

การแปรรูปโฟมรีไซเคิล ผสมเส้นใยแก้วเป็นผลิตภัณฑ์

รำพึง เจริญยศ*, จักรินทร์ น่วมทิม และ สุทธิสาร อนันตรัตนชัย

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

*ramp_dong@hotmail.co.th

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของพลาสติกผสมได้จากการผสมระหว่างโฟม EPS และใยแก้วชนิดเส้นสั้น ซึ่งสามารถนำไปใช้งานทางวิศวกรรมได้และเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำของเหลือใช้มารีไซเคิลเพื่อช่วยลดปัญหาล้างแวล้อม

การทดลองโดยใช้โฟม EPS (Expanded Polystyrene Foam) รีไซเคิล ผสม กับ ใยแก้วชนิดเส้นสั้น ด้วยการนำโฟม ที่ใช้แล้วมาทำการหลอมด้วยความร้อนจะได้เป็น EPS แล้วทำเป็นเม็ดหรือชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปหลอมรวมกับใยแก้วชนิดเส้นสั้น จำนวน 3 อัตราส่วนผสม คือ ร้อยละ 20, ร้อยละ 30, และ ร้อยละ 40 ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อเย็นตัวแล้วย่อยเป็นเม็ดคอมพิวเตอร์ นำส่วนผสมคอมพิวเตอร์ไปอบให้ความร้อนอีกครั้งแล้วอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น สำหรับขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบที่กำหนด ทำการสมบัติทางกลของวัสดุผสม เพื่อหาอัตราส่วนผสม ที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่าวัสดุ EPS ผสมใยแก้วชนิดเส้นสั้น อัตราส่วนร้อยละ 40 สามารถยึดเกาะกันได้ดีที่สุด ทำให้มีสมบัติทางกลที่ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ คือ มีค่าสัมประสิทธิ์การยืดหยุ่น 2,693.40 MPa.(SD=58.31) ค่าสัมประสิทธิ์การแตกหัก 4.38 MPa.(SD=0.51) ความต้านทานแรงอัด 128.48 Kg/cm². (SD=6.78) ความแข็ง 94.82 HRR.(SD=3.24) เพราะสมบัติวัสดุจะแปรผันตามส่วนผสมของเส้นใยแก้วเสริมแรง ที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามเนื่องจากการประสานระหว่าง PS ที่มาจาก EPS โฟมรีไซเคิล กับใยแก้วชนิดเส้นสั้น มีการจับตัวและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ตามจำนวนวัสดุเสริมแรง อัตราส่วนผสมที่มีเส้นใยเสริมแรงน้อย ก็จะทำให้มีความแข็งแรงลดลงเพราะว่า มีจำนวน PS ที่จำนวนมากเกินไป ทำให้มีสมบัติแข็ง และมีความเปราะสูง ทำให้แตกหักได้ง่าย

คำสำคัญ: โฟมEPS, วัสดุผสม, เส้นใยแก้ว, รีไซเคิล

บทนำ

ในปัจจุบันเรื่องของสิ่งแวดล้อมกลายเป็นเรื่องระดับชาติ ผู้คนให้ความสนใจกันมาก และในระดับประเทศมีมาตรการป้องกันและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกันอย่างเข้มงวด จากมาตรการดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิด Eco Design หรือที่เรียกว่าการออกแบบเชิงนิเวศน์ เศรษฐกิจ เป็นการควบคุมวงจรชีวิตของสินค้าต่างๆเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ วัตถุดิบ การผลิต การบรรจุภัณฑ์ การนำไปใช้งาน ตลอดจนการนำชิ้นส่วนกลับมาใช้ใหม่ ทั้งนี้เพื่อประหยัดทรัพยากรธรรมชาติหรือที่เราเรียกว่า รีไซเคิลนั่นเอง แนวคิด Eco Design จึงถูกนำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ และอัตราการขยายตัวของประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงมีการนำทรัพยากร ธรรมชาติ มาใช้เพิ่มขึ้น โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบที่ตามมาในแต่ละปีมีขยะจากการใช้ผลิตภัณฑ์โฟมมากเป็นอันดับต้นๆ โดยทั่วไปโฟมหมายถึงพลาสติกที่นำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปโดยใช้สารช่วยการขยายตัว (Blowing Agent) เพื่อให้พลาสติกมีลักษณะฟูและเบา โฟมที่มีการนำมาใช้งานกันมาก มักจะทำมาจากพลาสติกชนิดพอลิสไตรีน ดังนั้นโฟมที่จะกล่าวถึงในที่นี้คือโฟม PS เท่านั้น อุตสาหกรรมโฟม PS ในเมืองไทยเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 40 ปีมาแล้วการใช้โฟม เพื่อบรรจุสินค้า โดยเฉพาะ เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนั้นเป็นกล่องโฟมสำหรับใส่อาหาร เป็นหลัก ต่อมาได้มีการใช้โฟมในการก่อสร้างอาคาร คอสะพาน และถนนอีกด้วย เนื่องจากในปัจจุบันโฟมหรือผลิตภัณฑ์โฟมมีปริมาณมากขึ้นในบรรจุภัณฑ์ต่างๆจึงทำให้เกิดปัญหาขยะประเภทโฟมเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งขยะ

