

บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 การหาอุณหภูมิหลอมเหลว และสมบัติทางความร้อนของเม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

ผลการทดลองหาอุณหภูมิหลอมเหลวของเม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่ใช้ในการทำชิ้นงานโดยวิธี DSC (Differential Scanning Calorimetry) แสดงดังรูป 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ผลการทดลองหาอุณหภูมิในการสลายตัวของพอลิพรอพิลีนที่เป็นเม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกโดยวิธี TGA (Thermogravimetric Analysis) แสดงดังรูป 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าช่วงอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิที่เริ่มสูญเสียน้ำหนัก (T_w) ที่หาได้จาก DSC และ TGA ของเม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกที่ทำจากพอลิพรอพิลีน

ตาราง 3.1 ค่าช่วง T_m และ T_w ของเม็ดพลาสติกและถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน

ตัวอย่าง	$T_m, ^\circ\text{C}$	$T_w, ^\circ\text{C}$
เม็ดพอลิพรอพิลีน	153.7 – 173.8 $^\circ\text{C}$	357.7 $^\circ\text{C}$
ถุงร้อนพอลิพรอพิลีน	158.0 – 178.4 $^\circ\text{C}$	268.4 $^\circ\text{C}$

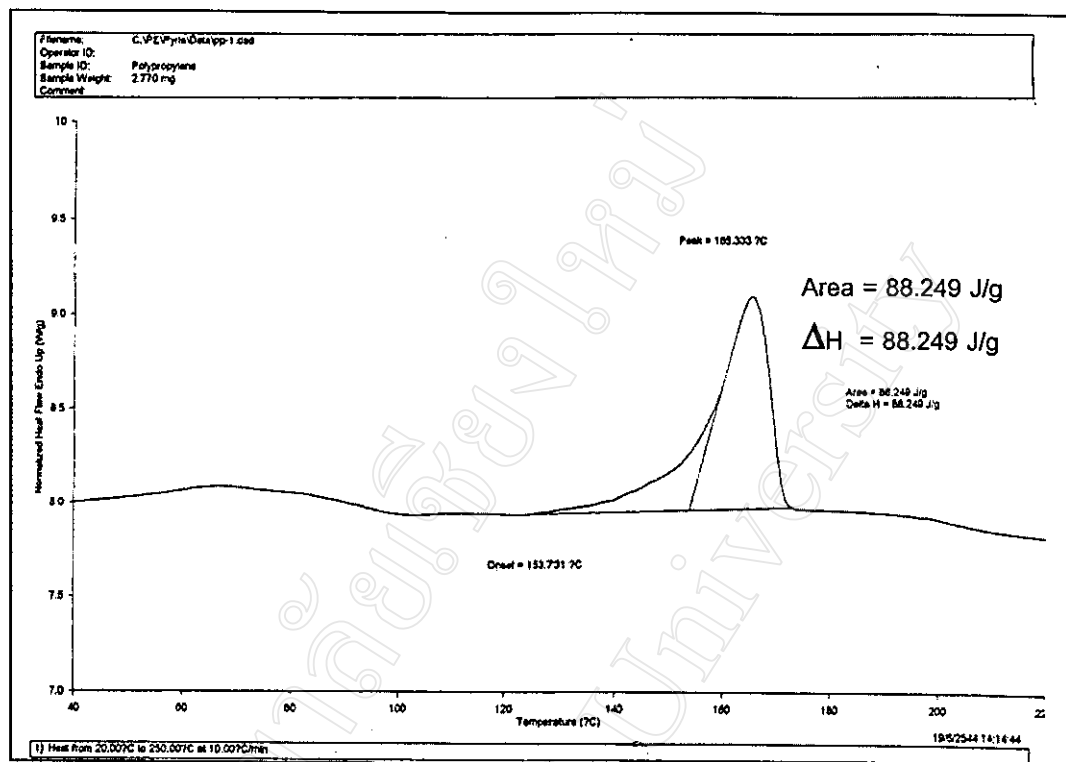
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% crystallinity) สามารถหาได้จากสมการ

$$\% \text{ crystallinity} = \frac{\Delta H_{\text{sample}}}{\Delta H_{\text{crystal}}} \times 100$$

