

สมบัติเชิงกลของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง
ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอม

**Mechanical Properties of Polybutylene Succinate (PBS) Blended with Thermoplastic
Cassava Starch (TPCS) Forming by Fused Deposition Modeling (FDM)**

ฐิติพร เชี่ยวสธนกุล วิรลพัชร ธีระวิทย์¹⁾ วรารัตน์ กังสัมฤทธิ์ และ จิรวรรณ คล้อยขันธ์

Thitiporn Siawsathanakul Viranpat Teerawit Wararat Kangsumrith and Jirawan Kloypayan

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอม โดยการผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนักด้วยเครื่องผสมความเร็วสูงได้เป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลัง จากนั้นทำการผสมพอลิบิวทีลีนซัคซิเนตกับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชในอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนักด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ และทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอมที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานด้วยการทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึง ค่าความเหนียว และค่ามอดูลัสลดลง ในขณะที่อุณหภูมิของการขึ้นรูปมีผลต่อสมบัติเชิงกลเพียงเล็กน้อย

คำสำคัญ : เครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอม สมบัติทางกล พอลิบิวทีลีนซัคซิเนต แป้งมันสำปะหลัง

Abstract

This research presented the study of mechanical properties of Polybutylene succinate blended with thermoplastic cassava starch forming by fused deposition modeling. TPCS was prepared by mixing cassava starch with glycerol at the weight ratio of starch to glycerol at 70:30 using a high-speed mixer. Polymer blended were compounded by blending PBS with TPCS at the weight ratio of 100:0, 90:10, 80:20 and 70:30 using a twin-screw extruder. The blended specimens were formed by using fused deposition modeling technique at different temperatures of 170°C, 180°C and 190°C. Mechanical properties of the specimens were then examined under tensile loading at room temperature. The results indicated that the increasing amount of TPCS decreased the tensile strength, the ductility and the modulus of the blends whereas the forming temperature showed slightly effect on mechanical properties.

Keywords: Fused deposition modeling : Mechanical properties : Polybutylene succinate : Cassava starch

1. บทนำ

การใช้พลาสติกในปัจจุบันยังคงมีปริมาณที่มากแม้มีการรณรงค์เพื่อลดการใช้ ทำให้เกิดปัญหาสำคัญที่ยังคงส่งผลกระทบต่อเนื่อง นั่นคือ การย่อยสลายที่ใช้เวลานาน ทำให้เกิดการสะสมของขยะพลาสติกเป็นจำนวนมากและหากต้องการกำจัดขยะพลาสติกเหล่านี้ด้วยวิธีการเผาก็จะส่งผลให้เกิดการสะสมของมลภาวะ อันเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาพลาสติกชีวภาพ (bioplastic) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และเป็นทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุสำหรับกระบวนการขึ้นรูปด้วย

วิธีต่าง ๆ ที่สามารถตอบสนองได้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน อีกทั้งยังสามารถเร่งการย่อยสลายโดยการเติมส่วนผสมของพืชลงในพลาสติก โดยเฉพาะ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น พืชหัวอย่างมันสำปะหลัง ประกอบกับการใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องพิมพ์สามมิติด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอมหรือระบบเอฟดีเอ็มซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถสร้างชิ้นงานได้เร็วและสามารถสร้างชิ้นงานเสร็จได้ในขั้นตอนเดียวโดยไม่ต้องมีเครื่องมืออื่นมาช่วยซึ่งต่างจากการ

สร้างชิ้นงานด้วยวิธีการอื่น ชิ้นงานที่สร้างขึ้นด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอมส่วนใหญ่ทำจากวัสดุพลาสติก เช่น พอลิแลคติกแอซิด (PLA), พีบีเอส (ABS) เป็นต้น ถึงแม้ว่า PLA จะเป็นพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย แต่ยังคงนำเข้าจากต่างประเทศ

งานวิจัยนี้จึงได้นำพลาสติกชีวภาพที่ผลิตขึ้นในประเทศไทย คือ พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) มาผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่างๆ และขึ้นรูปด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอม จากนั้นนำมาตรวจสอบรูปลักษณะโดยการตรวจพินิจและทดสอบสมบัติเชิงกล

