

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองในส่วนของพฤติกรรมการไหล อิทธิพลของสภาวะการขึ้นรูปที่มีต่อลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน อันได้แก่ จุดกำหนดตามผิวชิ้นงาน และความใสของชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน และสมบัติเชิงกลบางประการของชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด โดยทำการเปรียบเทียบกับ MDPE ที่ได้ทำการขึ้นรูปด้วยกระบวนการนี้เช่นเดียวกัน

4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมการไหล

4.1.2 ค่าดัชนีการไหล

ในส่วนของการวัดค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index; MFI) จะใช้เครื่อง CEAST รุ่น model 6542 โดยใช้น้ำหนักกดเท่ากับ 2.16 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน ASTM D1238 ตารางที่ 4.1 แสดงค่า MFI ของเม็ดพลาสติก PLA และผง PLA หลังจากบดแล้วที่ขนาด 150, 300 และ 600 μm พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับค่า MFI ของผง MDPE จะเห็นได้ว่าเม็ด PLA ชนิด 2002D มีค่าดัชนีการไหลเท่ากับ 3.9 ในขณะที่ PLA ที่ถูกบดเป็นผงแล้วจะมีค่าดัชนีการไหลสูงกว่าเล็กน้อย แต่ขนาดของผง PLA มีผลต่อสมบัติการไหลน้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย อย่างไรก็ตามค่าดัชนีการไหลของ PLA เกรด 2002D ก็ยังถือว่าอยู่ในช่วงที่น่าจะสามารถนำไปทดลองขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนได้ เนื่องจากมีค่า MFI ใกล้เคียงกับ MDPE ที่ใช้กับการขึ้นรูปแบบหมุนอยู่แล้ว

ตารางที่ 4.1 ค่า Melt Flow Index (190 °C, 2.16 kg) ของพลาสติกชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฯ

พอลิเมอร์	ค่า MFI (g/10 min) (จาก technical data sheet)	ค่า MFI (g/10 min) (จากการทดสอบ)
เม็ด PLA ก่อนบด	4-8	3.9
ผง PLA ขนาด 600 μm	N/A	4.0
ผง PLA ขนาด 300 μm	N/A	3.8
ผง PLA ขนาด 150 μm	N/A	4.2
ผง MDPE (จากผู้ผลิต)	4	4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการไหล (MFI) ของ PLA 2002D ตามสภาวะและขั้นตอนต่างๆ ในระหว่างกระบวนการอัดรีด เพื่อที่จะเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสมบัติการไหลหากต้องมีการปรับปรุง PLA ด้วยการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ จะเห็นได้ว่าเม็ด PLA (2002D) ที่ผ่านกระบวนการอัดรีดจะมีค่า MFI เพิ่มขึ้น จากเดิม 3.3 เป็น 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของความหนืดและหรือน้ำหนักโมเลกุลของ PLA ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจจะเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นกับ PLA เนื่องจาก PLA มีพันธะเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุลและความชื้นที่อาจจะตกค้างอยู่บ้างเล็กน้อยในเม็ด PLA ประกอบกับความร้อนสูงและแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอัดรีด ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวและทำให้สายโซ่โมเลกุลของ PLA สั้นลง และในกรณีของพอลิเมอร์ที่ขึ้นมาจากอ่างน้ำ (ขั้นตอนการหล่อเย็นเมื่อทำเม็ดพลาสติกผสม) การเปลี่ยนแปลงของค่า MFI เพิ่มขึ้นเป็น 5.1 ซึ่งอาจจะเป็นผลของน้ำและความชื้นประกอบกับความร้อนที่ตกค้างอยู่ในเส้นพลาสติกจากการอัดรีด (extrudate) เป็นที่น่าสังเกตว่าค่า MFI ของที่ PLA ที่ผสมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ลงไปในปริมาณเล็กน้อย (0.5 pph ด้วยจุดประสงค์เดิมคือเพื่อลดการเหนียวติดของฟิล์ม PLA ที่ได้จากการอัดรีด) จะไม่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการเย็นตัวในอ่างน้ำ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากการที่แคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมลงไปสามารถทำหน้าที่เป็นสารดูดกลืนความชื้น (water scavenger) [35,36] ส่งผลให้ความชื้นซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งในการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ PLA นั้นลดลง