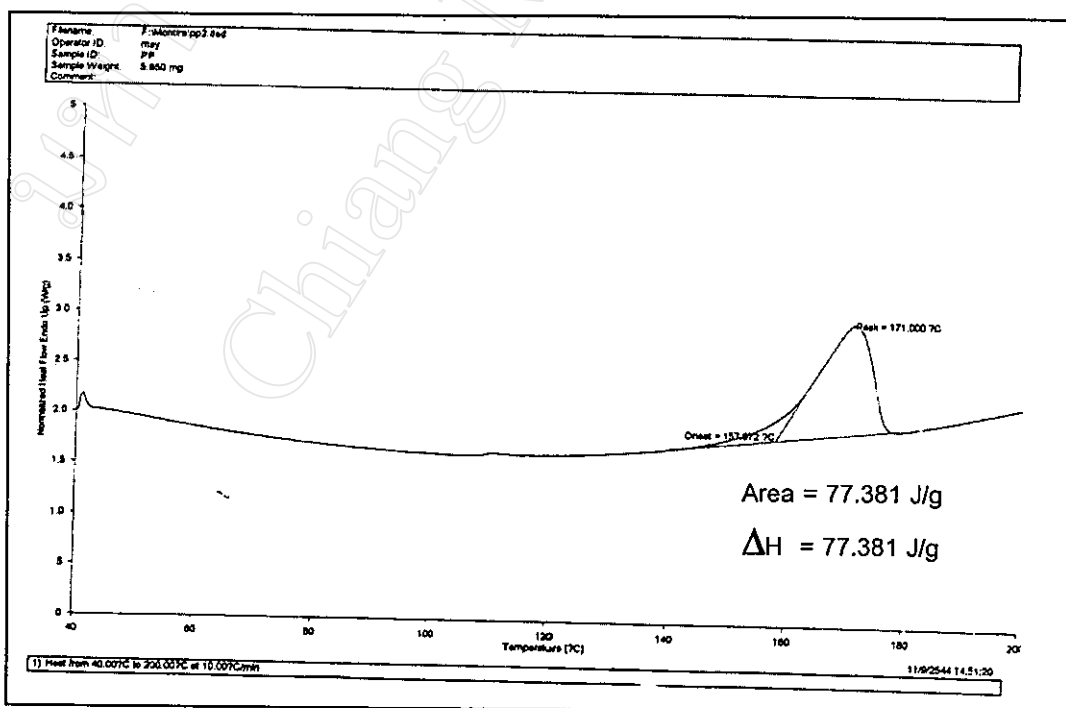
เมื่อ ΔH_{sample} = heat of fusion ของสารตัวอย่าง มีค่า 88.249 J/g สำหรับเม็ดพลาสติก
และ 77.381 J/g สำหรับถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน

$\Delta H_{\text{crystal}}$ = heat of fusion ของพอลิพรอพิลีนที่เป็นผลึก 100% มีค่า 209.3 J/g
(จากเอกสารอ้างอิง⁽²⁷⁾)