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีต้นแบบอย่างรวดเร็ว

การใช้พลาสติกร้อนเรียงตัวสร้างเป็นชิ้นงาน โดยมีส่วนที่เป็นชิ้นงานและส่วนที่รองรับทำหน้าที่ช่วยเสริมความมั่นคงของชิ้นงานในระหว่างการขึ้นรูปและถูกนำออกภายหลังการสร้างชิ้นงานสมบูรณ์ โดยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอมหรือระบบเอฟดีเอ็ม เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้การให้ความร้อนกับเส้นพลาสติกโดยส่งผ่านหัวหลอมเพื่อทำการสร้างชิ้นงานในลักษณะการโรยเรียงพลาสติกหลอมออกมาเป็นชั้น ๆ ตามข้อมูลการออกแบบที่ป้อนให้กับโปรแกรม ผิวของชิ้นงานที่ได้มีลักษณะเป็นชั้น ๆ เห็นได้ชัดเจน ความแข็งแรงที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่าสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกล เช่น ช่องว่างอากาศ, ความหนาของแต่ละชั้นหรือความหนาแน่นของเนื้อในชิ้นงาน (1) รวมทั้งประเภทของเส้นพลาสติก โดยเฉพาะวัสดุจากธรรมชาติ การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งอัตราส่วน 90:10 ถูกนำมาใช้ทดสอบการขึ้นรูปด้วยระบบเอฟดีเอ็ม (2)

2.2. แป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลัง เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยมีราคาที่ถูก การใช้มันสำปะหลังในประเทศมีน้อย ส่งผลให้ออกจำหน่ายได้มากที่สุดในโลก (3) มันสำปะหลังเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่เกิดจากกลูโคสจำนวนหลายพันโมเลกุลต่อกันเป็นสายยาวและมีกิ่งก้านสาขา มีส่วนประกอบของอะไมโลเพคติน ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส ช่วยให้สามารถรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเป็นพืชหัว ทำให้มีการคั้นตัวได้ค่อนข้างช้า หากได้รับความร้อนทำให้มีการพองตัวได้มากส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการแตกได้ และนำไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นเพิ่มเพิ่มการย่อยสลายได้ เช่น การย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนอะดิเพท-โกล-เทรฟทาเลท และเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง (4) และการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง (5)

2.3 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เป็นพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ มีแหล่งอุตสาหกรรมในประเทศไทยสามารถผลิตได้ มีลักษณะทางกายภาพเป็นเรซินสีขาวขุ่น มีความยืดหยุ่น ทนความร้อนได้สูงและสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์แทนพลาสติกทั่วไปได้ แต่ยังคงมีข้อจำกัดด้านการย่อยสลายเมื่อเทียบกับพอลิแลคติกแอซิด เนื่องจากต้องใช้เวลาย่อยสลายที่มากกว่า แต่มีจุดเด่นคือสามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้จากการผสมพอลิแลคติกแอซิด ที่ได้มาจากส่วนผสมวัสดุทางธรรมชาติซึ่งมีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น แป้งมันสำปะหลัง ในการย่อยสลายของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต, พอลิแลคติกแอซิด และแป้งมันสำปะหลัง (6)

2.4. เทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่เตรียมจากแป้ง

เทอร์โมพลาสติกสตาโรซที่เตรียมจากแป้ง เกิดจากส่วนผสมระหว่างพืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพดหรือมันสำปะหลัง โดยเปลี่ยนให้แป้งมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกได้จากการเติมพลาสติกไซเซอร์ ที่นิยมใช้คือ กลีเซอรอล เพื่อช่วยในการเชื่อมประสานระหว่างวัสดุทั้งสอง การเตรียมแป้งให้เป็นเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจะช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ของแป้งกับพลาสติกที่ผสม ทำให้สามารถผสมในปริมาณที่มากขึ้นได้

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การดึงขึ้นรูปเส้นพลาสติกจากพอลิเมอร์ผสม

