ศึกษาสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ผ่านการใช้งานแล้ว เมื่อเติมเถ้าแกลบเป็นสารเติมแต่ง ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์

STUDY MECHANICAL PROPERTIES OF THE USED POLYMER RICE HUSK ASH WAS ADDED AS AN ADDITIVE BY INJECTION MOLDING PROCESS

พรมวิวัฒน์ พรมเลน[1] ธีรพงษ์ ดวงทองคำ[2] สุนทร วีระเดชลิกุล[3] ณรงค์ชัย โอเจริญ[4]
Promvivat Provivat[1] Teerapong Doungthongkum[2] Soontorn Weeradeachlikul[3] Narongchai O-Charoen[4]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกล เมื่อเติมเถ้าแกลบ (RHA) เป็นสารเติมแต่งลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว (rHDPE)

จากการทำวิจัยได้ศึกษาเถ้าแกลบขนาด 300 และ 800 ไมโครเมตร ที่อัตราผสม 10 - 40% โดยน้ำหนักเป็นสารแต่งเติม เติมลงในพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว (rHDPE) ผสมด้วยวิธีการผสมแบบแห้ง (Dry blend) แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ จากผลทดสอบ พบว่า มีแนวโน้มที่จะมีสมบัติทางกลลดลงเมื่อมีการเติมเถ้าแกลบมากขึ้น แต่ก็พบว่าทำให้ค่ามอดูลัสของการต้านทานการดัดงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกันระหว่างเม็ดพลาสติกใหม่ HDPE กับเม็ดพลาสติก rHDPE พลาสติกผสมระหว่าง rHDPE และเถ้าแกลบขนาด 300 ไมโครเมตร ที่ทุกอัตราส่วนผสมและพลาสติกผสมระหว่าง rHDPE และเถ้าแกลบขนาด 800 ไมโครเมตร ที่อัตราส่วนผสมเถ้าแกลบ 10% โดยน้ำหนัก เท่ากับ 1277, 764.3, 688.5, 728, 1916, 2541 และ 933.4 MPa ตามลำดับ ส่วนค่ามอดูลัสของการต้านทานการดึงเท่ากับ 255.42, 160.5, 241.1, 234.66, 517.34, 924.96 และ 242.6 MPa ตามลำดับ

ทำให้สามารถได้ข้อสรุปจากงานวิจัยนี้ว่า การเติมเถ้าแกลบลงใน rHDPE ไม่ได้เพิ่มความสามารถทางกลให้กับงานฉีดพลาสติก แต่สามารถเพิ่มมอดูลัสให้สูงขึ้นเมื่อมีการเติมเถ้าแกลบมากขึ้น ในขณะที่ขนาดของเถ้าแกลบที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นถึง 800 ไมโครเมตร มีแนวโน้มทำให้สามารถขึ้นรูปได้ยากมากขึ้น

คำสำคัญ : เถ้าแกลบ, พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงรีไซเคิล, การขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์, การทดสอบสมบัติทางกล

[1] สาขาเทคโนโลยีแม่พิมพ์ วิทยาลัยเทคนิคปทุมธานี
[2] ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
*Corresponding Author, E-mail : promvivat.promlan@hotmail.com

Abstract

This study investigated mechanical properties using of rice husk ash (RHA) as the additive and recycled high density polyethylene (rHDPE) primary matrix.

In this research, rice husk ash of 300 and 800 µm at mix rates of 10 - 40% by weight as additive were added to used high density polyethylene (rHDPE), and it was mixed by a dry blending method, and then molded by an injection molding process. From the results of the indicated that there was a tendency to decrease mechanical properties when more rice husk ash was added. However, it showed that the modulus of bending resistance tended to increase compared to the new HDPE resin, rHDPE resin, rHDPE plastic composite and rice husk ash of 300 µm at all mix ratios and a plastic mixture of rHDPE and rice husk ash of 800 µm in size at 10% by weight of rice husk ash mixture ratio was 1277, 764.3, 688.5, 728, 1916, 1998 and 933.4 MPa, respectively. The modulus of tensile strength was 255.42, 160.5, 241.1, 234.66, 517.34, 924.96 and 242.6 MPa, respectively.