ตารางที่ 4.2 ค่าดัชนีการไหล (190 °C, 2.16 kg) ของ PLA และ PLA คอมปาวด์ด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ณ สภาวะในการผลิตขั้นต่างๆ

วัสดุ	ค่า MFI (g/10นาที)		
	เม็ดพลาสติกก่อนการอัดรีด	พอลิเมอร์ที่ไหลจากเครื่องอัดรีด	พอลิเมอร์ที่อัดรีดและไหลผ่านขึ้นมาจากน้ำ
PLA	3.3	4.4	5.1
PLA+ CaCO_3	-	4.9	4.7

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการไหล (MFI) ของพอลิเมอร์คอมปาวด์กลุ่มดังกล่าว พบว่าค่า MFI ของ PLA ที่ผ่านการคอมปาวด์โดยใช้สารเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณ 0.5 ถึง 0.75 pph จะมีค่าไม่แตกต่างจาก PLA แบบปกติที่ไม่เติมสารเปอร์ออกไซด์มากนัก (ตารางที่ 4.3) ในขณะที่ PLA ที่ผ่านการคอมปาวด์ด้วยสารเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณสูง 1.0 pph จะมีการลดลงของค่าดัชนีการไหล

อย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่า PLA คอมปาวด์สูตรดังกล่าวมีความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอาจจะเกิดจากการมีโครงสร้างแบบ branching และหรือแบบ cross-linking ขึ้นในโมเลกุล PLA

ตารางที่ 4.3 ค่าดัชนีการไหล (melt flow index) ของ PLA โดยเติมสารเปอร์ออกไซด์ ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณสารเปอร์ออกไซด์ (pph)	ค่า MFI (g/10 min)
0	30.24
0.5	31.7
0.75	30.4
1.00	23.0

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสภาวะการขึ้นรูป

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้นำพอลิแลคติกแอซิดซึ่งมีอนุภาคเป็นเม็ด มาทำการบดให้เป็นผงละเอียดแล้วทำการแยกขนาด ให้ได้ตามขนาดอนุภาคที่ต้องการก่อนทำการขึ้นรูป แล้วนำไปขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆเพื่อหาสภาวะขึ้นรูปที่เหมาะสม สามารถแสดงสภาวะที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งผลการศึกษาที่ได้มีดังนี้

ตารางที่ 4.4 กลุ่มตัวอย่าง สภาวะที่ใช้ขึ้นรูป และรหัสที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่าง	รหัส	ปริมาณ (g)	ขนาดอนุภาค (μm)	อุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)	อบ ($^{\circ}\text{C}$)
ผง PLA	A	600	≥ 600	220	-
ผง PLA	B	600	300	220	-
ผง PLA	C	600	≤ 150	220	-
ผง PLA	D	600	300	220	120 (4 hr)
ผง PLA	E	700	300	220	120 (4 hr)
ผง PLA	F	600	300	250	120 (4 hr)
MDPE	G	550	-	240	-

4.2.1 ผลการสังเกตรูปร่างของชิ้นงาน

จากการขึ้นรูปด้วยสภาวะต่างๆ โดยในการศึกษาขั้นต้นเป็นการศึกษาทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโดยทั่วไป โดยใช้ปริมาณผงวัสดุที่ 600 g ขนาดอนุภาค 600 μm โดยใช้อุณหภูมิขึ้นรูปที่ 220 $^{\circ}\text{C}$ (ชิ้นงาน A) พบว่าลักษณะทางกายภาพของรูปร่างชิ้นงานที่ทำการสังเกตด้วยตาเปล่าของชิ้นงานทั้งสองนั้นมีลักษณะที่ไม่เต็มแบบชิ้นงาน มีช่องหรือรูโหว่จำนวนมาก โดยเฉพาะบริเวณแผ่นฝานบน อาจเกิดจากรอบของการหมุนที่ไม่สม่ำเสมอ และมีฟองอากาศจำนวนมากภายในชิ้นงาน ซึ่งอาจเกิดจากการที่มีความชื้นสะสมอยู่ในผงวัสดุก่อนการขึ้นรูป ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะผิวของชิ้นงาน A

จากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดของอนุภาค โดยใช้ผงวัสดุที่มีอนุภาคขนาด 150 μm (ชิ้นงาน B) และ 300 μm (ชิ้นงาน C) และใช้ปริมาณผงวัสดุ 600 g ใช้อุณหภูมิขึ้นรูป 220 $^{\circ}\text{C}$ พบว่าชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูปทั้งสองชิ้นมีลักษณะที่สมบูรณ์เพิ่มขึ้น โดยชิ้นงานที่ได้มีรูปร่างที่เต็มแบบ ยกเว้นในส่วนขอบของบริเวณแผ่นฝานบนตามขอบของชิ้นงานทั้งหมดดังกล่าวก็ยังคงไม่สมบูรณ์ รวมทั้งมีฟองอากาศอยู่ในชิ้นงานดั้งเดิม และชิ้นงานทั้งสองดังกล่าวมีลักษณะของพื้นผิวชิ้นงานที่เรียบ และดูละเอียดสวยงามกว่าขนาดอนุภาคของผง PLA ขนาด 600 μm โดยที่ชิ้นงานที่มีอนุภาคขนาด 150 μm กับขนาด 300 μm มีลักษณะรูปร่างที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และเนื่องจากปริมาณของวัสดุขนาด 150 μm มีจำนวนจำกัด ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ผงวัสดุที่มีขนาดอนุภาค 300 μm ในการขึ้นรูปตัวอย่างชิ้นงานอื่นๆ ต่อไป



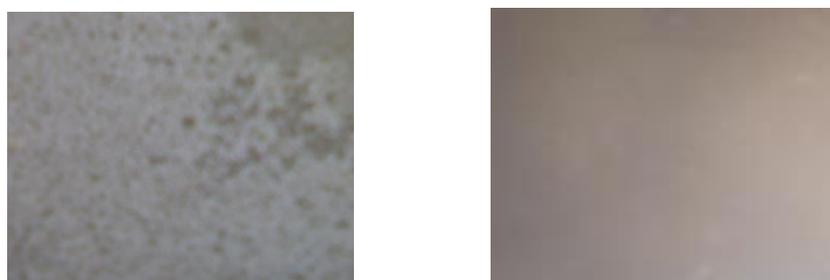
(a)

(b)

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของชิ้นงาน B และ C

(a) : ชิ้นงาน B, (b) : ชิ้นงาน C

จากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีอยู่ในผงวัสดุพบว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยผงวัสดุที่ผ่านการอบให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงก่อนการขึ้นรูปนั้นมีลักษณะที่ดีขึ้น (ชิ้นงาน D) กล่าวคือ ชิ้นงานมีฟองอากาศลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ขึ้นรูปโดยใช้ผงวัสดุที่ไม่ได้ผ่านการอบมาก่อน (ชิ้นงาน B) ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่ความชื้นที่มีอยู่ในผงวัสดุนั้นลดลงไปจำนวนหนึ่ง ดังนั้นจึงได้เลือกที่จะทำการอบผงวัสดุก่อนการขึ้นรูปในชิ้นงานอื่นๆ ต่อไป



(a)

(b)

