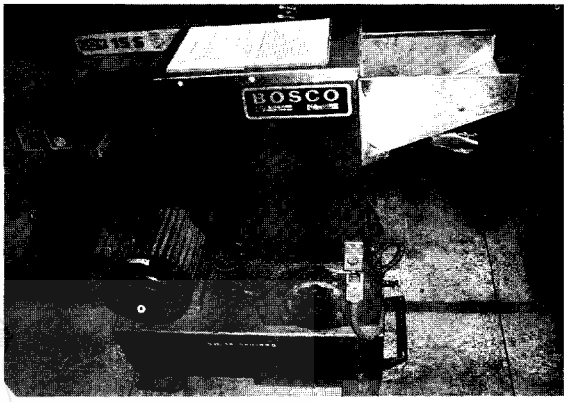
รูปที่ 2 ลักษณะเส้นใยทุเรียนหมอนทอง



รูปที่ 3 เครื่องอัดขึ้นรูป



รูปที่ 4 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง



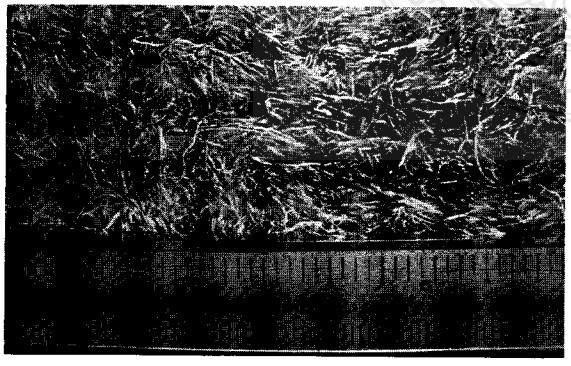
รูปที่ 5 เครื่องบดพลาสติก

3.2 วิธีการดำเนินงาน

สำหรับวิธีการดำเนินงานวิจัยเรื่องแผ่นวัสดุผสมโพลีเอทธิลีนเสริมเส้นใยเปลือกทุเรียนนั้น เริ่มจากการขึ้นรูปแผ่นวัสดุผสมด้วยการกำหนดอัตราส่วนผสมโพลิเอทธิลีนต่อเส้นใยทุเรียนเท่ากับ 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 โดยน้ำหนัก ก่อนทำการผสมให้อบเส้นใยเปลือกทุเรียนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วจึงนำส่วนผสมที่กำหนด มาผสมกันด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (อัตราความเร็วลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลังคือ 1: 1.2) โดยใช้ความร้อนที่ 195 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการผสม 15 นาที (รูปที่ 6) จนได้เป็นแผ่นวัสดุคอมปาวด์ ทำการตัดแผ่นวัสดุที่ได้ออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำเข้าเครื่องบดพลาสติก จากนั้นขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดแผ่นเรียบด้วยวิธีการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 7 นาที และนำมาทำการหล่อเย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 นาที เพื่อให้พลาสติกแข็งตัว จะได้แผ่นวัสดุผสมตามรูปที่ 7 แล้วจึงตัดชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ดังนี้ ความต้านทานแรงดึงใช้ตัวอย่างขนาดหนา 3 มิลลิเมตร ยาว 180 มิลลิเมตร กว้าง 13

มิลลิเมตร, การทนต่อแรงกระแทกใช้ตัวอย่างขนาดหนา 3 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร กว้าง 12.7 มิลลิเมตร รอยบากลึก 2.54 มิลลิเมตร, การโก่งใช้ตัวอย่างขนาด หนา 3 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร กว้าง 25 มิลลิเมตร, ความแข็งที่ผิวใช้ตัวอย่างขนาด 1.5 x 1.5 x 1/8 นิ้ว ซึ่งแต่ละการทดสอบดำเนินการตามมาตรฐาน ได้แก่ การทดสอบการทนต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 [20], การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกโดยวิธีไอซอดตามมาตรฐาน ASTM D256 [21], การทดสอบการต้านทานการโก่งงอตามมาตรฐาน ASTM D790 [22] และการทดสอบความแข็งที่ผิวตามมาตรฐาน ASTM D785 [23]

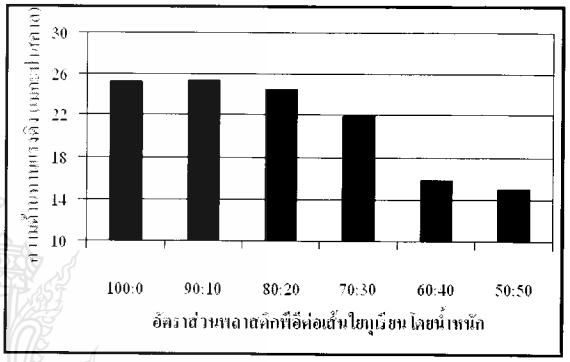
รูปที่ 6 การผสมวัสดุด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 7 แผ่นวัสดุผสมโพลีเอทธิลีน-เส้นใยเปลือกทุเรียน