In conclusion, this study indicated that the addition of rice husk ash to rHDPE did not improve the mechanical properties in plastic injection molding but could increase the modulus with the addition of more rice husk ash. While the size of rice husk ash, as large as 800 µm, tends to make it more difficult to mold.

Keywords : Rice husk ash, Recycled high density polyethylene, Plastic injection molding, mechanical properties

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและกำลังพัฒนาไปสู่ประเทศอุตสาหกรรม จึงมีสิ่งของที่เหลือใช้จากกระบวนการทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่ถูกทิ้งไว้จำนวนมาก ซึ่งเป็นมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมพลาสติกก็มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในวงการเกษตรและอุตสาหกรรม การนำของเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้ง หรือการรีไซเคิล (Recycle) เป็นวิธีที่ดีสำหรับการลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมซึ่งประเทศไทยประสบปัญหาการจำกัดขยะพลาสติกที่เกิดจากขวดน้ำดื่มและของเหลือใช้จากกระบวนการสีข้าว จากสถิติการใช้ขวดพลาสติกสูงถึงปีละ 4,000 ล้านขวด ขวดน้ำดื่มที่วางขายอยู่ในประเทศแบ่งออกเป็นขวดใส (PET) 957 ล้านใบและขวดขุ่น (PE) 2,880 ล้านใบ โดยขวดน้ำดื่มหนึ่งขวดฝาขวดจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ขวด ฝาขวด ฉลาก และฝาขวดมีปริมาณเท่ากับ 1 ใน 3 ของขวด ขยะที่เกิดจากขวดน้ำดื่มมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นมากก่อให้เกิดมลภาวะส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม [1] และค่าประเมินปริมาณขยะพลาสติกที่ประเทศไทยปล่อยลงสู่ทะเลสูงเป็นอันดับ 5 ของโลก มีพลาสติกเพียง 5% เท่านั้นที่ถูกนำมารีไซเคิลอย่างมีประสิทธิภาพราว 10% ถูกนำมาเผากำจัด อีก 40% ถูกฝังกลบ ในขณะที่อีกกว่า 30% หรือ หนึ่งในสามถูกทิ้งอยู่ในระบบนิเวศโดยเฉพาะในทะเลและมหาสมุทร [2] อีกทั้งข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญมาก ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุด มีกำลังการผลิตข้าว ปีละประมาณ 25 ล้านตัน ในปีหนึ่ง ๆ ประเทศไทยได้แกลบจากกระบวนการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน และในแต่ละตัน (1,000 กิโลกรัม) ของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีแกลบประมาณ 200 กิโลกรัม และเมื่อนำแกลบไปเผาจะได้เถ้าแกลบ (rice husk ash) ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของแกลบหรือประมาณ 40 กิโลกรัม [3],[4]