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของชิ้นงาน B และ D

(a) : ชิ้นงาน B, (b) : ชิ้นงาน D

จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของผงวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปให้มีปริมาณมากขึ้น โดยใช้ปริมาณผงวัสดุที่ปริมาณ 700 g (ชิ้นงาน E) พบว่าชิ้นงานยังมีจุดบกพร่องตามขอบชิ้นงานและพื้นผิวของชิ้นงานในบางจุดดังเช่นชิ้นงานที่ผ่านมา ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งอาจเนื่องมาจากบริเวณขอบชิ้นงานแผ่นบนนั้นมีลักษณะที่เป็นมุมเหลี่ยมทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลเกาะตัวเข้า

ไปในแม่พิมพ์ชิ้นงานได้ยากขึ้น ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ปริมาณผงวัสดุที่ 600 g สำหรับใช้ขึ้นรูปในกระบวนการนี้



(a)



(b)

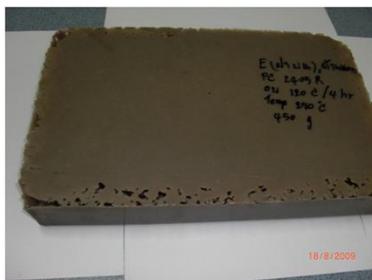
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของชิ้นงาน D และ E

(a) : ชิ้นงาน D, (b) : ชิ้นงาน E

ท้ายที่สุดในช่วงขั้นตอนของการหาสภาวะขึ้นรูปที่เหมาะสมคณะผู้วิจัยจึงพบว่าชิ้นงานตัวอย่าง D ซึ่งใช้สภาวะในการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, ขนาดของอนุภาค 300 μm , อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 220 $^{\circ}\text{C}$ และได้ทำการอบก่อนการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมงนั้นเป็นชิ้นงานที่มีลักษณะรูปร่างที่สมบูรณ์ที่สุด และมีจุดตำหนิ น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานอื่นๆ ดังนั้นจึงได้ทำการอาศัยสภาวะในการขึ้นรูปของชิ้นงาน D เพื่อใช้เป็นสภาวะในการขึ้นรูปของผลิตภัณฑ์ต่อไป

ในส่วน of ชิ้นงาน PLA ที่ทดลองขึ้นรูปด้วยการใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 250 $^{\circ}\text{C}$ โดยยังคงใช้วัสดุ 600 g และเวลาในการขึ้นรูปเท่าเดิม (ชิ้นงาน F) พบว่าชิ้นงานที่ได้มีลักษณะที่เปราะค่อนข้างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 อาจเนื่องมาจากการที่พอลิเมอร์ขึ้นรูปโดยใช้อุณหภูมิสูงขึ้น แล้วทำให้บางส่วนสายโซ่โมเลกุลถูกทำลายดังนั้นความแข็งแรงจึงลดลง

ส่วนชิ้นงานพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (ชิ้นงาน G) นั้นมีลักษณะที่สมบูรณ์กว่าชิ้นงานอื่นๆ คือ มีผิวชิ้นงานเรียบ ได้ชิ้นงานที่ความหนาสม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เนื่องจากมีความเหมาะสมสำหรับขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนอยู่โดยปกติ ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้นว่า โดยทั่วไปแล้วในปัจจุบันนี้สำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนในอุตสาหกรรมพลาสติกนั้น นิยมใช้วัสดุผงพลาสติกจากกลุ่มพอลิเอทิลีนมากที่สุด มากกว่าร้อยละ 80 [1-5]



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะชิ้นงาน F



(a)



(b)

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะผิวชิ้นงาน G (MDPE) โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงาน D (PLA)