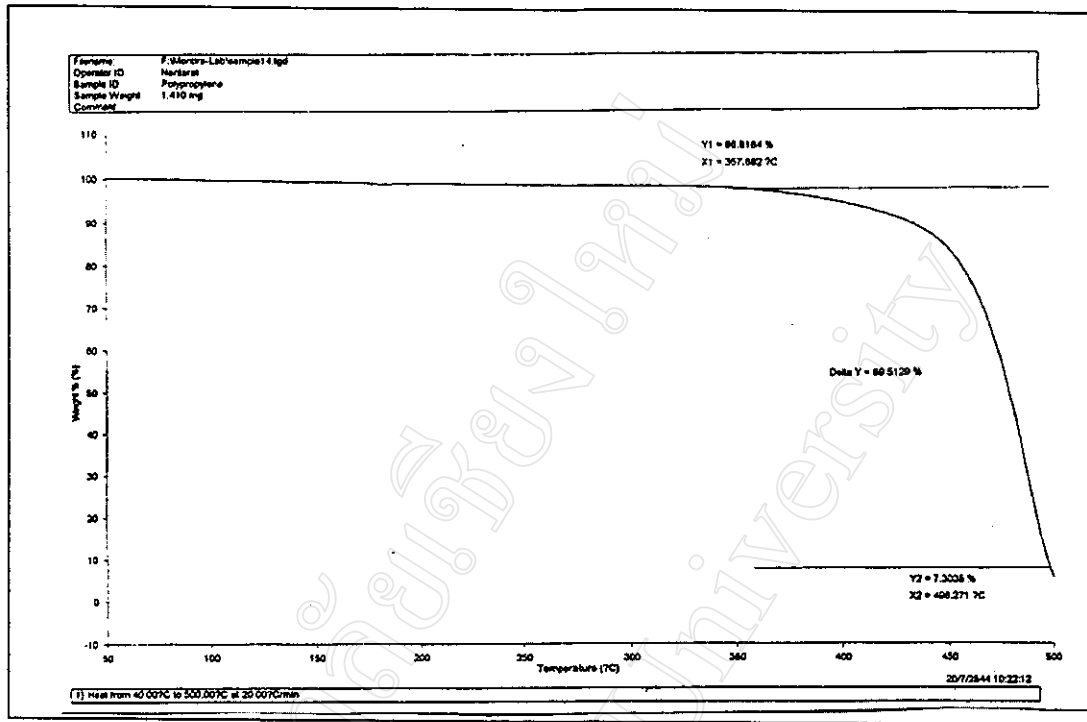
จากการคำนวณพบว่าเม็ดพลาสติกมีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก เท่ากับ 42.16 % ส่วนถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน มีค่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก เท่ากับ 36.97 %



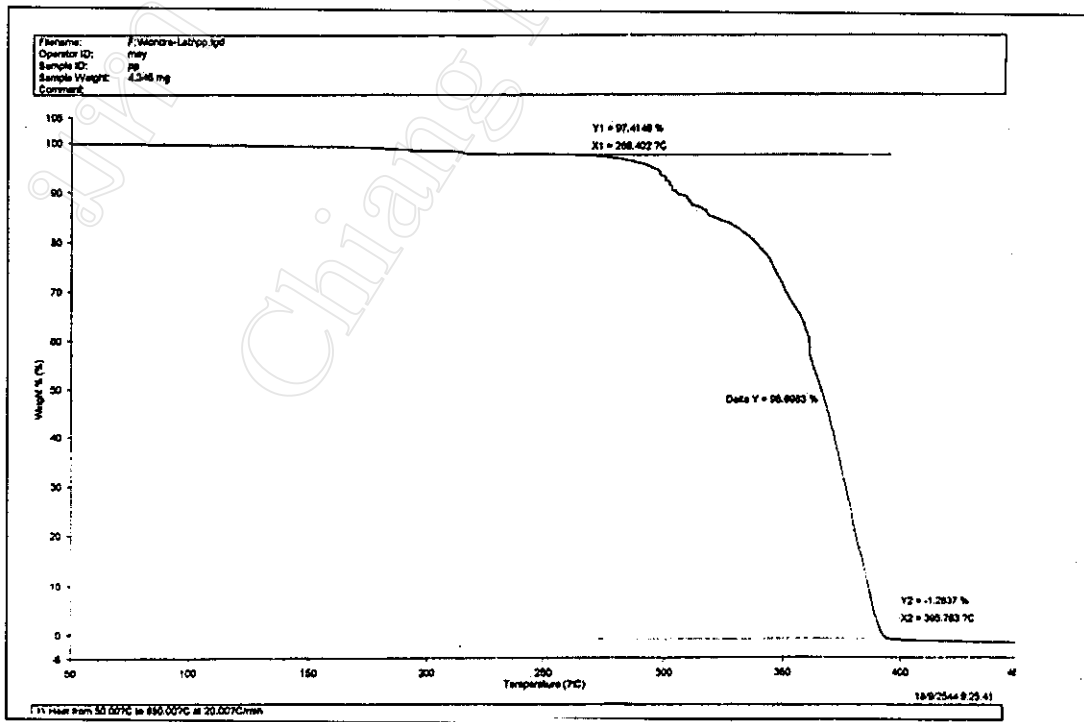
รูป 3.1 DSC Thermogram ของเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน



รูป 3.2 DSC Thermogram ของถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน



รูป 3.3 TGA Thermogram ของเม็ดพลาสติกโพลิพรอพิลีน



รูป 3.4 TGA Thermogram ของถุงพลาสติกโพลิพรอพิลีน

ผลการทดลองการหาค่าอัตราการไหล และความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกกับถุงพลาสติก พอลิพรอพิลีนขณะหลอมที่อุณหภูมิ 230 °C โดยใช้เครื่องมือ Melt Flow Indexer แสดงดังตาราง 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

ตาราง 3.2 ค่าอัตราการไหล และความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน

อุณหภูมิที่ใช้ °C	น้ำหนักที่ใช้กด (kg)	ความหนาแน่น (g/ml)	อัตราการไหล (g/10 min)
230	1.20	0.7304	6.56
230	1.20	0.7304	6.51
230	1.20	0.7304	6.53
เฉลี่ย		0.7304	6.53

ตาราง 3.3 ค่าอัตราการไหล และความหนาแน่นของถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีน

อุณหภูมิที่ใช้ °C	น้ำหนักที่ใช้กด (kg)	ความหนาแน่น (g/ml)	อัตราการไหล (g/10 min)
230	1.20	0.6866	6.37
230	1.20	0.6866	6.23
230	1.20	0.6866	6.27
เฉลี่ย		0.6866	6.29

3.2 การหาสมบัติเชิงกลบางอย่างของชิ้นงานพลาสติกที่มีส่วนผสมต่างๆ

ตอนที่ 1 ชิ้นงานพลาสติกผสมระหว่างเม็ดพลาสติก PP และถุงพลาสติก PP

ผลการทดสอบหาความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัว และค่ามอดุลัสของพลาสติกผสม ระหว่างเม็ดและถุงพลาสติกพอลิพรอพิลีนที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่างๆ แสดงดังตาราง 3.4 และ รูป 3.5-3.7

ตาราง 3.4 ผลการทดสอบค่าความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด และมอดุลัสของยัง
ของพลาสติกผสมระหว่างอูพลาสติกและเม็ดพลาสติก

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	แรงดึง สูงสุด (kg _f)	ความทน แรงดึงสูงสุด (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ยืดตัวที่จุดขาด (%)	มอดุลัส ของยัง (MPa)
0	1	16.7	26.9	16.1	160.8	129
	2	16.6	25.8	15.5	216.4	106
	3	17.3	29.3	16.9	194.2	129
	เฉลี่ย			16.2	190.5	121
10	1	16.4	27.5	16.8	208.7	125
	2	17.3	29.1	16.8	180.2	129
	3	16.3	27.2	16.7	157.8	110
	เฉลี่ย			16.8	182.2	121
20	1	17.3	30.5	17.6	160.5	102
	2	17.3	30.5	17.6	143.6	159
	3	16.2	28.3	17.5	150.9	112
	เฉลี่ย			17.6	151.7	124
30	1	17.9	33.5	18.7	98.6	102
	2	18.2	33.7	18.5	109.0	170
	3	17.7	30.9	17.5	84.9	163
	เฉลี่ย			18.2	97.5	145
40	1	17.5	30.3	17.3	108.2	144
	2	18.1	33.8	18.7	107.8	139
	3	18.7	35.1	18.8	150.8	129
	เฉลี่ย			18.3	122.3	137
50	1	18.7	31.3	16.7	150.8	135
	2	16.6	28.2	17.0	143.6	146
	3	17.6	32.5	18.5	138.1	149
	เฉลี่ย			17.4	144.2	143