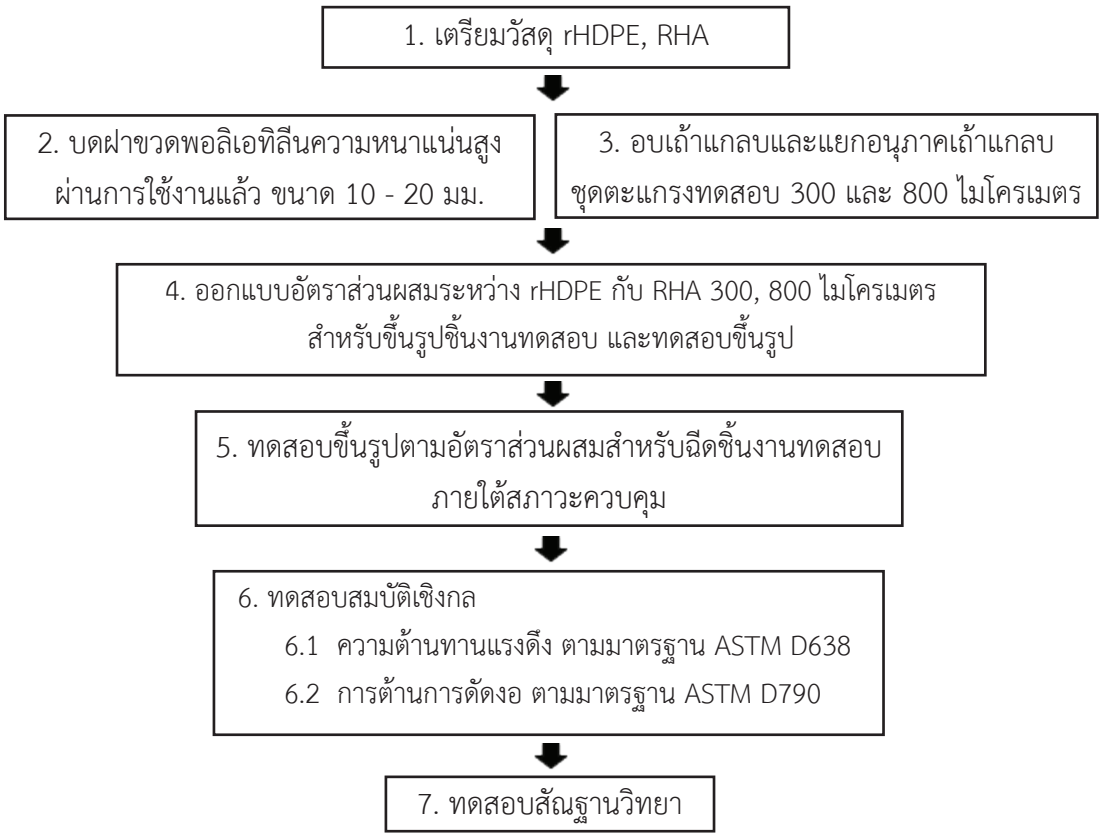
โดยในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นให้ความสนใจการศึกษาสมบัติทางกล ของฝาขวดน้ำดื่มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงผ่านการใช้งานแล้ว (Recycle High Density Polyethylene : rHDPE) ที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิลหมายเลข 2 เมื่อนำเถ้าแกลบมาผสม (Rice Husk Ash : RHA) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสมบัติทางกล เช่น การต้านทานการดัดงอ ความทนแรงดึง เพื่อเป็นแนวทางหรือเป็นทางเลือกการนำของเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมที่ผ่านการใช้งานแล้ว นำกลับมาใช้ซ้ำอีกครั้งหรือการรีไซเคิล (Recycle) ให้ได้วัตถุดิบใหม่ที่มีสมบัติทางกลเหมาะกับการใช้งานภายในอุตสาหกรรมและครัวเรือน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการนำพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงใช้งาน ผสมกับเถ้าแกลบเป็นสารเติมแต่งแล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์

2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลบางประการของพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงใช้งาน ผสมกับเถ้าแกลบเป็นสารเติมแต่ง แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



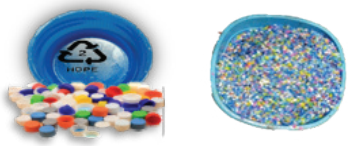
4. วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 เถ้าแกลบ (Rice Husk Ash ; RHA) ที่ผ่านการเผา นำเข้าเตาอบใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากที่ความชื้นอยู่ในช่วง 1.2-1.7 เถ้าแกลบถูกแยกขนาดด้วยด้วยเครื่องคัดแยกขนาด (Vibratory Sieve Shaker) โดยชุดตะแกรงทดสอบ (Sieve) ที่ 300, 800 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1

(a) (b) (c)

รูปที่ 1 (a) เถ้าแกลบที่ยังไม่ได้อบไล่ความชื้น (b) เถ้าแกลบที่อบไล่ความชื้นขนาด 300 ไมครอน และ (c) เถ้าแกลบที่อบไล่ความชื้นขนาด 800 ไมครอน

4.2 ฝาขวดน้ำดื่มที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิล 2 นำไปบดลดขนาด ด้วยเครื่องบดแบบโม่อัดพลาสติกซึ่งมีใบมีดอยู่ด้านในจะได้พลาสติกที่มีขนาดเฉลี่ย 10 - 20 มิลลิเมตร พลาสติกจะถูกตัดจนสามารถผ่านตะแกงความกว้างรูตะแกงมีขนาด 10 - 20 มิลลิเมตร



(a) (b)

รูปที่ 2 (a) ฝาขวดน้ำดื่มที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิล 2
(b) ฝาขวดน้ำดื่มที่ผ่านการใช้งานแล้ ที่มีสัญลักษณ์รีไซเคิล 2 บดขนาดเฉลี่ย 10 - 20 มิลลิเมตร

