สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญตาราง	ญ
สารบาญภาพ	ฎ
อักษรย่อ	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้	1
1.1.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)	1
1.1.2 เส้นใยแก้ว (Glass Fiber)	3
1.1.2.1 ชนิดของเส้นใยแก้ว	3
1.1.2.2 รูปแบบของเส้นใยแก้ว	4
1.1.2.3 การกระจายตัวของเส้นใยในเมทริกซ์	5
1.1.2.4 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเมทริกซ์กับเส้นใย	6
1.2 การเตรียมชิ้นงาน	8
1.2.1 กรรมวิธีการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding)	8
1.2.2 กรรมวิธีการขึ้นรูปแบบกดอัด (Compression Molding)	10
1.3 การทดสอบสมบัติเชิงกล	11
1.3.1 ความทนแรงดึง (Tensile Strength)	11
1.3.2 ความแข็ง (Hardness)	13
1.3.3 ความทนแรงโค้งงอ (Flexural Strength)	15
1.3.4 ความทนแรงกระแทก (Impact Strength)	16
บทที่ 2 การทดลอง	18
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
2.2 วัสดุและสารเคมี	19
2.3 วิธีการทดลอง	25

หน้า

2.3.1 การหาอุณหภูมิในการหลอมเหลวและสมบัติทางความร้อน ของเม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง 25
2.3.2 การหาสมบัติเชิงกลบางอย่างของชิ้นงานที่มีส่วนผสมต่างๆ 25
2.3.2.1 การทดสอบค่าความทนแรงดึง (Tensile Strength) 27
2.3.2.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) 28
2.3.2.3 การทดสอบความทนแรงกระแทก (Impact Testing) 28
2.3.2.4 การทดสอบความเค้นการโค้งงอ (Flexural Testing) 29
บทที่ 3 ผลการทดลอง 31
3.1 การหาอุณหภูมิหลอมเหลว และสมบัติทางความร้อนของ เม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง 31
3.2 การหาสมบัติเชิงกลบางอย่างของชิ้นงานพลาสติกที่มีส่วนผสมต่างๆ 34
ตอนที่ 1 ชิ้นงานพลาสติกผสมระหว่างเม็ดพลาสติก PP และถุงพลาสติก PP 34
ตอนที่ 2 วัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว 50
ตอนที่ 3 วัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว 59
ตอนที่ 4 ผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม ระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 72
บทที่ 4 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 82
4.1 การหาอุณหภูมิหลอมเหลวและสมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติก และถุงพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง 82
4.2 การหาสมบัติเชิงกลบางอย่างของชิ้นทดสอบที่มีส่วนผสมต่างๆ 83
4.2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของถุงพลาสติกเมื่อเติม เม็ดพลาสติกลงไปในปริมาณต่างๆ 83
4.2.1.1 การศึกษาผลของปริมาณเม็ดพลาสติกที่เติมลง ในถุงพลาสติกต่อความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การ ยืดตัวที่จุดขาด และมอดุลัสของยัง 83

หน้า

4.2.1.2 การศึกษาผลของปริมาณเม็ดพลาสติกที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อค่าความแข็ง(Hardness) 83
4.2.1.3 การศึกษาผลของปริมาณเม็ดพลาสติกที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อความทนแรงกระแทก (Impact Strength) 83
4.2.1.4 การศึกษาผลของปริมาณเม็ดพลาสติกที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอ (Flexural Stress and Flexural Modulus) 84
4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของถุงพลาสติกเมื่อเติมเส้นใยแก้วลงไปในปริมาณต่างๆ 84
4.2.2.1 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด และมอดุลัสของยัง 84
4.2.2.2 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อค่าความแข็ง(Hardness) 85
4.2.2.3 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อความทนแรงกระแทก (Impact Strength) 85
4.2.2.4 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอ (Flexural Stress and Flexural Modulus) 85
4.2.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมเมื่อเติมเส้นใยแก้วลงไปในปริมาณต่าง ๆ 85
4.2.3.1 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในวัสดุผสมต่อความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด และมอดุลัสของยัง 85
4.2.3.2 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในวัสดุผสมต่อค่าความแข็ง (Hardness) 86
4.2.3.3 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในถุงพลาสติกต่อความทนแรงกระแทก (Impact Strength) 86

หน้า

4.2.3.4 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่เติมลงในถุงพลาสติก ต่อความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอ (Flexural Stress and Flexural Modulus) 87

4.3 การหาค่าความยาววิกฤตของเส้นใยแก้วโดยวิธี Pull - out Test 87

4.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป 88

บรรณานุกรม 90

ภาคผนวก 92

ภาคผนวก ก สมบัติของพอลิพรอพิลีนจากบริษัท TPI จำกัด 93

ภาคผนวก ข องค์ประกอบและสมบัติของเส้นใยแก้วจาก บริษัท สยามไฟเบอร์กลาส จำกัด 94

ภาคผนวก ค ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการทดสอบความทนแรงดึง ของพลาสติกผสมระหว่างถุงและเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน ที่อัตราส่วน (60:40) เติมเส้นใยแก้ว 20% 95