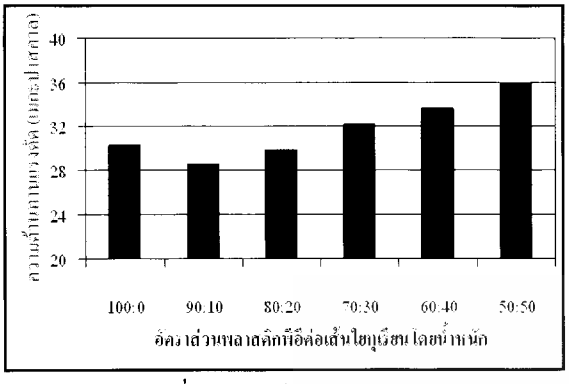
4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการวิจัย

จากการทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นวัสดุผสมที่ได้จากการผสมโพลีเอทธิลีนกับเส้นใยจากเปลือกทุเรียน ได้ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (รูปที่ 8), ความต้านทานแรงดัด (รูปที่ 9), ความแข็งที่ผิว (รูปที่ 10) และความต้านทานแรงกระแทกโดยวิธีไอซอด (รูปที่ 11)



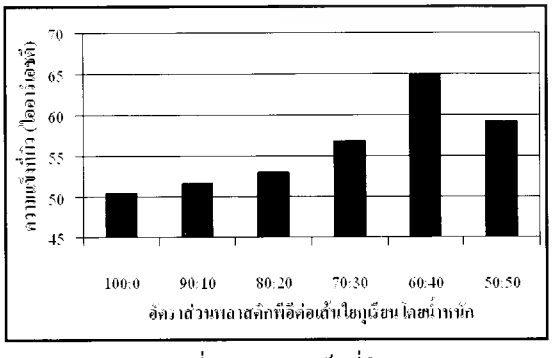
รูปที่ 8 ความต้านทานแรงดึง

รูปที่ 8 พบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างโพลิเอทธิลีน : เส้นใยเปลือกทุเรียนที่สามารถต้านทานแรงดึงได้สูงที่สุดคือ 90 :10 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับโพลิเอทธิลีนปกติที่ไม่ผสมเส้นใย รองลงไปเป็น 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 ตามลำดับ แสดงว่าเป็นไปตามทฤษฎีของพลาสติกที่มีสมบัติเฉพาะตัวในการรับกำลังดึงที่ดี [24] เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนผสมลงไป จึงทำให้ปริมาณโพลีเอทธิลีนลดลง ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงของวัสดุผสมลดลงตามไปด้วย ซึ่งปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยการเติมสารช่วยเชื่อมประสาน (Coupling Agent) ในเนื้อของวัสดุผสม โดยค่าความต้านทานแรงดึงที่อัตราส่วน เท่ากับ 50 : 50 มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนที่ไม่ผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนอยู่ 10 MPa



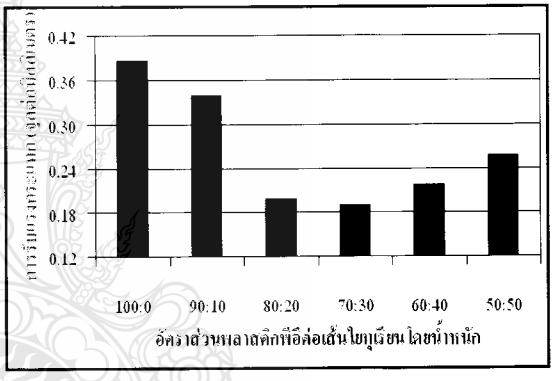
รูปที่ 9 ความต้านทานแรงดัด

รูปที่ 9 พบว่า ความต้านทานแรงดัดมีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้ามกับความต้านทานแรงดึง โดยความต้านทานแรงดัดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนในวัสดุผสมมากขึ้น ซึ่งการทดสอบความต้านทานแรงดัดนั้นทำให้เกิดผลของแรงกระทำ 2 ชนิด คือแรงดึงและแรงอัด ในงานวิจัยนี้แสดงว่าความสามารถการรับแรงอัดมีมากกว่าแรงดึง จึงทำให้แผ่นวัสดุผสมมีค่าความต้านทานแรงดัดสูงขึ้นกว่าการไม่ใส่เส้นใยเปลือกทุเรียน ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยเปลือกทุเรียนมีโมเลกุลที่แข็งมากกว่าโพลีเอทธิลีน เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียน จะช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงอัดได้ แต่ที่ไม่ได้ทำการทดสอบความต้านทานแรงอัดในงานวิจัยครั้งนี้เพราะว่าไม่มีความจำเป็นในการนำไปใช้งาน