4.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่าง RHDPE กับ RHA (ตารางที่ 1) ผสมด้วยวิธีการผสมแบบแห้ง (Dry Blend) ต้องมีสภาวะควบคุมที่ได้จากการทดลองขึ้นรูป ให้ทุกอัตราส่วนผสมอยู่ในสภาวะควบคุมเดียวกันเพื่อการทดสอบสมบัติทางกล

อัตราส่วนผสม	RHDPE (%wt.)	RHA (%wt.)	ขนาด RHA (ไมครอน)
HOPE*	100	-	-
rHDPE	100	-	-
90:10:300	90	10	300
80:20:300	80	20	300
70:30:300	70	30	300
60:40:300	60	40	300
90:10:800	90	10	800

5. ผลการวิจัย

ชิ้นงานทดสอบ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิล (HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิลผ่านการใช้งานแล้ว (rHDPE) เป็นวัสดุหลักและเถ้าแกลบ (RHA) เป็นสารเติมแต่ง คัดแยกขนาดด้วยชุดตะแกรงลดขนาด (Sieve) ที่ขนาด 300 และ 800 ไมโครเมตร ผสมด้วยวิธีการผสมแบบแห้ง (Dry blend) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ตามอัตราส่วนผสม (ตารางที่ 1)

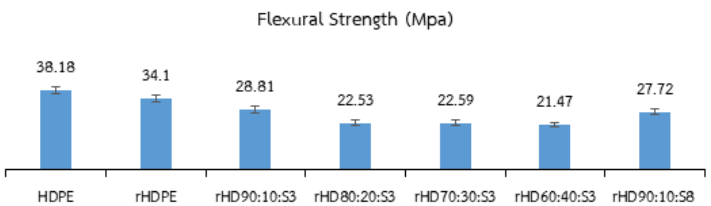
รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบรูปดัมเบลล์ และตำแหน่งรอยเชื่อมขวางในชิ้นงาน

จากรูปที่ 3 พบว่า ชิ้นงานทดสอบ HDPE มีสีขาวขุ่น rHDPE มีสีเขียวอ่อนขุ่น และชิ้นงานทดสอบที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบจะมีสีดำเพราะเถ้าแกลบผ่านการเผา และมีสีดำเข้มหรือดำอ่อนตามปริมาณอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบ

5.1 สมบัติทางกล

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลประกอบไปด้วย แรงต้านทานการดัดงอมอดุลัสแรงต้านทานการดัดงอ ความทนแรงดึง มอดุลัสความทนแรงดึง ของ HDPE, rHDPE และ rHDPE ผสม RHA ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อศึกษาอิทธิพลของ RHA ที่มีผลกระทบต่อสมบัติเชิงกล [5,6]

5.1.1 ความต้านการดัดงอ (Flexural strength)

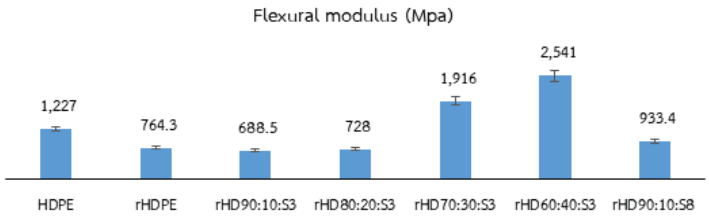


รูปที่ 4 กราฟสมบัติทางกล โดยวิธีการทดสอบความต้านทานการดัดงอ

จากรูปที่ 4 พบว่า การต้านการดัดงอของ HDPE มีค่าเท่ากับ 38.18 และ rHDPE 34.1 Mpa ค่าความต้านการดัดงอของ rHDPE ลดลงคิดเป็นร้อยละ 11% (เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ HDPE) เมื่อเติม RHA ส่งผลทำให้ค่ายังส์มอดุลัสของ rHDPE ผสม RHA ขนาด 300, 800 ไมโครเมตร ยังส์มอดุลัสมีค่าเท่ากับ 688.5, 728, 1,916, 2,541 และ 933.4 Mpa ตามลำดับ