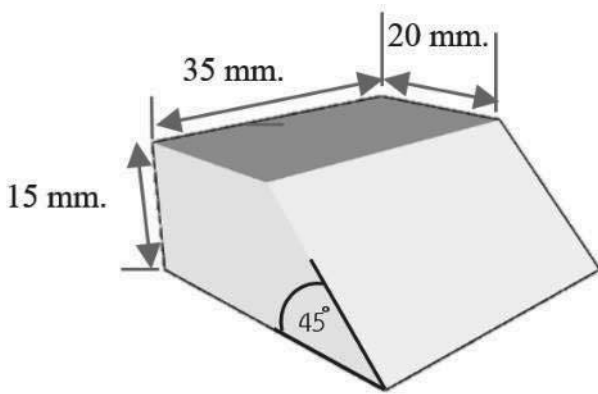
ขั้นตอนการผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เข้ากับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง และการดึงเส้นพลาสติกจากพอลิเมอร์ผสม มีดังนี้

- I. ออบพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต และแป้งมันสำปะหลัง เพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนการผสม
- II. ผสมแป้งมันสำปะหลังกับกลีเซอรอลในอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้เป็นเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง
- III. นำพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังมาผสมเข้าด้วยกันด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ ตามอัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 โดยน้ำหนัก ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ได้เส้นพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.7-1.8 มิลลิเมตร
- IV. ทดลองนำเส้นพลาสติกไปอบเพื่อหาจุดหลอมเหลวและหาอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการไหม้ด้วยตู้อบไฟฟ้าเพื่อป้องกันพลาสติกไหม้และอุดตันบริเวณหัวหลอม ซึ่งผลการอบพบว่าพลาสติกหลอมเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการไหม้เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ในอัตราส่วน 90:10 และ 80:20 เริ่มเกิดการหลอมที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และเกิดการไหม้ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ที่เวลา

2 ชั่วโมง และอัตราส่วน 70:30 ไม่เกิดการหลอมละลาย แต่เกิดการเสียรูปของเส้นพลาสติกเป็นท่อน ๆ เมื่อปริมาณเทอร์โมพลาสติกสสารจากแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นทำให้มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิลดต่ำลง

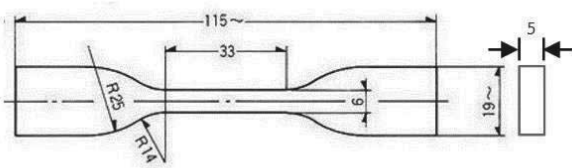
3.2 การขึ้นรูปชิ้นงาน

1. ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม SketchUp Pro 2018 นำออกสกุลไฟล์ .stl เพื่อนำไปขึ้นรูปและเพื่อความเหมาะสมต่อการวัดผลในลักษณะทางกายภาพ คือ ความเรียบผิวและรูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 1 ลักษณะและขนาดชิ้นงาน

2. ชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติทางกลเพื่อวัดค่าความต้านทานแรงดึง, ค่ามอดูลัสของยัง และค่าความเหนียว ซึ่งออกแบบด้วยโปรแกรม SketchUp Pro 2018 นำออกสกุลไฟล์ .stl โดยใช้ขนาดของชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานของสมาคมการทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Testing and Materials, ASTM) ชิ้นงานมีลักษณะ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะและขนาดของชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล ขนาดมาตรฐาน ASTM D638 type IV (หน่วย มิลลิเมตร)

3. กำหนดปัจจัยการขึ้นรูปชิ้นงาน

โปรแกรม Cura เป็น โปรแกรมที่ใช้ในการป้อนคำสั่งเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานที่ออกแบบสำหรับการตรวจพินิจและชิ้นงานคัมเบลสำหรับทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป คือ อุณหภูมิที่ใช้สำหรับการพิมพ์ชิ้นงานที่ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส โดยมีปัจจัยดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่กำหนดให้มีค่าคงที่

ปัจจัย	ค่าคงที่ที่กำหนด
ความสูงระหว่างหัวหลอมกับชิ้นงาน	0.2 มิลลิเมตร
จำนวนชั้น	3 ชั้น
บริเวณผิวงานด้านข้าง	
จำนวนชั้น	5 ชั้น
ด้านบนของชิ้นงาน	
จำนวนชั้น	4 ชั้น
ด้านล่างของชิ้นงาน	
ความเร็วในการพิมพ์	80 มิลลิเมตรต่อวินาที
ความหนาแน่นของเนื้อในชิ้นงาน	30 เปอร์เซนต์
ลักษณะของเนื้อในชิ้นงาน	กรณีชิ้นงานสี่เหลี่ยมคางหมู
	100 เปอร์เซนต์
	กรณีชิ้นงานคัมเบล
อุณหภูมิของฐาน	ซิกแซก
	60 องศาเซลเซียส
	กรณีชิ้นงานสี่เหลี่ยมคางหมู
	80 องศาเซลเซียส
	กรณีชิ้นงานคัมเบล