พลาสติกดังกล่าวได้สร้างปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากเนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติในขณะที่การบริโภคผลิตภัณฑ์พลาสติกและโฟมกลับเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และในปัจจุบันการรีไซเคิลขยะประเภทโฟมมีต้นทุนสูง จึงทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งบนบกและในน้ำทำให้เกิดภาวะโลกร้อนที่ส่งผลต่อคนและสัตว์ทั้งบนบกและในน้ำ จึงเป็นประเด็นที่ทุกคนให้ความสนใจมากขึ้น มีการคิดค้นประดิษฐ์และแปรรูปวัสดุจากสิ่งเหลือใช้ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ ให้กลายเป็นสิ่งมีค่าที่สอดคล้องกับการดำเนินชีวิตประจำวัน ช่วยลดปริมาณการทิ้งของเสียอย่างเปล่าประโยชน์ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าวัสดุที่ไม่มีค่าให้กลับมามีมูลค่า โดยการนำไปผลิตเป็นแผ่นวัสดุผสม (Composite Materials) แล้วขึ้นรูปวัสดุโดยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ได้วัสดุที่สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้างและงานเฟอร์นิเจอร์หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ற்பໍးใช้ประโยชน์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาสมบัติของ PS Foam รีไซเคิลผสมกับใยแก้วชนิดเส้นสั้น โดยการนำไปทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การแตกหัก (Modulus of Rupture (MOR) สัมประสิทธิ์การยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity (MOE) ความแข็ง (Hardness) ความหนาแน่น (Density) แรงอัด (Compression) และทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) แล้วอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

1. เตรียมวัสดุในการทดลอง ดำเนินการจัดเก็บและคัดแยกโฟม EPS ที่เหลือทิ้งจากการใช้งาน มาทำความสะอาด บดย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ และอบให้แห้ง



รูปที่ 1 เม็ดโฟมละเอียดที่ได้จากการบด

2. การเตรียมเม็ดพลาสติก PS จากโฟมรีไซเคิล โดยการนำโฟม EPS ที่เหลือทิ้งจากการใช้งาน มาทำย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ หลอมด้วยความร้อนด้วยเครื่องหลอมพลาสติก แล้วทำให้เป็นเม็ด



รูปที่ 2 เม็ดพลาสติก (PS)

3. การผลิตเม็ดคอมพาวด์ (Compound Materials) โดยนำเม็ดพลาสติก (PS) จากโฟมรีไซเคิลผสมกับใยแก้วชนิดเส้นสั้น ตามอัตราส่วนที่กำหนดในการทดลอง จำนวน 600 กรัม ตามขนาดของแม่แบบอัดขึ้นรูป นำมาหลอมด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวเป็นแผ่นคอมพาวด์ จากนั้นทำการบดด้วยเครื่องบดให้เป็นเม็ดคอมพาวด์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมในการทดลอง

อัตราส่วนผสม	พลาสติก PS (กรัม)	เส้นใยแก้ว(กรัม)
80 : 20	480	120
70 : 30	420	180
60 : 40	360	240