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสม 10% ขนาด 300 ไมโครเมตร ให้ค่าความต้านทานการดัดงอสูงสุด 28.81 Mpa เพิ่มมากขึ้นกว่าอัตราส่วนผสมอื่นระหว่าง 4-25 เปอร์เซ็น เนื่องจากค่าความต้านทานการดัดงอเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ก่อนเสียรูปแบบถาวร เมื่อได้รับแรงกดจะเกิดการกระจายแรงจากวัสดุหลัก (rHDPE) ไปสู่ RHA การกระจายแรงไม่สามารถกระจายได้อย่างต่อเนื่อง เกิดจากผิวสัมผัส (Interphase) ระหว่าง rHDPE กับ RHA ไม่ดีทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายและอีกประการปริมาณ RHA มากขึ้นส่งผลให้แรงยึดเกาะของวัสดุหลักลดลง [9-13]

5.1.2 ยังส์มอดุลัส (Young's modulus)

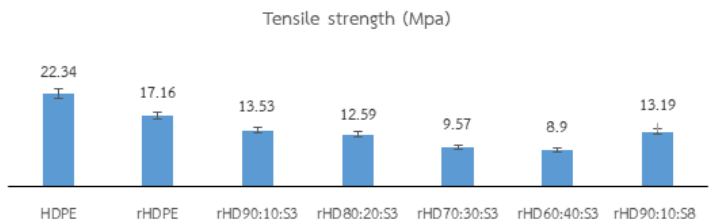


รูปที่ 5 กราฟสมบัติทางกล โดยวิธีการทดสอบยังส์มอดุลัส ของแรงต้านทานการดัดงอ

จากรูปที่ 5 พบว่า ยังส์มอดุลัสของ HDPE มีค่าเท่ากับ 1,227 และ rHDPE 764.3 Mpa ค่ายังส์มอดุลัสของ rHDPE ลดลงคิดเป็นร้อยละ 39% (เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ HDPE) เมื่อเติม RHA ส่งผลทำให้ค่าความทนแรงดึงของ rHDPE ผสม RHA ขนาด 300, 800 ไมโครเมตร เมื่อเติม RHA ส่งผลทำให้ค่าความทนแรงดึงของ rHDPE ผสม RHA ขนาด 300 ไมโครเมตร ปริมาณอัตราส่วนผสม 10, 20, 30 และ 40% โดยน้ำหนัก ความทนแรงดึงมีค่าเท่ากับ 13.53, 12.59, 9.57, 8.9 และ 13.19 ตามลำดับ

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสม 40% ขนาด 300 ไมโครเมตร ให้ค่ายังส์มอดุลัสสูงสุด 2,541 Mpa เพิ่มมากขึ้นกว่าอัตราส่วนผสมอื่นระหว่าง 25-73 เปอร์เซ็น เนื่องจากชิ้นงานทดสอบมี RHA จะเข้าไปแซกตัวอยู่ และขัดขวางการไหลของ rHDPE จนกลายเป็นความบกพร่อง (Defect) ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน สอดคล้องกับค่าความต้านทานการดัดงอ [9-13]

5.1.3 ความทนแรงดึง (Tensile strength)

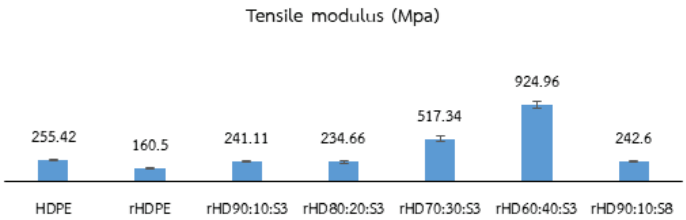


รูปที่ 6 กราฟสมบัติทางกล โดยวิธีการทดสอบความทนแรงดึง

จากรูปที่ 6 พบว่า ความทนแรงดึงของ HDPE มีค่าเท่ากับ 22.34 และ rHDPE 17.16 Mpa ความทนแรงดึงของ rHDPE ลดลงคิดเป็นร้อยละ 23% (เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ HDPE) เมื่อเติม RHA ขนาด 300, 800 ไมโครเมตร ใน rHDPE ยังส์มอดุลัสมีค่าเท่ากับ 241.11, 234.66, 517.34, 924.96 และ 242.6 Mpa ตามลำดับ