(a) ชิ้นงาน G, (b) : ชิ้นงาน D

4.2.2 ผลการสังเกตความใสของชิ้นงาน

จากการสังเกตความใสของชิ้นงานพอลิแลคติกแอซิด เกรด 2002D ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบหมุน พบว่าชิ้นงานที่ขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆ นั้นมีความขุ่นมัวหรือมีความใสน้อยมาก ซึ่งอาจเนื่องมาจากพอลิแลคติกแอซิดโดยปกติแล้วมีสมบัติเป็นผลึกต่ำ จึงค่อนข้างโปร่งใส แต่เมื่อนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน ซึ่งมีระยะเวลาในการขึ้นรูป โดยการให้ความร้อนต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตขึ้นรูปแบบอื่นๆ ซึ่งอาจทำให้มีการสะสมของความร้อนเกิดขึ้น กล่าวคือ กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนพลาสติกจะได้รับความร้อนต่อเนื่องเป็นเวลา 20 นาที ส่วนกระบวนการอื่นๆ เช่น กระบวนการฉีดพลาสติกจะได้รับความร้อนประมาณ 10-20 วินาที ประกอบกับวัสดุพอลิแลคติกแอซิด ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็น PLA เกรดสำหรับงานอัดรีด ซึ่งอาจไม่มีความเหมาะสมกับกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน รวมถึงการหล่อเย็นนั้นใช้เวลาถึง 20 นาที และการหล่อเย็นทำด้วยวิธีการใช้พัดลมเป่า ซึ่งมีอุณหภูมิในการหล่อเย็นไม่ต่ำมากนัก การเย็นตัวของพลาสติกจึงต้องใช้เวลาานทำให้พลาสติกมี

เวลามากพอที่จะเกิดผลึกได้สูงขึ้น (ความเป็น Crystallinity สูง) และทำให้ขนาดของผลึก หรือสเฟียรูไลต์จะมีขนาดใหญ่ และเมื่อเปรียบเทียบความใสระหว่างชิ้นงานของ PLA ขนาดอนุภาค 600 μm กับชิ้นงาน PLA ขนาดอนุภาค 150 μm ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบหมุน ดังรูปที่ 4.7 พบว่าชิ้นงาน PLA ขนาดอนุภาค 150 μm นั้นมีความใสมากกว่า PLA ขนาดอนุภาค 600 μm ซึ่งอาจเนื่องมาจากขนาดอนุภาคขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการหลอม ทำให้มี thermal history มากกว่าอนุภาคขนาดเล็ก และอนุภาคขนาดเล็กหลอมได้เร็วกว่า เร็วกว่า จึงมีเลาที่จะจะตัวเป็นผลึกได้ดีกว่า ซึ่งอาจทำให้ขนาดผลึกเล็กกว่า ละเอียดกว่า ส่งผลให้ใสมากกว่าขนาดอนุภาคใหญ่ นอกจากนี้ การเคลื่อนไหวยังมีอิสระ ทำให้เกิดผลึกได้ง่ายกว่า [20] ดังนั้นชิ้นงานที่ได้จึงมีความขุ่นมัวหรือทึบแสงกว่าสำหรับพวกขนาดอนุภาคใหญ่



(a)



(b)

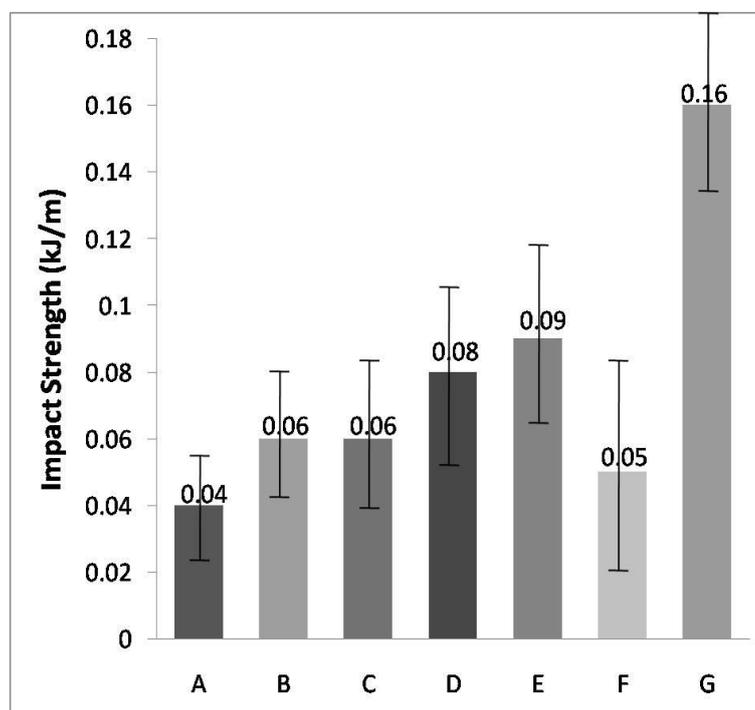
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะความใสของชิ้นงาน PLA ขนาดอนุภาคผง 150 μm และชิ้นงาน PLA ขนาดอนุภาคผง 600 μm ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วด้วยกระบวนการแบบหมุน (a) PLA 150 μm , (b) PLA 600 μm