รูปที่ 10 ความแข็งที่ผิว

ส่วนความแข็งของแผ่นวัสดุผสมเนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนมากขึ้นในการทดสอบความแข็งที่ผิว ดังรูปที่ 10 โดยพบว่าความแข็งที่ผิวมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความต้านทานแรงดัด อีกทั้งในงานวิจัยนี้ขณะดำเนินการขึ้นรูปวัสดุผสมจะพยายามใส่เส้นใยให้เรียงไปในลักษณะทิศทางเดียวกันมากที่สุด จึงมีส่วนช่วยให้ค่าความแข็งที่ผิวสูงขึ้นและสามารถต้านทานแรงดัดได้มากขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย



รูปที่ 11 ความต้านทานแรงกระแทก

รูปที่ 11 พบว่า ความต้านทานแรงกระแทกโดยวิธีไอซอด (Izod) นั้น มีค่าต่ำลงเมื่อผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าต่ำสุดที่อัตราส่วน โพลีเอทธิลีน : เส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 70 : 30 และหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจากงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถสรุปแนวโน้มได้อย่างชัดเจนนัก แต่อาจเป็นไปได้ว่าที่อัตราส่วน 70 : 30 นั้น หน้าตัดของแผ่นวัสดุผสมที่ทำการทดสอบในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัวของเส้นใยเปลือกทุเรียนมีการยึดประสานตัวน้อยที่สุด ซึ่งปัญหานี้อาจแก้ไขได้โดยการเติมสารช่วยเชื่อมประสานเช่นเดียวกัน

5. สรุปผล

จากการศึกษาการผสมโพลีเอทธิลีนและเส้นใยเปลือกทุเรียนด้วยเครื่องผสมแบบเปิดชนิด 2 ลูกกลิ้ง และนำมาขึ้นรูปวัสดุผสมโดยวิธีการอัดร้อน แล้วทำการทดสอบสมบัติทางกล พบว่าเมื่อผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ความต้านทานแรงดัดและความแข็งที่ผิวสูงขึ้น แต่ความต้านทานแรงดึงต่ำลง ส่วนความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มต่ำลงจนถึงอัตราส่วน 70 : 30 หลังจากนั้นจะสูงขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของขนาดเส้นใย และการเติมสารช่วยเชื่อมประสานเพื่อให้วัสดุผสมมีสมบัติที่ดีมากยิ่งขึ้น และผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาเป็นแผ่นไม้เทียมในงานเฟอร์นิเจอร์ หรืองานตกแต่งอาคารเชิงอนุรักษ์ที่ต้องการความสวยงามตามแบบธรรมชาติได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบน (สกอ.) ประจำปี 2550 สัญญาหมายเลข 038/2550 และได้รับทุนเพิ่มเติมจากกลุ่มทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อความพอเพียง (กสวพ.) ประจำปี 2550

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ฐานความรู้เรื่องพืช กรมวิชาการเกษตร, 2549. **ทุเรียน.** [online] เข้าถึงได้จาก http://www.doa.go.th/pl_data/DURIAN/1STAT/st01.html. 2549

[2] Karen, X. and Costas, T. 2002. Rheological properties and their influence on extrusion characteristics of HDPE-wood composite resins. **60th annual technical conference ANTEC,** 1, pp. 252-256.

[3] Magnus, B. and Kristiina, O. 2005. Use of Silane Technology in Crosslinking of Polyethylene-Wood Flour Composites. **8th International Conference on Wood fiber-Plastic Composites (and other natural fibers)**, Madison, Wisconsin, USA.

[4] สมควร วัฒนกิจไพบูลย์ และจิตตกร ทรงต่อศรีสกุล. 2548. การผลิตวัสดุทดแทนแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษวัสดุเหลือใช้. **Engineering Today.** 34: หน้า 132-138.

[5] ศราวุธ ริมดุสิต. 2548. ผงขี้เลื่อยผสมพลาสติก. **Engineering Today.** 32: หน้า 95-96.

[6] พรพิมล อมรโชติ, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, จรัส ช่วยนะ. 2545. การศึกษาศักยภาพการใช้ประโยชน์ของเศษไม้ยางพาราเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม. **การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2545 (ด้านวัสดุทดแทนไม้)**, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ: หน้า 121-132.