ตาราง 3.4 (ต่อ)

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	แรงดึง สูงสุด (kg.)	ความทน แรงดึงสูงสุด (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ยืดตัวที่จุดขาด (%)	มอดุลัส ของยัง (MPa)
60	1	17.9	32.3	18.0	131.4	142
	2	16.0	28.3	17.7	148.5	139
	3	16.5	28.7	17.4	138.5	146
	เฉลี่ย			17.7	139.5	142
70	1	17.3	31.5	18.2	128.2	140
	2	17.3	30.0	17.3	127.1	126
	3	18.5	33.2	17.9	132.1	138
	เฉลี่ย			17.8	129.1	135
80	1	17.0	33.1	19.5	89.7	159
	2	17.3	31.9	18.4	94.7	158
	3	17.7	31.9	18.0	96.5	139
	เฉลี่ย			18.6	93.6	152
90	1	16.9	31.5	18.6	96.3	158
	2	17.2	31.6	18.4	90.6	153
	3	17.7	34.5	19.5	84.0	160
	เฉลี่ย			18.8	90.3	157
100	1	17.7	34.5	19.5	89.7	159
	2	18.1	33.5	18.5	98.7	154
	3	16.9	32.5	19.2	89.4	156
	เฉลี่ย			19.1	92.6	156

เงื่อนไข: 1. สภาพะในการฉีด

- อุณหภูมิที่ใช้ 175 °C - ความดัน 8 bar

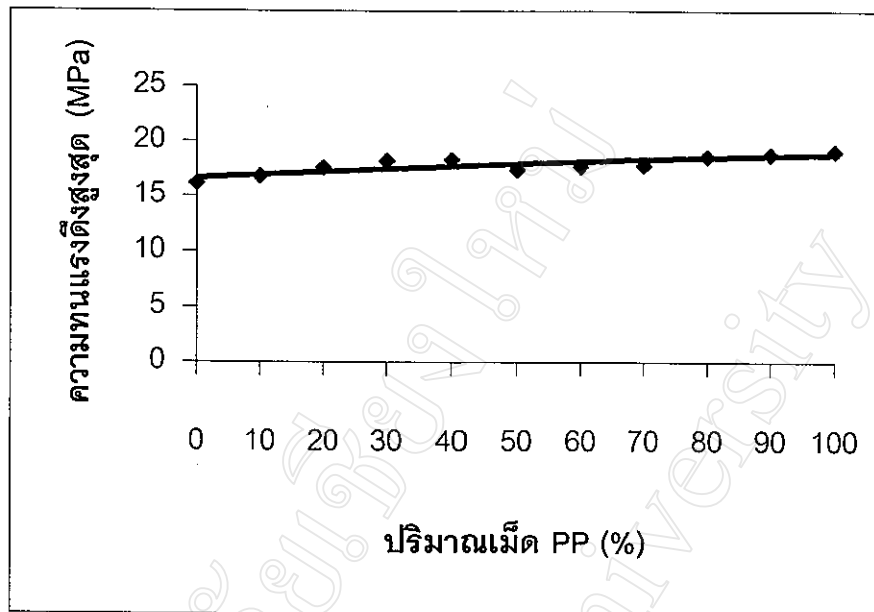
- เวลาที่ให้ความร้อนแก่พลาสติก 10 นาที/ชิ้นงาน