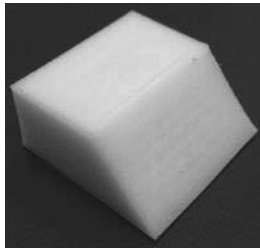
4. ทำการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการป้อนข้อมูลนำเข้าไปยังโปรแกรม Cura และตั้งค่าปัจจัยต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยมีจำนวนชิ้นงานที่ขึ้นรูปในแต่ละสัดส่วนและแต่ละอุณหภูมิอย่างละ 3 ชิ้น จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบโดยการตรวจพินิจและทดสอบสมบัติเชิงกลโดยการรับแรงดึง

4. ผลการทดลอง

ลักษณะของชิ้นงานจากการขึ้นรูปด้วยระบบเอฟดีเอ็มสำหรับทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจและการทดสอบสมบัติเชิงกล แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

4.1 ผลการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ

ผลของชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอมมีลักษณะแสดงดังตารางที่ 2 จากการทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจของชิ้นงานสี่เหลี่ยมคางหมูที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัวหลอม สรุปได้ว่าผิวของชิ้นงานที่มีลักษณะที่สมบูรณ์ คือ มีผิวที่เรียบสม่ำเสมอ มีลักษณะตรงตามทีออกแบบไว้ โดย PBS:TPCS ที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 ที่อุณหภูมิเท่ากับ 170 °C สำหรับ ผิวชิ้นงานที่มีลักษณะผิวไม่สมบูรณ์ คือ ผิวมีรอยนูน การโรยเรียงของเส้นมี



รูปที่ 3 ลักษณะชิ้นงานสำหรับการตรวจพินิจ



รูปที่ 4 ลักษณะชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล

ความไม่สม่ำเสมอของ PBS:TPCS ที่อัตราส่วน 80:20 ที่อุณหภูมิ 190 °C และที่อัตราส่วน 70:30 ที่อุณหภูมิ 180 °C กับ 190 °C

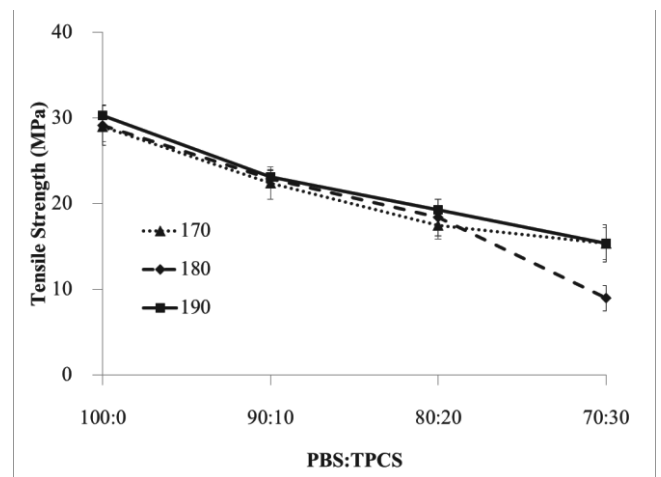
เมื่อเทียบลักษณะชิ้นงานที่ได้โดยใช้พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่อัตราส่วน 100/0 ลักษณะชิ้นงานที่อัตราส่วน 90:10 และ 80:20 ที่อุณหภูมิ 170 °C ให้ผลได้ใกล้เคียงที่สุด แต่สีของชิ้นงานมีความเหลืองมากขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของเทอร์โมพลาสติกสตาไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น

4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลจากการทดสอบสมบัติเชิงกลของชิ้นงานมาตรฐานของสมาคมการทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา ASTM D638 type IV ด้วยเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล (Universal Testing Machine) มีลักษณะดังแสดงในกราฟรูปที่ 5-7 จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อผสมเทอร์โมพลาสติกสตาไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังลงในพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตในอัตราส่วนที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าความทนแรงดึง ค่าความเหนียว และค่ามอดูลัสของ