ประวัติผู้เขียน 96

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน	2
1.2 ค่าความแข็งร็อคเวลล์บางสเกล	15
3.1 ค่าช่วง T_m และ T_{wl} ของเม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน	31
3.2 ค่าอัตราการไหล และความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน	34
3.3 ค่าอัตราการไหล และความหนาแน่นของถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน	34
3.4 ผลการทดสอบค่าความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด และมอดุลัสของยังของพลาสติกผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก	35
3.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งของพลาสติกผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติกที่มีปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ	38
3.6 ผลการทดสอบความทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติกที่มีอัตราส่วนผสมต่าง ๆ	42
3.7 ผลการทดสอบค่าความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของพลาสติกผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติกที่อัตราส่วนต่าง ๆ	46
3.8 ผลการทดสอบค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว	50
3.9 ผลการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุผสมของถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว	51
3.10 ผลการทดสอบค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมของถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว	54
3.11 ผลการทดสอบค่าความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของวัสดุผสมของถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว	56
3.12 ผลการทดสอบค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP ผสมกับเส้นใยแก้ว	59
3.13 ผลการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP ผสมกับเส้นใยแก้ว	63
3.14 ผลการทดสอบค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP ผสมกับเส้นใยแก้ว	66
3.15 ผลการทดสอบค่าความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PPผสมกับเส้นใยแก้ว	69
3.16 การเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสมจากทฤษฎีและจากการทดลอง	81

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
1.1	การเรียงตัวของเส้นใยในพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย	5
1.2	ลักษณะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวสัมผัสของเส้นใยและเมทริกซ์	7
1.3	ลักษณะของเครื่องฉีด (Injection Molding)	9
1.4	ลักษณะของเครื่องอัด	10
1.5	ความเค้น-ความเครียด ที่ใช้ในการหาค่ามอดุลัสของยัง	13
1.6	การปฏิบัติงานของเครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์	14
1.7	การติดตั้งสำหรับการทดสอบความทนแรงโค้งงอ	16
1.8	เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก และการติดตั้งชิ้นงานบนเครื่องมือก่อนทดสอบ	17
2.1	เครื่องผสมชนิดลูกกลิ้งสองตัว (two – roll mixer)	19
2.2	เครื่องมือขึ้นรูปแบบฉีด (injection molding machine)	19
2.3	เครื่องบดพลาสติก	20
2.4	เครื่องกดอัด (hot press machine)	20
2.5	เครื่องทดสอบความทนแรงดึง (tensile testing machine)	21
2.6	เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell hardness testing machine)	21
2.7	เครื่องทดสอบความทนแรงโค้งงอ (flexural testing machine)	22
2.8	เครื่องทดสอบความทนแรงกระแทก (impact testing machine)	22
2.9	Differential Scanning Calorimeter (DSC)	23
2.10	Thermogravimetric Analyser (TGA)	23
2.11	Melt Flow Indexer	24
2.12	กล้องจุลทรรศน์พร้อมอุปกรณ์ถ่ายภาพ	24
2.13	ชิ้นงานรูปดัมเบลล์	26
2.14	ตำแหน่ง 3 ตำแหน่ง ที่ใช้ในการวัดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน	26
2.15	ชิ้นงานทดสอบความทนแรงกระแทก	26
2.16	การจับชิ้นงานเพื่อทดสอบความทนแรงดึง	27
2.17	ลักษณะของชิ้นงานเมื่อทดสอบความทนแรงดึง	28
2.18	ลักษณะชิ้นงานที่นำไปทดสอบ Pull - out Test	30

รูป หน้า

3.1 DSC Thermogram ของเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน 32
3.2 DSC Thermogram ของถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน 32
3.3 TGA Thermogram ของเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน 33
3.4 TGA Thermogram ของถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน 33
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 37
3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 37
3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 38
3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 41
3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 45
3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 49
3.11ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 49
3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP 51
3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาดกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP 51
3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว ในถุงพลาสติก PP 52
3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว ในถุงพลาสติก PP 54
3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP 56

รูป หน้า

3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP 58
3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP 58
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 61
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 61
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 62
3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมถุงพลาสติกกับเม็ดพลาสติก PP 65
3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 68
3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 71
3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP 71
3.26 เส้นใยแก้วจัดเรียงตัวไม่ต่อเนื่องแต่ค่อนข้างเป็นระเบียบแบบ 3 มิติ (กำลังขยาย 5x) 72
3.27 เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแก้วประมาณ 13 μm (กำลังขยาย 50x) 72
3.28 สัณฐานวิทยาของวัสดุผสมหลังทดสอบความทนแรงดึง (กำลังขยาย 10 x) 81

อักษรย่อ

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
ASTM	American Society for Testing and Materials
^{o}C	องศาเซลเซียส (Degree Celcius)
cm	เซนติเมตร (centimeter)
DSC	Differential Scanning Calorimitry
ft	ฟุต (foot)
g	กรัม (gram)
GPa	กิกะปาสคาล (gigapascal)
HRR	Hardness Rockwell Scale R
in	นิ้ว (inch)
J	จูล
kg	กิโลกรัม (kilogram)
kg_f	กิโลกรัมแรง (kilogram force)
lb	ปอนด์ (pound)
ml	มิลลิลิตร (milliliter)
mm	มิลลิเมตร (millimeter)
MPa	เมกะปาสคาล (Megapascal)
N	นิวตัน (Newton)
Pa	ปาสคาล (Pascal)
PP	พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)
psi	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
TGA	Thermogravimetric Analysis
T_g	อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature)
T_m	อุณหภูมิการหลอมตัวของผลึก (Crystalline melting temperature)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

อักษรย่อ

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
T_{wl}	อุณหภูมิที่เริ่มสูญเสียน้ำหนัก (weight lose temperature)
μm	ไมโครเมตร (micrometer)
%	เปอร์เซ็นต์ (Percent)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University