2. สภาพะเครื่องมือทดสอบ

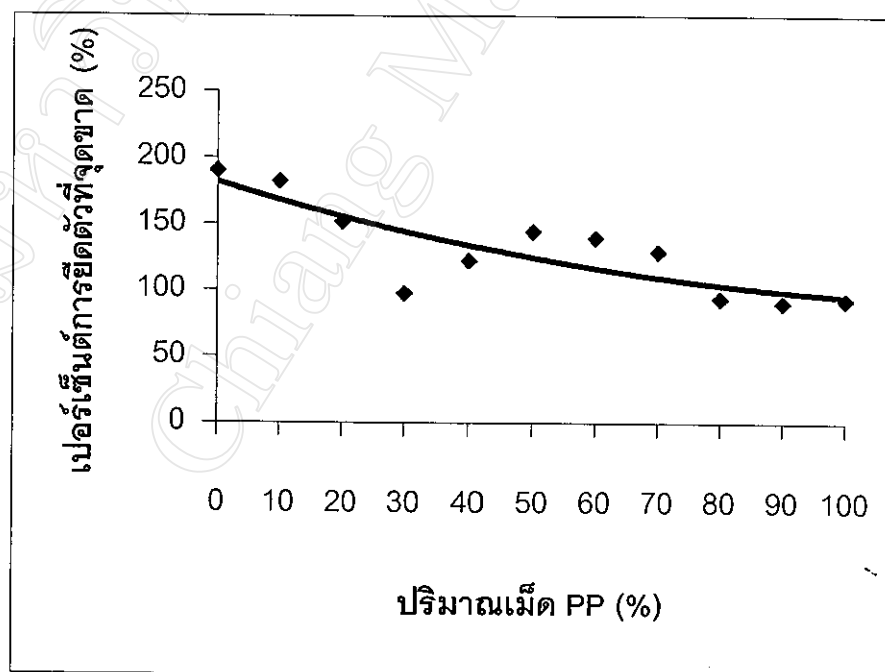
- Load cell 5 kN

- Test Speed 20 mm/min

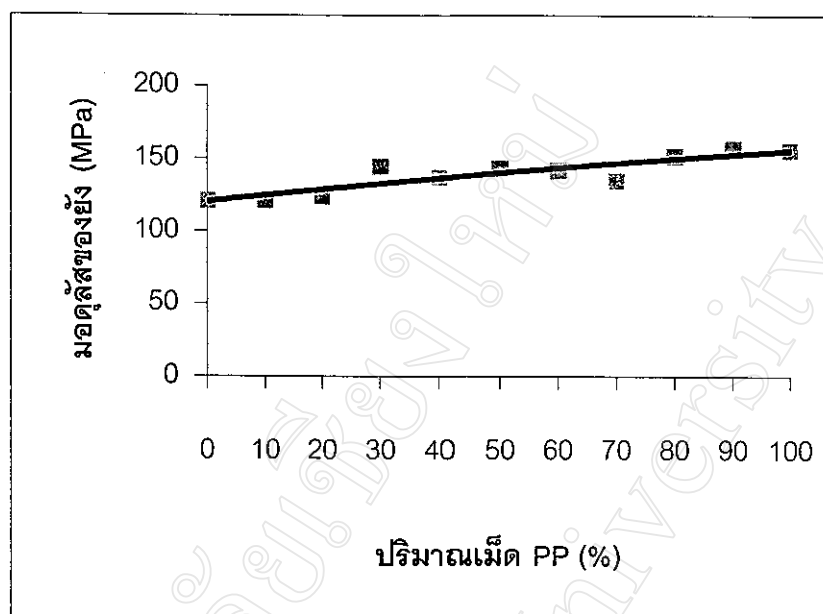
3. ความยาวเริ่มต้น (gauge length of specimen, l_0) 8.55 มิลลิเมตร



รูป 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติก และเม็ดพลาสติก PP



รูป 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่จุดขาดกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติก และเม็ดพลาสติก PP