4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการ

4.3.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบ Izod

จากการทดสอบพบว่าสมบัติการทนแรงกระแทกแบบ Impact ของผลิตภัณฑ์ของ PLA ที่ได้จากการขึ้นรูปแบบหมุน (ตัวอย่าง A-F จากตารางที่ 4.4) แสดงในภาพที่ 4.8 นั้นพบว่า ชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ค่อนข้างแข็งแต่เปราะมากทุกตัวอย่าง แตกหักได้ค่อนข้างง่าย ให้ผลการรับแรงกระแทกต่ำกว่า MDPE (ตัวอย่าง G) ในทุกกรณี ขณะที่ PLA ตัวอย่าง E ให้ค่าทนแรงกระแทกสูงสุดในกลุ่ม PLA ด้วยกัน เนื่องมาจากตัวชิ้นงานหนากว่าตัวอย่างอื่นๆจากการใช้ปริมาณผงพลาสติกขึ้นรูปมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ ส่วน PLA ที่มีขนาดอนุภาคผงพลาสติกขนาดเล็กจะมีค่าสมบัติการต้านทานแรงกระแทกสูงที่สุด (ตัวอย่าง C) เมื่อเทียบกับตัวอย่าง A และ B ใน

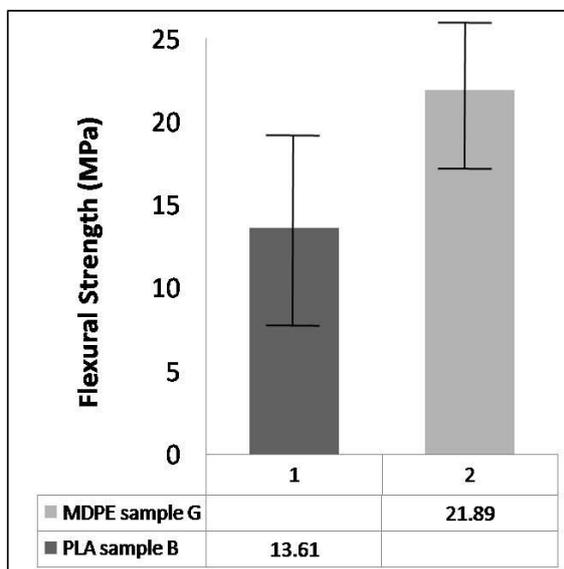
ขณะเดียวกันจะเห็นได้ว่าตัวอย่าง D กับให้ผลการทดสอบที่ดีกว่าเนื่องจากอิทธิพลของการอบไล่ความชื้นก่อนขึ้นรูป ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุให้ลดจำนวนฟองอากาศในชิ้นงานลงได้อย่างมาก สามารถยืนยันได้จากรูปที่ 4.4 ที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงการลดลงของปริมาณฟองอากาศในชิ้นงาน ส่วนตัวอย่าง F ให้ผลการทดสอบที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิขึ้นรูปสูงกว่าปกติในตัวอย่างอื่นๆถึง 30 °C ซึ่งในกระบวนการขึ้นรูปแบบนี้ วัสดุจะใช้เวลาอยู่ในแม่พิมพ์ขณะที่ให้ความร้อนค่อนข้างนานมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของวัสดุบางส่วนได้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าสมบัติต้านทานแรงกระแทกของPLA ที่แตกต่างกันด้วยขนาดอนุภาคผงการอบไล่ความชื้น อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นรูป (ตัวอย่าง A-F) และMDPE ที่ใช้เปรียบเทียบ (ตัวอย่างG)