รูปที่ 3 แผ่นคอมพาวด์



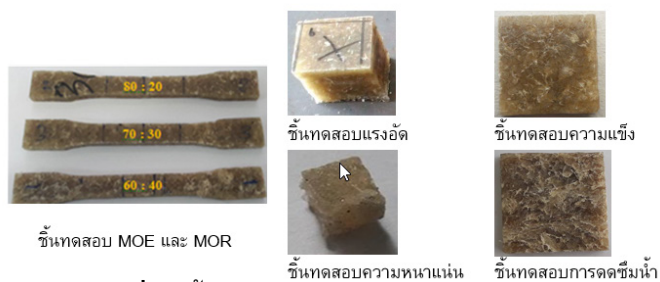
รูปที่ 4 เม็ดคอมพาวด์ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบด

4. การขึ้นรูปแผ่นวัสดุผสม นำเม็ดคอมพาวด์ ภายในแม่แบบไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที และอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ด้วยแรงดัน 2 บาร์ เป็นเวลา 15 นาที เพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบทางกลและทางกายภาพประเภทต่าง ดังนี้



รูปที่ 5 แผ่นวัสดุผสมที่ผ่านการอัดด้วยเครื่องอัด

5. การขึ้นรูปชิ้นทดสอบ โดยการนำแผ่นวัสดุผสมแต่ละอัตราส่วนที่ทำการทดลอง มาตัดออกเป็น ชิ้นงานทดสอบทางกลและทางกายภาพ ตามขนาดมาตรฐานที่กำหนดในการทดลอง (Annual Book of ASTM Standards, 1990)



รูปที่ 6 ชั้นทดสอบทางกลและทางกายภาพ

6. การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical properties testing) (จินตมัย สุวรรณประทีป, 2547)

6.1 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, MOE) การทดสอบและค่าสัมประสิทธิ์การแตกหัก (Modulus of Rupture, MOR) เป็นการทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบแบบสถิตี ชิ้นงานจะถูกยึดออกอย่างสม่ำเสมอจนชิ้นงานเกิดการขาด ความเร็วในการยืด จะต่ำลง ความยาวในชิ้นงานจะยืดออกจะถูกวัดค่าออกมาเป็นกราฟให้ทราบโดยจะทดสอบตามอัตราส่วนผสม 3 อัตราส่วนๆละ 5 ชั้นตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type 3



รูปที่ 7 จับชิ้นงานกับเครื่องทดสอบแรงดึงและทำการทดสอบ



รูปที่ 8 ชิ้นงานหลังการทดสอบ

6.2 การทดสอบแรงอัด (Compression Test) โดยนำชิ้นทดสอบจากโฟม EPS รีไซเคิล ผสมใยแก้ว ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C 39 โดยจะทดสอบ 3 อัตราส่วนๆละ 5 ชั้น



รูปที่ 9 การจับชิ้นงานกับเครื่องทดสอบและการอัดชิ้นงานทดสอบ

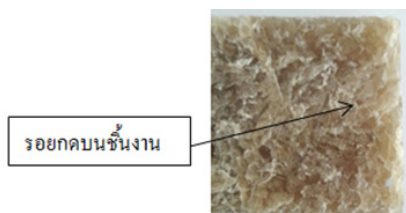


รูปที่ 10 ชิ้นงานหลังการทดสอบ

6.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) นำชิ้นทดสอบจากทั้ง 3 อัตราส่วนไปทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM 2240 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์สเกล R โดยจะใช้หัวกดเป็นลูกบอลเหล็กขนาด 1/2 in. ใช้น้ำหนักกด 60 kg. จะทดสอบตามอัตราส่วน 3 อัตราส่วนๆ ละ 5 ชิ้น โดยในหนึ่งชิ้นทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง



รูปที่ 11 การติดตั้งชิ้นงานกับเครื่องทดสอบความแข็งและกดชิ้นทดสอบ



รูปที่ 12 ชิ้นงานหลังการกดทดสอบ

7. การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ นำอัตราส่วนผสมของ พลาสติก โฟม EPS รีไซเคิล กับ ใยแก้วชนิดเส้นสั้น ที่มีสมบัติทางกลและทางกายภาพ ที่เหมาะสมที่สุดมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการทดลอง ปรากฏอัตราส่วนผสม ที่มีส่วนผสมของเส้นใยแก้ว 40% มีสมบัติที่ดีที่สุด ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงนำวัสดุที่มีส่วนผสมนี้ไปทำการผลิตขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ประเภทเก้าอี้ ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตดังนี้