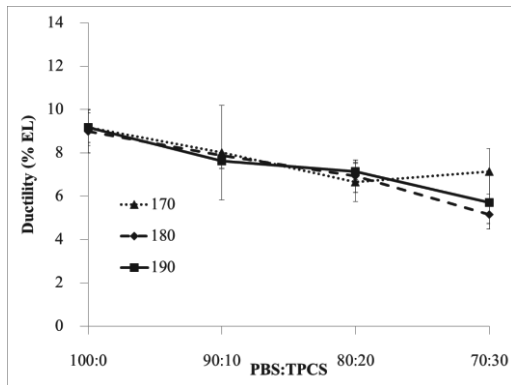
พอลิเมอร์ผสมลดต่ำลง โดยสมบัติเชิงกลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมกับเทอร์โมพลาสติกสตาไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 70:30 ให้ค่าที่ต่ำที่สุด อีกทั้งยังพบความแปรปรวนของสมบัติเชิงกลเมื่อเปรียบเทียบการขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่างๆ ในอัตราส่วน 70:30 นี้

จากผลการทดลองในส่วนของ การผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเทอร์โมพลาสติกสตาไรซ์จากแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 90:10 และ 80:20 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปด้วยเครื่องจำลองดินแบบชนิดหัวหลอมในช่วง 170-190 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อค่าความทนแรงดึง และค่าความเหนียว ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5 และ 6 ในขณะที่ค่ามอดูลัสในกราฟรูปที่ 7 พบว่าการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงที่ 190 องศาเซลเซียส ให้ค่ามอดูลัสที่สูงกว่าการขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำเล็กน้อย

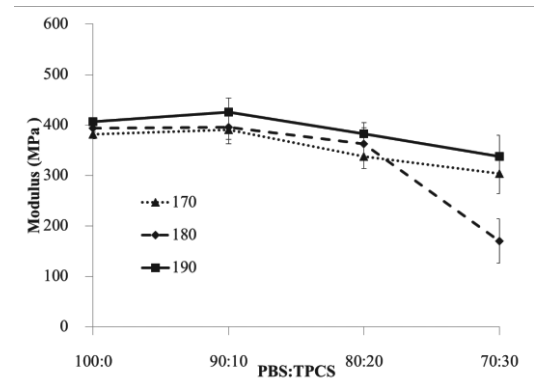


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงและสัดส่วนของ PBS:TPCS ที่อุณหภูมิต่างๆ

PBS:TPCS	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	170	180	190
100:0	สีขาวขุ่น ผิวเรียบ	ให้ผลในลักษณะเดียวกับที่อุณหภูมิ 170 °C	ให้ผลในลักษณะเดียวกับที่อุณหภูมิ 170 °C
90:10	สีขาวขุ่น ผิวเรียบ	สีขาวขุ่น ผิวเรียบบางส่วน บริเวณผิวงานด้านหน้าไม่เรียบ	ให้ผลในลักษณะเดียวกับที่อุณหภูมิ 180 °C
80:20	สีขาวอมเหลืองเล็กน้อย ผิวเรียบ	ให้ผลในลักษณะเดียวกับที่อุณหภูมิ 170 °C	สีขาวอมเหลือง ผิวเรียบ บางบริเวณมีปุ่มนูน
70:30	สีขาวอมเหลือง ผิวเรียบ บางบริเวณมีปุ่มนูน	สีขาวอมเหลือง ผิวชิ้นงานขรุขระ ไม่มีความสม่ำเสมอ	สีขาวอมเหลือง ผิวชิ้นงานขรุขระ ไม่มีความสม่ำเสมอ มีรูพรุน



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียว และสัดส่วนของ PBS:TPCS ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัส และสัดส่วนของ PBS:TPCS ที่อุณหภูมิต่างๆ

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจำลองต้นแบบชนิดหัว หลอม โดยใช้พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสม เทอร์โมพลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลัง ได้สูงสุดที่ อัตราส่วน PBS:TPCS คือ 70:30 ซึ่งเปรียบเทียบเฉพาะพอลิเมอร์ ผสมทั้ง 3 สัดส่วน ให้ผลสำหรับการทดสอบทางกายภาพด้วย โดยวิธีการตรวจพินิจ สำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะสมบูรณ์ คือ ผิว ของชิ้นงานมีความเรียบและสม่ำเสมอ อยู่ที่อัตราส่วนพอลิเมอร์ ผสม PBS:TPCS คือ 90:10 และ 80:20 ที่อุณหภูมิ 170 °C

สำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าความทนแรง ดึง ค่าความเหนียว และค่ามอดูลัสของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่า ลดลง เมื่อผสมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซลงในพอลิบิวทิลีนซัคซิ เนตในอัตราส่วนที่มากขึ้น โดยพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ไม่ได้ ผสมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ มีค่าความทนแรงดึง 30 MPa ค่า ความเหนียว 9%EL และค่ามอดูลัส 400 MPa ส่วนชิ้นงานพอลิ เมอร์ผสมที่มีค่าความทนแรงดึง ค่าความเหนียว และค่ามอดูลัส สูงที่สุด คืออัตราส่วน 90:10 โดยมีค่าความทนแรงดึง 23 MPa ค่า ความเหนียว 8%EL และค่ามอดูลัส 400-420 MPa เมื่อ เปรียบเทียบกับวัสดุที่นิยมใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่อง จำลองต้นแบบชนิดหัวหลอม เช่น พอลิแลคติกแอซิด ซึ่งมีค่า ความทนแรงดึง 42 MPa ค่าความเหนียว 2.5 %EL และค่ามอดูลัส 1,000 MPa (7) พบว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตและพอลิบิวทิลีนซัค ซิเนตที่ผสมเทอร์โมพลาสติกสตาโรซ มีค่าความเหนียวที่มากกว่า พอลิแลคติกแอซิดซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งและเปราะในลักษณะการ นำมาใช้งานสามารถผสมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตและเทอร์โม พลาสติกสตาโรซจากแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วน 90:10 ที่ อุณหภูมิ 170 °C ถึง 190 °C เนื่องจากค่าทางด้านสมบัติเชิงกลมีค่า ใกล้เคียงกัน และสามารถผสมในอัตราส่วน 80:20 เพื่อเพิ่ม ความสามารถทางด้านการย่อยสลายได้หรือใช้แทนอัตราส่วน 90:10 ได้ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 170 °C เนื่องจากมีลักษณะทาง กายภาพที่ใกล้เคียงกันมาก รวมทั้งสมบัติเชิงกลในส่วนของค่า มอดูลัส พบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงทั้ง 3 อุณหภูมิ และในส่วนของพอ

ลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 70:30 สามารถนำมาใช้ทดแทนใน อัตราส่วนอื่น ๆ ได้ เนื่องจากความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงาน สามารถทำได้ ซึ่งอาจมีลักษณะทางกายภาพหรือค่าสมบัติทางกล ที่ด้อยกว่าในอัตราส่วนอื่น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และ ข้อจำกัดในการเลือกวัสดุสำหรับสร้างชิ้นงาน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Diana P, Aurelian Z, Catalin A, Florin B, Rodica M. FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens. Politehnica U. 2018;17: 157-166.
- [2] Chansukree K. and Chow P. Fused deposition modelling of polybutylene succinate blended with cassava starch [BEng thesis]. Pathum Thani: Thammasat University; 2017.
- [3] Thai Encyclopedia for Youth by His Majesty King Bhumibol Adulyadej. History of cassava in Thailand [serial online] 2017 [cited 2019 Mar 19];1(1); Available from: URL: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=5&chap=4&page=t5-4-infodetail03.html>
- [4] Panyarueng J. Comparison of the effects of gamma radiation and electron beam on mechanical properties and degradation of polymer blends between PBAT and thermoplastic starch [MEng thesis] . Pathum Thani: Thammasat University; 2013. (In Thai).
- [5] Dechadasawat K. Comparison of the effects of gamma radiation and electron beam on mechanical properties of polymer blends between polybutylene succinate (PBS) and cassava starch [MEng thesis]. Pathum Thani: Thammasat University; 2013. (In Thai).

- [6] Srikong P. and Worathaisong S. Mechanical properties and degradation of polymer blended between polybutylene succinate (PBS), polylactic acid (PLA) and cassava starch (CS) [BEng thesis]. Pathum Thani: Thammasat University; 2017. (In Thai).
- [7] Ebel E, Sinnemann T. Fabrication of FDM 3D objects with ABS and PLA and determination of their mechanical properties. 2014;201