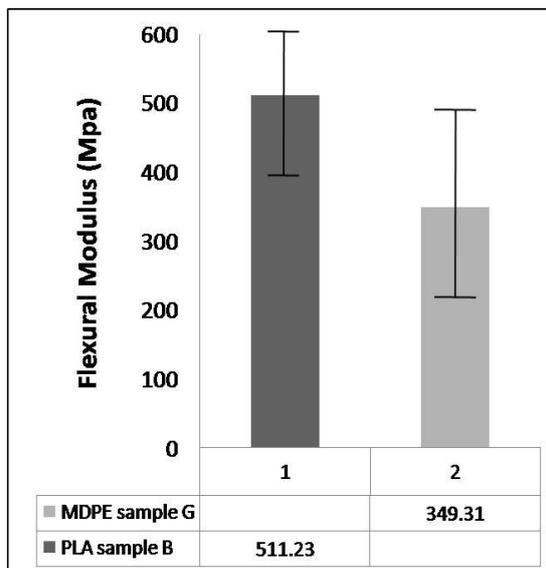
4.3.2 ผลการทดสอบความต้านทานการโค้งงอ

จากการทดสอบพบว่าสมบัติการต้านทานการโค้งงอของผลิตภัณฑ์ของ PLA ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปแบบนี้มีสมบัติต้านทานการโค้งงอที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางดังแสดงในรูปที่ 4.9 ความแข็งแรงแต่เปราะมากของ PLA ที่ได้กล่าวไปแล้วโดยมีลักษณะที่แข็งเกร็งจึงทำให้สามารถต้านทานการโค้งงอหรือแรงคดโค้งที่มากกระทำได้สูง แต่ในขณะเดียวกันนั้นก็แสดงถึงสมบัติของความเปราะที่สูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ซึ่งทำให้สามารถแตกหักได้ง่ายกว่า

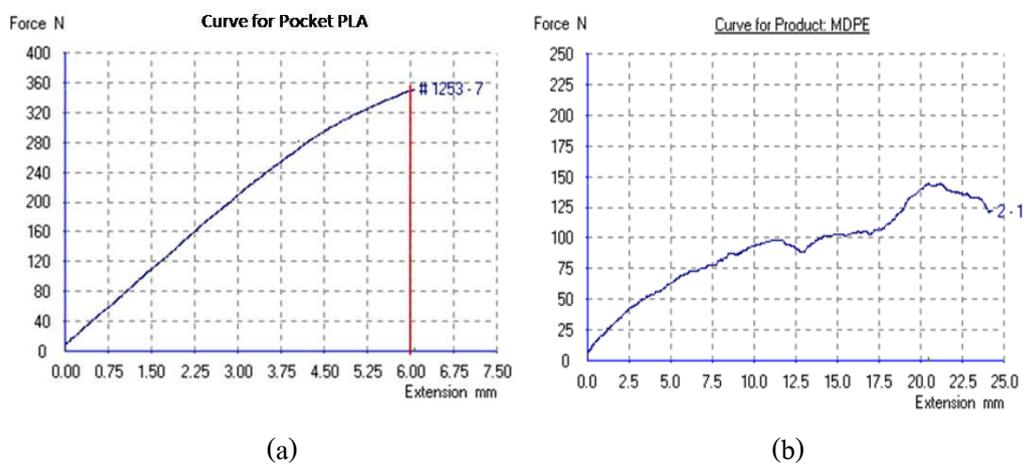


รูปที่ 4.9 แสดงสมบัติด้านทานการโค้งงอของ PLA ตัวอย่าง B และ MDPE ตัวอย่าง G

แต่ภายใต้ค่ามอดูลัสด้านทานโค้งงอที่สูงกว่าของ PLA ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และจากรูปที่ 4.11 นั้นแสดงให้เห็นได้ว่า PLA นั้นมีระยะทางที่สามารถยืดออกที่จำกัด หรือน้อยกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง กล่าวคือ มีระยะการยืดตัวที่ประมาณ 6 mm แล้วเกิดการแตกหัก ส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางสามารถยืดตัวออกได้โดยไม่เกิดการแตกหัก ซึ่งอาจเนื่องมาจาก PLA มีค่า T_g ที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ ทำให้อยู่ในสถานะคล้ายแก้ว (Glassy Stage) จึงทำให้สามารถยืดหยุ่นได้น้อยเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง ซึ่งมีค่า T_g อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ จึงทำให้อยู่ในสถานะคล้ายยาง (Rubbery Stage)



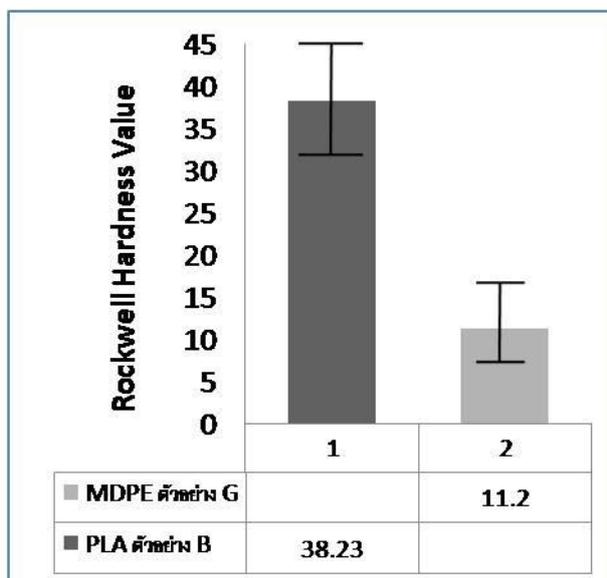
รูปที่ 4.10 แสดงค่ามอดูลัสต้านทานการโค้งงอของ PLA ตัวอย่าง B และ MDPE ตัวอย่าง G



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการยืดตัวของ (a) PLA ตัวอย่าง B และ (b) MDPE ตัวอย่าง G

4.3.2 ผลการทดสอบความแข็งของพื้นผิวแบบ Rockwell Hardness

จากการทดสอบพบว่าสมบัติความแข็งของพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ของ PLA นั้นมีค่าสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งอาจเนื่องมาจากการที่ PLA มีค่า T_g ที่ค่อนข้างสูงกว่าอุณหภูมิห้องถึง 58°C ซึ่งนับว่าสูงมากหากเทียบกับวัสดุในกลุ่มพอลิโอเลฟินส์ รวมถึงพวกตระกูลพอลิเอทิลีน ส่งผลให้มีความแข็งแต่เปราะที่อุณหภูมิห้อง ทำให้มีความแข็งต่อการกดทับลงบนพื้นผิวได้สูง ซึ่งแตกต่างกับโครงสร้างของที่ประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอน และมีโครงสร้างที่เป็นแบบเส้นตรงของ MDPE ซึ่งมีค่า T_g อยู่ในช่วงของอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ จึงทำให้ยืดหยุ่นได้ดีกว่า ดังนั้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำที่ผิวจึงทำให้ค่าความแข็งที่ผิวของ PLA ค่อนข้างสูงกว่า MDPE มาก



รูปที่ 4.12 แสดงค่าสมบัติความแข็งของพื้นผิวแบบ Rockwell Hardness ของ PLA ตัวอย่าง B และ MDPE ตัวอย่าง G