7.1 นำผงคอมพาวด์ที่มีอัตราส่วนผสมเส้นใยแก้ว 40% มาทำการหลอมในแม่แบบด้วยเตาอบไฟฟ้า และอัดขึ้นรูปแผ่นชิ้นงานด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก แล้วปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัว



รูปที่ 13 แผ่นชิ้นงานอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

7.2 ทำการขึ้นรูปและประกอบเป็นผลิตภัณฑ์



รูปที่ 14 ขึ้นรูปและประกอบเป็นผลิตภัณฑ์

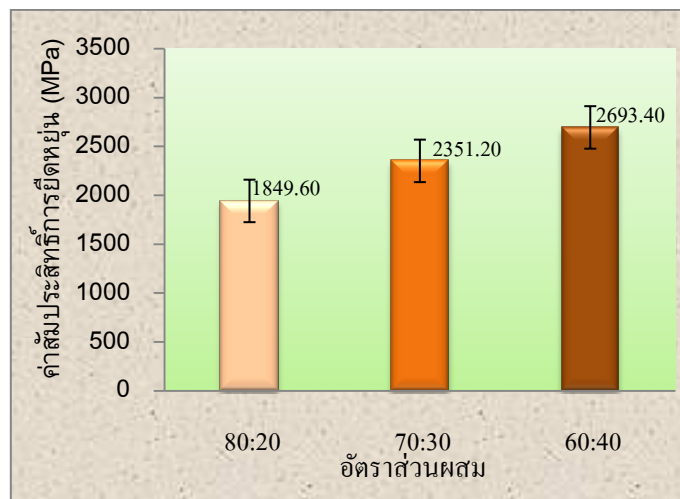
7.3 ตกแต่งและทำสี



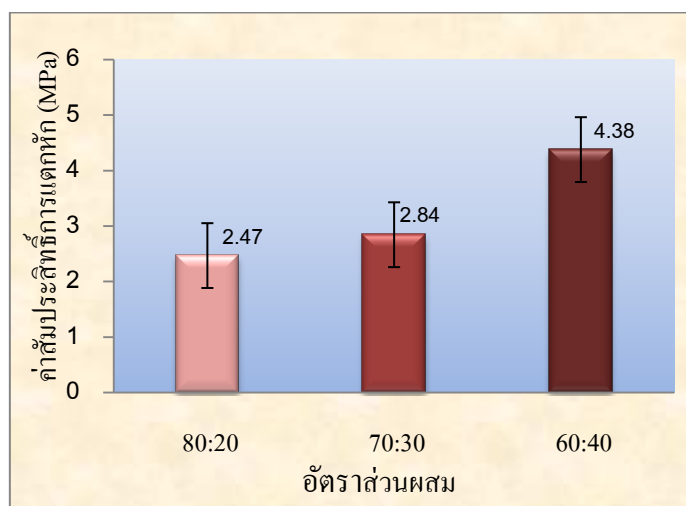
รูปที่ 15 ชุดเก้าอี้ทำจากโฟม EPS รีไซเคิลผสมใยแก้วชนิดเส้นสั้น

ผลและอภิปรายผล

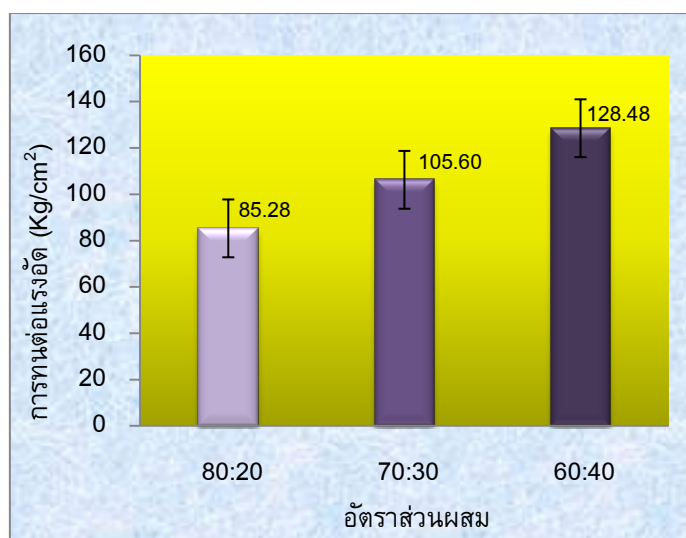
โครงการวิจัยได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลและทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบโฟม EPS รีไซเคิลผสมใยแก้วชนิดเส้นสั้น ในอัตราส่วนที่ต่างกันเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ที่มีอยู่ทั่วไปภายในประเทศมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อรับแรงทางกลต่างๆ เช่นแรงดึง แรงอัดและความแข็ง เพื่อความคงทนต่อสภาพแวดล้อมทั่วไปที่มักจะกระทำต่อวัสดุที่ใช้งาน โดยการเลือกวัสดุที่มีความแข็งแรงทางกลที่ดีที่สุดนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เป็นการสร้างทางเลือกใหม่ให้กับวัสดุที่นำมาใช้งาน เพื่อลดต้นทุน รวมทั้งเป็นการช่วยลดการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศ ซึ่งจากการวิจัยสามารถสรุปผลของโครงการวิจัยได้ดังนี้