[7] ธนดล สัตตบงกช. 2545. ไม้ประกอบและไม้ประกอบพลาสติก. **การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2545 (ด้านวัสดุทดแทนไม้)**, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ: หน้า 247.

[8] อุทิศ ตรีศักดิ์. 2545. แผ่นชิ้นไม้อัดจากชานอ้อย. **การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2545 (ด้านวัสดุทดแทนไม้)**, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ: หน้า 267.

[9] จรัส ช่วยนะ, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, พรพิมล อมรโชติ. 2545. การผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดจากเศษไม้ไผ่ค้ำยันเหลือทิ้ง. **การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2545 (ด้านวัสดุทดแทนไม้)**, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ: หน้า 113-120.

[10] พิชญ์ ศุภผล, ฉัตรชัย วีระนิติสกุล. 2546. ไม้แปรรูปพลาสติก. **MECHANICAL TECHNOLOGY**. 27: หน้า 99-102.

[11] อิทธิพล แจ้งชัด, วรรณิยา ชาญณรงค์ และวรธรรม อุ่นจิตติชัย. 2545. ผลของปริมาณไม้และพลาสติไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตจากเส้นใยไม้ยางพาราและพีวีซี. **การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2545 (ด้านวัสดุทดแทนไม้)**, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ: หน้า 100.

[12] อิทธิพล แจ้งชัด, ธีรพัฒน์ อุณหโชค, พจนีย์ ศรธรรมลี และวรธรรม อุ่นจิตติชัย. 2545. การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยผักตบชวาและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ใช้พอลิเอทิลีน-กราฟท์-มาลีอิกแอนไฮดรายด์เป็นสารช่วยผสม. **การประชุมการป่าไม้ประจำปี 2545 (ด้านวัสดุทดแทนไม้)**, กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ: หน้า 180.

[13] สมควร วัฒนกิจไพบูลย์ และจิตตกร ทรงต่อศรีสกุล. 2548. การศึกษาการนำเส้นใยกาบมะพร้าวมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรง. **Engineering Today.** 34: หน้า 128-131.

[14] อโณทัย ผลสุวรรณ, ประชุม คำพุฒ และบุญชัย ผึ้งไผ่งาม. 2548. การศึกษาสมบัติของโพลเอทธิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วกับขี้เลื่อยไม้ยางพารา. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10**, โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้จอมเทียน พัทยา ชลบุรี, เล่มที่ 2: หน้า MAT-39 – MAT-43.

[15] ประชุม คำพุฒ. 2550. สมบัติเชิงกลของวัสดุผสมโพลิเอทธิลีน ความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วกับผงขี้เลื่อยไม้ยางพารา. **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 6**, พิษณุโลก, 7-9 มีนาคม 2550: 07R3-10.

[16] ประชุม คำพุฒ และเอกรัตน์ รวยรวย. 2550. แผ่นวัสดุผสมโพลีเอทธิลีนเสริมเส้นใยมะพร้าว. **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12**, พิษณุโลก, 2-4 พฤษภาคม 2550.

[17] Khamput, P. 2007. A Study of Properties of Composite Boards Made from Coir Fiber and Polyethylene. **The 2nd International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers (ICAPP 2007)**, Bangkok, Thailand, June 25-28, 2007.

[18] Khamput, P., Wanthong, P. and Boksuwan, A. 2007. Properties of Composite Material from High Density Polyethylene and Coconut Coir Powder. **The 33rd Congress on Science and Technology of Thailand**, Nakhon Si Thammarat, Thailand, October 18-20, 2007.

[19] Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates ASTM C136-96a. 2001. **Annual Book of ASTM Standards**. Vol. 04.02, Philadelphia.

[20] Standard test method for tensile properties of plastic ASTM D638. 1990. **Annual Book of ASTM Standards.** Vol. 08, Philadelphia.

[21] Standard test method for impact resistance of plastics and electrical insulating materials ASTM D256. 1990. **Annual Book of ASTM Standards**. Vol. 08, Philadelphia.

[22] Standard test method for flexural properties of reinforced and unreinforced plastics and electrical insulating materials ASTM D790. 1990. **Annual Book of ASTM Standards**. Vol. 08, Philadelphia.

[23] Standard test method ASTM D785-98. 1990. **Annual Book of ASTM Standards**. Vol. 08, Philadelphia.

[24] จินตมัย สุวรรณประทีป. 2547. **การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก**, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., กรุงเทพฯ, 269 หน้า.