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสม 10% ขนาด 300 ไมโครเมตร ให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุด 13.53 Mpa เพิ่มมากขึ้นกว่าอัตราส่วนผสมอื่นระหว่าง 3 - 35 เปอร์เซ็น เนื่องจากที่ผิวสัมผัส (Interphase) ของ RHA จะเข้าไปแซกตัวอยู่และขัดขวางการไหลของ rHDPE จนกลายเป็นความบกพร่อง (Defect) ที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน สอดคล้องกับค่าความต้านทานการดัดงอ [9-13]

5.1.4 ยังส์มอดุลัส (Young's modulus)



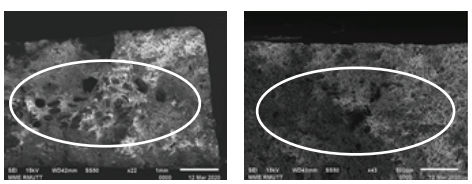
รูปที่ 7 กราฟสมบัติทางกล โดยวิธีการทดสอบยังส์มอดุลัส ของความทนแรงดึง

จากรูปที่ 7 พบว่า ยังส์มอดุลัสของ HDPE มีค่าเท่ากับ 255.42 และ rHDPE 160.5 Mpa ค่ายังส์มอดุลัสของ rHDPE ลดลงคิดเป็นร้อยละ 37% (เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ HDPE) เมื่อเติม RHA ขนาด 300, 800 ไมโครเมตร ใน rHDPE ยังส์มอดุลัสมีค่าเท่ากับ 241.11, 234.66, 517.34, 924.96 และ 242.6 Mpa ตามลำดับ

จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสม 40% ขนาด 300 ไมโครเมตร ให้ค่ายังส์มอดุลัสสูงสุด 924.96 Mpa เพิ่มมากขึ้นกว่าอัตราส่วนผสมอื่นระหว่าง 44 - 75 เปอร์เซ็น

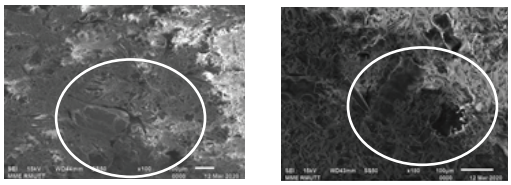
5.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

ลักษณะชิ้นงานทดสอบโดยมี rHDPE เป็นวัสดุหลักและ RHA เป็นสารเติมแต่งผสมกันด้วยวิธีการผสมแบบแห้ง (Dry blend) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ นำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการไหลและการกระจายตัวของ RHA ในเมทริกซ์ rHDPE ของชิ้นงานทดสอบที่มีอิทธิพลต่อสมบัติทางกลของพลาสติก



รูปที่ 8 ลักษณะการไหลและการกระจายตัวของ

จากรูปที่ 8 พบว่า RHA เคลื่อนที่ตามแนวทิศทางการไหลของ rHDPE อยู่บริเวณแกนกลางชิ้นงานและกระจายตัวเริ่มเกิดการเกาะกลุ่ม (Agglomerate) กระจายกันบริเวณแกนกลางเนื่องจากปริมาณ RHA เริ่มมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้การเคลื่อนที่ของ RHA บริเวณแกนกลางชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ช้าลงและเคลื่อนที่ยากขึ้นทำให้ความสามารถในการกระจายตัวใน rHDPE ไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้มีการเกาะกลุ่มเป็นกลุ่มก้อนขนาดเล็กที่บริเวณแกนกลางชิ้นงาน [7]



รูปที่ 9 ลักษณะการไหลและการกระจายตัวของ

จากรูปที่ 9 แสดงสัณฐานวิทยาของ rHDPE เมื่อเติม RHA พบว่า rHDPE เป็นวัสดุหลัก อยู่ในเฟสของเหลวและ RHA ซึ่งเป็นสารเติมแต่งอยู่ในเฟสของแข็ง จากกระบวนการข้างต้นแสดงให้เห็นว่า rHDPE กับ RHA มีความสามารถเข้ากันได้ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจาก rHDPE กับ RHA มีการหดและขยายตัวที่ไม่เท่ากัน จึงเกิดช่องว่างระหว่างผิวสัมผัส (Interphase) ระหว่าง rHDPE กับ RHA และการยึดเกาะที่ไม่ดียังทำให้ RHA หลุดออก [7]

6. การอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการนำพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้วเป็นวัสดุหลักและเถ้าแกลบเป็นสารเติมแต่ง แล้วศึกษาผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงานฉีดพลาสติก ผสมด้วยวิธีการผสมแบบแห้งแล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์

จากการวิจัย พบว่า การเติมเถ้าแกลบลงใน rHDPE ไม่ได้เพิ่มสมบัติทางกลในงานฉีดพลาสติก และสมบัติทางกลมีแนวโน้มลดลง แต่สามารถช่วยเพิ่มค่ามอดูลัสให้สูงขึ้นเมื่อมีการเติมเถ้าแกลบมากขึ้น ขณะที่ขนาดและอัตราส่วนผสมของเถ้าแกลบที่เพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มทำให้สามารถขึ้นรูปได้ยากมากขึ้น เนื่องจากลักษณะการไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ [9-13] พฤติกรรมของเถ้าแกลบที่มีแนวโน้มเกาะกลุ่มกันเมื่อมีปริมาณเถ้าแกลบเพิ่มมากขึ้น [7,8] และช่องว่างระหว่างเถ้าแกลบกับพลาสติกเกิดเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงาน

7. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

7.1 จากงานวิจัย พบว่า การปรับปรุงสมบัติทางกลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมเถ้าแกลบในปริมาณเพิ่มมากขึ้น หากต้องการนำวิจัยนี้ไปใช้งานควรมีการพิจารณาเรื่องวิธีการผสม เนื่องจากวิธีการผสมแบบแห้ง (Dry blend) ส่งผลให้การกระจายตัวของเถ้าแกลบไม่ดีและมีแนวโน้มเกาะกลุ่ม เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเถ้าแกลบ

7.2 จากงานวิจัยและการทบทวนวรรณกรรม พบว่าบริเวณผิวสัมผัส (Interphase) ระหว่างเถ้าแกลบกับพลาสติกเกิดช่องว่างและโพรงอากาศ ในการศึกษาและวิจัยครั้งต่อไปควรมีการพิจารณาเรื่องการปรับปรุงผิวของเถ้าแกลบและการเติมสานประสาน (Coupling agent)

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ไทยพลาสติก รีไซเคิล : รับซื้อและจำหน่ายพลาสติกรีไซเคิล สืบค้นจาก http://www.thaiplasticrecycle.com

[2] มูลนิธิโลกสีเขียว, สืบค้นจาก http://www.greenworld.or.th

[3] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, จักรพันธุ์ วงษ์พา และสุรพันธ์ สุคันธปรีย์. การพัฒนาเถ้าแกลบเปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 8 พ.ศ. (2545).วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์,(หน้า163-172)

[4] วิวรรณ ธรรมมงคล. [ออนไลน์]. ม.ป.ป. พลาสติกรีไซเคิล. สืบค้นจาก http://www.kan chanapisek.or.th/kp11/articles/article-2.th.html (3 กรกฎาคม 2561)

[5] นิลุบล เผือกบัวขาว. (2550). สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปโดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[6] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์. วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] ดวงแข บุตรกูล. การผลิตคอมพาวด์วัสดุผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยธรรมชาติ, การประชุมศรีนครินทรวิโรฒวิชาการครั้งที่ 5, วันที่ 17-18 มีนาคม (2554), SWU1188

[8] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม. (2553). วิศวกรรมการฉีดพลาสติก. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

[9] ประสงค์ ก้านแก้ว. การศึกษาหาอิทธิพลความหนาของ AmorphousThermoplastics ที่ส่งผลกระทบต่อ ดัชนีการไหล. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม (2557)

[10] John M. Dealy and Kurt F. Wissbrun. (1989). Melt rheology andits role in plastics processing theory and applications. New York : VAN NOSTRAND REINHOLD.

[11] Spencer, R. S. and Gilmore, G. D. Residual strains in Injection molded polystyrene. (1950). M odern Plastics. (28, 97) (Dec.1950).

[12] Tim A. Osswald, Lih-Sheng (Tom) Turng and Paul J.Gramann. (2002). Injection molding handbook. Munich Hanser.

[13] สถาพร ชาตาคม. การศึกษาหาอิทธิพลของความหนาที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางการไหลของเทอร์โมพลาสติกกลุ่ม Polyolefin. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 2 ฉบับพิเศษ (ฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี) สิงหาคม (2549)