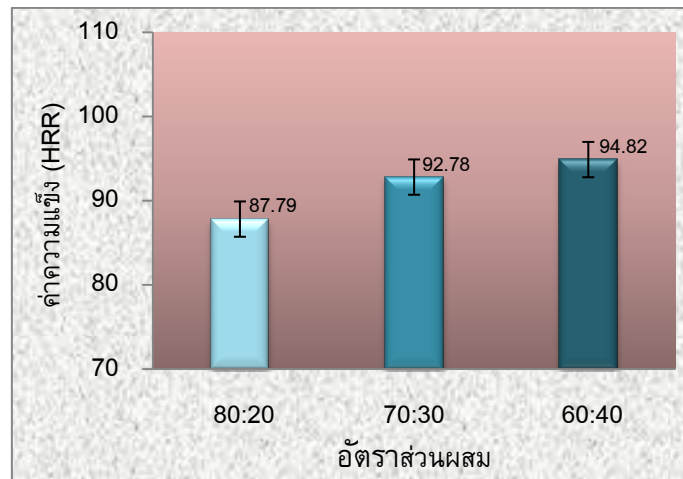
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างของสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น (MOE) กับอัตราส่วนผสม



รูปที่ 17 แผนภูมิความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การแตกหัก (MOR) กับอัตราส่วนผสม



รูปที่ 18 แผนภูมิความสัมพันธ์ของการทนแรงอัดกับอัตราส่วนผสม



รูปที่ 19 แผนภูมิความสัมพันธ์ของความแข็งแรงกับอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 16-19 จากการทดลองวัสดุเชิงประกอบ โฟม EPS รีไซเคิลผสมใยแก้วชนิดเส้นสั้น จำนวน 3 อัตราส่วนผสม พบว่าวัสดุเชิงประกอบ ในอัตราส่วน 60 : 40 มีความสามารถในการรับแรงดึง แรงอัด และความแข็งแรง มากกว่าส่วนผสมอื่นๆ เนื่องจากอัตราส่วน 60 : 40 มีการเกาะตัวของโฟม EPS รีไซเคิลกับใยแก้วในสัดส่วนที่พอดีระหว่างวัสดุที่เป็นตัวเนื้อและวัสดุที่เสริมแรงทำให้สามารถรับแรงทางกลได้ดี เมื่อทำการลดวัสดุเสริมแรงลง จะทำให้มีวัสดุเนื้อเพิ่มมากขึ้นทำให้ความแข็งแรงและความแข็งแรงลดลงเนื่องจากวัสดุเสริมแรงเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีสมบัติรับแรงต่างๆได้ดี และ มีความแข็งแรงสูง

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองวัสดุเชิงประกอบระหว่างโฟม EPS รีไซเคิลผสมใยแก้วชนิดเส้นสั้น 3 อัตราส่วนผสม คือ 80 : 20 , 70 : 30 และ 60 : 40 พบว่าในอัตราส่วนผสมที่ 60 : 40 มีคุณสมบัติทางกลที่ดีที่สุด คือ มีสมบัติการยืดหยุ่น(MOE) 2,693.40 MPa มีสมบัติการการแตกหัก(MOR) 4.38 MPa มีการต้านทานแรงอัด 128.40 MPa และ มีค่าความแข็งแรง 94.86 HRR ตามลำดับ

ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่าการนำเอาโฟม EPS รีไซเคิล มาผสมกับใยแก้วชนิดเส้นสั้น สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับโฟม EPS รีไซเคิล เพื่อเป็นวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติ ทำให้สมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบ โฟม EPS รีไซเคิลผสมใยแก้วชนิดเส้นสั้น มีค่าแปรผันเชิงเส้นตามจำนวนของส่วนผสมระหว่างโฟม EPS รีไซเคิลกับใยแก้วชนิดเส้นสั้นซึ่งเส้นใยจากการสังเคราะห์โดยส่วนผสมที่มีเส้นใยมากขึ้นในอัตราส่วนที่เหมาะสมก็จะมีสมบัติดีขึ้นในทุกๆด้านตามลำดับในจำนวนที่พอดีกับวัสดุเนื้อ ดังนั้นวัสดุเชิงประกอบนี้สามารถทนต่อการรับแรงดึงและแรงอัดได้ในระดับปานกลางตาม พทที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ที่กำหนด มอก.2683-2558 ของแผ่นไม้สังเคราะห์ ที่มีความต้านทานแรงดึงไม่น้อยกว่า 0.5 MPa และ ความยืดเมื่อขาดไม่ต่ำกว่า 40 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2558) ซึ่งสามารถที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ที่รับแรงไม่สูงมากเกินไป แต่จะเป็นการนำวัสดุโฟมที่เหลือใช้ไปและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้มากขึ้นและมีความแข็งแรงสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติ สำหรับเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อช่วยลดปัญหาปัจจุบันที่ทรัพยากรป่าไม้มีจำนวนลดลงในขณะที่ความต้องการใช้ไม้ยังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการใช้วัสดุทดแทนไม้นอกจากจะช่วยลดการใช้ทรัพยากรไม้แล้ว ยังช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมในด้านของการลดภาวะโลกร้อนได้ ประกอบกับการนำสิ่งที่เหลือใช้จากผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ทั่วไปมาทำให้มีคุณค่า เป็นวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติ ที่ช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศลดปัญหาตัดไม้ทำลายป่า นอกจากนั้นงานวิจัยนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำเอาวัสดุโฟม EPS รีไซเคิลผสมเส้นใยแก้วชนิดเส้นสั้น มาผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ดีไซน์ตามความต้องการของผู้ใช้ อีกทั้งสามารถพัฒนาการผลิตได้ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก งบประมาณ ประจำปีงบประมาณ 2560 คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

บรรณานุกรม

- American Society for Testing and Materials (ASTM) International. (1998). West Conshohocken, PA, United States. S. Lu, Q. Wu and H. S. McNabb, Chemical coupling in wood fiber and polymer composite, A review of coupling agents and treatments, Wood and Fiber Science, 2000, 32, 88-104
- Annual Book of ASTM Standards. (1990). Standard test method for flexural properties of reinforced and unreinforced plastics and electrical insulating materials ASTM C39. Vol 08. Philadelphia.
- Annual Book of ASTM Standards. (1990). Standard test method for impact resistance of plastics and electrical insulating materials ASTM. D3039. Vol. 08. Philadelphia.
- Markarian, J. (2005). Wood-Plastic composites: current trends in materials and process. Plastics Additives & Compounding, 20-25.
- คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ(รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จินตมัย สุวรรณประทีป. (2547). การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).
- ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยา, และสาโรช จิตติเกยรติพงศ์, (2537). วัสดุคอมโพสิต, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ดวงแข บุตรกุล. (2554). การผลิตคอมพาวด์วัสดุผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยธรรมชาติ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปคณะวิทยาศาสตร์ กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เกลิงศักดิ์ ทรายชู และอลงกรณ์ สงวนหล่อสิทธิ. (2545). อิทธิพลของปริมาณเส้นใยแก้วที่มีผลต่อ สมบัติเชิงกลและโครงสร้างจุลภาคของเพอไลดรีนโฟม สืบค้น. 21 มีนาคม 2560, จาก www.rubbercenter.org/researcher/narongrit.php
- ประสงค์ ก้านแก้ว. (2541). กระบวนการขึ้นรูปพลาสติก (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด.
- ปาริชาติ ยศแก้ว, อภิสิทธิ์ โฆษิตชัยยงค์ และ ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ. (2555). ผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่มีต่อสมบัติความทนต่อแรงดัด งอและความต้านทานการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบพอลิไวนิลคลอไรด์และผงไม้. สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2556). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876-2547). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ.