

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พอลิแคโรบอเนต (Polycarbonate, PC)	5
2.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE)	11
2.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน (Rotational Molding)	13
2.4 ระบบที่เลือกใช้ในการศึกษานี้	32
2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์	34
2.6 การทดสอบค่าดัชนีการไหล (Melt Flow Index)	37
2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา (Literature Reviews)	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	40
3.1 แผนการดำเนินงาน	40
3.2 วัสดุดิบและเครื่องมือ	41
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	45

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	50
4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมกรไหล	50
4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสภาวะการขึ้นรูป	52
4.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลบางประการ	57
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุป	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก ก	67
รูปชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปที่สภาวะต่างๆ	68
ภาคผนวก ข	79
วารสารปริทรรศน์	80
ประวัติผู้ทำวิจัย	90

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การแบ่งเกรดของพอลิเอทิลีน โดยใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์	11
2.2	แสดงอัตราส่วนของการหมุนกับรูปทรงของชิ้นงาน	34
3.1	แสดงขั้นตอนและระยะเวลาการดำเนินงาน	40
3.2	วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	41
4.1	ค่า Melt Flow Index (190 °C, 2.16 kg) ของพลาสติกชนิดต่างๆ	50
4.2	ค่าดัชนีการไหล (190 °C, 2.16 kg) ของ PLA และ PLA คอมปาวด์ ด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต ณ สภาวะในการผลิตขึ้นต่างๆ	51
4.3	ค่าดัชนีการไหล (melt flow index) ของ PLA โดยเติมสารเปอร์ ออกไซด์ ในปริมาณต่างๆ	52
4.4	กลุ่มตัวอย่าง สภาวะที่ใช้ขึ้นรูป และรหัสที่ใช้ในการทดลอง	52

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงวัฏจักรของการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด	6
2.2	แสดงสูตร โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด	7
2.3	ลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน	12
2.4	ขั้นตอนการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์หมุน	15
2.5	Open Flame Rock and Roll Machines	16
2.6	แขนแบบ Straight Arm	16
2.7	แขนแบบ Offset Arm	17
2.8	Rocking Oven Machines	18
2.9	Box Oven Machines	18
2.10	Box Oven Operation Principles	19
2.11	Shuttle-Style Machines	19
2.12	Shuttle-Style Machines Concept	20
2.13	Clamshell Rotational Molding Machines	20
2.14	3-Arm Vertical Machines	21
2.15	3-Arm Vertical Machines : Cycle Diagram (ภาพตัดด้านข้าง)	22
2.16	6-Arm Vertical Machines	22
2.17	6-Arm Vertical Machines : Cycle Diagram (ภาพตัดด้านข้าง)	22
2.18	Fixed-Arm Turret Machines	23
2.19	ลักษณะการทำงานของเครื่องแบบ Fixed-Arm Turret แบบ 3 แขน และแบบ 4 แขน	24
2.20	เครื่อง Rotational Molding แบบ Independent-Arm	25
2.21	ลักษณะการทำงานของเครื่อง Rotational Molding แบบ Independent-Arm ชนิด 4 แขน 5 สถานี	26
2.22	แสดงการวัดอุณหภูมิภายในตู้อบ และแม่พิมพ์ขณะให้ความร้อน	28
2.23	แสดงอุณหภูมิโปรไฟล์ (Profile) ของอากาศขณะให้ความร้อน	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.24	แสดงอุณหภูมิอากาศภายใน และอุณหภูมิแม่พิมพ์ขณะให้ความร้อน	30
2.25	ผลิตภัณฑ์ของการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์หมุน	31
2.26	Recirculating Hot-Air Oven Diagram	33
2.27	ลักษณะชิ้นงานทดสอบสมบัติด้านทานแรงดึง	35
2.28	ลักษณะชิ้นงานทดสอบสมบัติทนแรงกระแทก	36
2.29	ลักษณะการทดสอบความแข็งแบบ Rockwell	36
3.1	เครื่องขึ้นรูปแบบหมุน	41
3.2	เครื่องทดสอบดัชนีการไหล	42
3.3	เครื่องทดสอบสมบัติด้านทานแรงกระแทก	42
3.4	เครื่องทดสอบสมบัติด้านทานการโค้งงอ	43
3.5	เครื่องทดสอบสมบัติความแข็งแบบ Rockwell	43
3.6	เครื่องบด (Pulverizer) แบบบดละเอียด	44
3.7	เครื่องคัดแยกขนาด (Sifter)	44
3.8	ตู้อบให้ความร้อน	45
3.9	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 1	47
3.10	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 2	48
3.11	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 3	49
3.12	แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 4	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	แสดงลักษณะของชิ้นงาน A	53
4.2	แสดงลักษณะของชิ้นงาน B และ C	54
4.3	แสดงลักษณะของชิ้นงาน B และ D	54
4.4	แสดงลักษณะของชิ้นงาน D และ E	55
4.5	แสดงลักษณะชิ้นงาน F	56
4.6	แสดงลักษณะผิวชิ้นงาน G (MDPE) โดยเปรียบเทียบกับชิ้นงาน D (PLA)	56
4.7	แสดงลักษณะความใสของชิ้นงาน PLA ขนาดอนุภาคผง 150 μm และชิ้นงาน PLA ขนาดอนุภาคผง 600 μm ที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว ด้วยกระบวนการแบบหมุน	57
4.8	แสดงค่าสมบัติด้านทานแรงกระแทกของ PLA ที่แตกต่างกันด้วย ขนาดอนุภาคผง การอบไล่ความชื้น อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นรูป (ตัวอย่าง A-F) และ MDPE ที่ใช้เปรียบเทียบ (ตัวอย่าง G)	58
4.9	แสดงสมบัติด้านทานการโค้งงอของ PLA ตัวอย่าง B และ MDPE ตัวอย่าง G	59
4.10	แสดงค่ามอดูลัสด้านทานการโค้งงอของ PLA ตัวอย่าง B และ MDPE ตัวอย่าง G	60
4.11	กราฟแสดงการยืดตัวของ (a) PLA ตัวอย่าง B และ (b) MDPE ตัวอย่าง G	60
4.12	แสดงค่าสมบัติความแข็งของพื้นผิวแบบ Rockwell Hardness ของ PLA ตัวอย่าง B และ MDPE ตัวอย่าง G	61

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.1	แสดงลักษณะแผ่นฝ้าล่างของชิ้นงาน A ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, $\geq 600 \mu\text{m}$, อุณหภูมิ 220 °C	68
ก.2	แสดงลักษณะแผ่นฝ้าบนของชิ้นงาน A ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 6000 g, $\geq 600 \mu\text{m}$, อุณหภูมิ 220 °C	68
ก.3	แสดงภาพของชิ้นงาน B ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 300 μm , อุณหภูมิ 220 °C	69
ก.4	แสดงลักษณะผิวด้านนอกของชิ้นงาน B ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 300 μm และอุณหภูมิ 220 °C	69
ก.5	แสดงลักษณะผิวด้านในของชิ้นงาน B ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 300 μm และอุณหภูมิ 220 °C	70
ก.6	แสดงภาพของชิ้นงาน C ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 300 μm และอุณหภูมิ 220 °C	70
ก.7	แสดงลักษณะผิวด้านนอกของชิ้นงาน C ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 150 μm และอุณหภูมิ 220 °C	71
ก.8	แสดงลักษณะผิวด้านในของชิ้นงาน C ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 150 μm และอุณหภูมิ 220 °C	71
ก.9	แสดงภาพชิ้นงานของชิ้นงาน D ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 300 μm , อุณหภูมิ 220 °C และอบที่อุณหภูมิ 120 °C, 4 ชั่วโมง	72
ก.10	แสดงลักษณะผิวด้านนอกของชิ้นงาน D ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 300 μm , อุณหภูมิ 220 °C และอบที่อุณหภูมิ 120 °C, 4 ชั่วโมง	72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.11	แสดงลักษณะผิวด้านในของชิ้นงาน D ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อนุภาคขนาด 300 μm , อุณหภูมิ 220 $^{\circ}\text{C}$ และอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$, 4 ชั่วโมง	73
ก.12	แสดงภาพชิ้นงานของชิ้นงาน E ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 700 g, อนุภาคขนาด 300 μm , อุณหภูมิ 220 $^{\circ}\text{C}$ และอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$, 4 ชั่วโมง	73
ก.13	แสดงลักษณะผิวด้านนอก E ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 700 g, อนุภาคขนาด 300 μm , อุณหภูมิ 220 $^{\circ}\text{C}$ และอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$, 4 ชั่วโมง	74
ก.14	แสดงลักษณะผิวด้านใน E ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 700 g, อนุภาคขนาด 300 μm , อุณหภูมิ 220 $^{\circ}\text{C}$ และอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$, 4 ชั่วโมง	74
ก.15	แสดงภาพของชิ้นงาน F ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, ไม่มีการคัดขนาด, อุณหภูมิ 280 $^{\circ}\text{C}$ และอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$, 4 ชั่วโมง	75
ก.16	แสดงลักษณะผิวด้านนอกของชิ้นงาน F ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อุณหภูมิ 250 $^{\circ}\text{C}$ และอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$, 4 ชั่วโมง	75
ก.17	แสดงลักษณะผิวด้านในของชิ้นงาน F ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 600 g, อุณหภูมิ 250 $^{\circ}\text{C}$ และอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}\text{C}$, 4 ชั่วโมง	76
ก.18	แสดงภาพของชิ้นงาน G ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 500 g, อุณหภูมิ 240 $^{\circ}\text{C}$	76
ก.19	แสดงลักษณะผิวด้านนอกของชิ้นงาน G ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ปริมาณผงวัสดุ 500 g, อุณหภูมิ 240 $^{\circ}\text{C}$	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.20	แสดงลักษณะผิวในของชิ้นงาน G ที่ใช้สภาวะการขึ้นรูปที่ ปริมาณผงวัสดุ 500 g, อุณหภูมิ 240 °C	77
ก.21	แสดงลักษณะแผ่นฝาล่างของชิ้นงาน PLA ตัวอย่าง B	78