รูป 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติก และเม็ดพลาสติก PP

ผลการทดสอบหาความแข็งแรงของพลาสติกผสมระหว่างเม็ดและถุงพลาสติกที่ทำจากพอลิพรอพิลีนที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่างๆ โดยใช้หวักดเหล็กกล้า R-scale เส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้วแรงกด 60 kg เวลาที่ใช้กด 15 วินาที ค่าที่ได้แสดงดังตาราง 3.5 และรูป 3.8

ตาราง 3.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของพลาสติกผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติกที่มีปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRR)						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
0	1	72.9	75.0	73.5	69.4	74.5	62.7	71.3
	2	70.3	69.8	72.6	75.6	71.3	73.8	72.2
	3	68.5	73.0	69.1	73.6	75.0	66.0	70.9
	4	71.8	76.6	71.1	75.7	65.2	66.2	71.1
	5	68.4	73.6	66.9	64.4	71.3	65.4	68.3
	เฉลี่ย							70.8

ตาราง 3.5 (ต่อ)

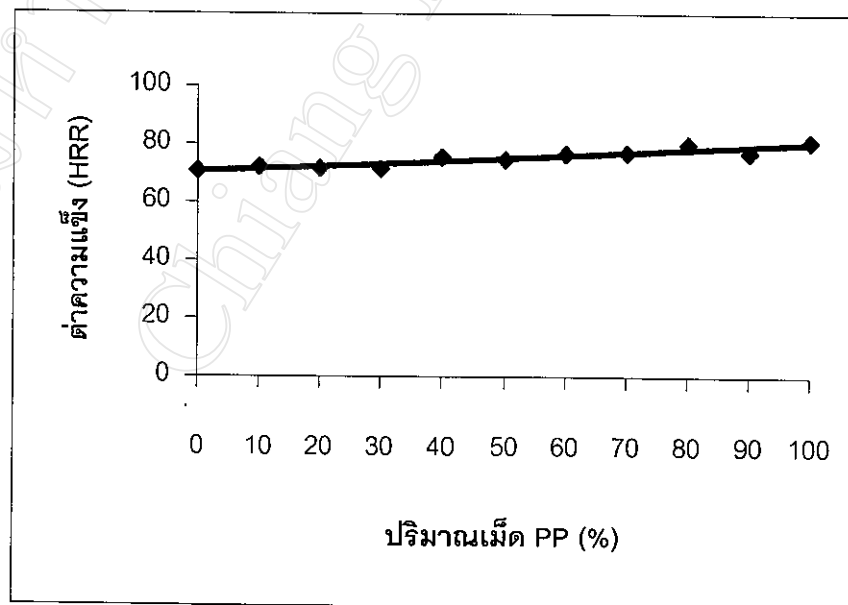
ปริมาณ เม็ด PP (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRR)						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
10	1	67.2	71.6	67.8	72.0	70.2	66.4	69.2
	2	65.4	71.6	61.0	69.9	67.2	65.6	66.8
	3	68.8	73.3	71.5	68.5	72.0	64.7	69.8
	4	74.9	78.8	78.3	76.7	79.2	77.7	77.6
	5	79.5	82.0	71.5	77.9	80.5	73.8	77.5
	เฉลี่ย							72.2
20	1	69.4	73.9	71.6	75.5	75.8	73.9	73.4
	2	74.5	72.6	71.7	62.8	64.5	75.6	70.3
	3	74.1	75.8	67.3	71.6	72.6	67.5	71.5
	4	70.7	64.4	76.8	71.7	75.9	67.3	71.1
	5	69.6	71.4	73.5	72.7	76.7	69.3	72.2
	เฉลี่ย							71.7
30	1	74.9	75.5	75.1	72.4	74.7	69.9	73.8
	2	70.6	73.4	70.5	72.5	75.4	71.2	72.3
	3	70.0	75.9	72.5	74.1	73.8	69.7	72.7
	4	68.0	74.6	69.3	68.6	72.6	68.4	70.3
	5	65.9	75.2	66.2	65.6	73.2	67.0	68.9
	เฉลี่ย							71.6
40	1	68.7	72.3	70.4	69.6	73.9	67.4	70.4
	2	70.9	76.4	74.4	70.2	68.0	65.7	70.9
	3	79.2	78.4	77.2	80.4	81.4	76.9	78.9
	4	79.5	79.1	80.9	84.1	83.4	84.2	81.9
	5	74.1	77.8	70.7	74.9	78.8	77.9	75.7
	เฉลี่ย							75.6

ตาราง 3.5 (ต่อ)

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRR)						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
50	1	72.6	79.1	76.6	73.7	73.6	73.8	74.9
	2	65.7	76.3	77.1	76.2	77.2	75.6	74.7
	3	74.6	80.5	71.9	75.9	74.4	72.8	75.0
	4	75.8	78.0	77.2	80.4	76.1	68.7	76.0
	5	77.8	73.2	66.9	78.1	71.2	73.5	73.5
	เฉลี่ย							74.8
60	1	78.9	81.4	78.9	77.2	83.3	77.7	79.6
	2	72.3	72.7	75.5	70.3	81.7	66.8	73.2
	3	82.4	79.2	81.6	77.3	81.4	67.5	78.2
	4	81.4	61.7	74.8	83.2	75.0	77.3	75.6
	5	81.9	80.4	76.5	67.9	80.4	78.3	77.6
	เฉลี่ย							76.8
70	1	76.2	75.0	71.8	80.0	78.5	80.8	77.1
	2	77.0	82.4	77.8	78.8	77.6	72.5	77.7
	3	79.9	80.3	77.7	79.5	76.2	74.8	78.1
	4	79.5	77.6	73.8	83.1	63.0	76.7	75.6
	5	73.9	74.9	80.5	75.6	81.6	75.0	76.9
	เฉลี่ย							77.1
80	1	83.0	75.6	84.5	84.8	78.1	79.4	80.9
	2	82.2	80.7	82.2	83.6	76.5	80.9	81.0
	3	78.7	78.9	69.3	77.3	81.7	73.3	76.5
	4	79.9	84.3	79.5	80.6	84.6	78.5	81.2
	5	84.2	82.3	82.5	84.9	82.3	70.7	81.2
	เฉลี่ย							80.2

ตาราง 3.5 (ต่อ)

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRR)						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
90	1	83.9	71.7	78.3	77.0	79.1	78.5	78.1
	2	79.4	73.7	78.4	79.7	86.5	62.7	76.7
	3	75.1	83.3	69.4	74.6	67.0	79.6	74.8
	4	78.0	82.1	72.4	81.0	84.1	74.3	78.7
	5	82.1	83.0	78.0	78.2	84.9	64.3	78.4
	เฉลี่ย							77.3
100	1	78.4	76.6	72.8	74.1	80.1	67.5	74.9
	2	82.5	78.1	85.1	84.1	78.2	73.1	80.2
	3	87.5	84.4	81.0	82.3	83.9	81.6	83.5
	4	81.9	86.6	87.2	83.3	82.6	81.4	83.8
	5	82.5	83.2	83.2	85.5	85.3	82.6	83.7
	เฉลี่ย							81.2



รูป 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติก PP
ในวัสดุผสมของถุงพลาสติก และเม็ดพลาสติก PP

ผลการทดสอบความทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมระหว่างเม็ดและถุงพลาสติกที่ทำจากพอลิพรอพิลีนที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่างๆ โดยใช้แรงเหวี่ยงกระแทก 2 lb ข้อมูลที่ได้แสดงดังตาราง 3.6 และรูป 3.9

ตาราง 3.6 ผลการทดสอบความทนแรงกระแทกของพลาสติกผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติกที่มีอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
0	1	132	0.605	0.100	0.505	3826	5187
	2	135	0.619	0.100	0.519	3844	5212
	3	136	0.595	0.100	0.495	3640	4935
	4	133	0.558	0.100	0.458	3444	4669
	5	134	0.625	0.100	0.525	3918	5312
	เฉลี่ย						5063
10	1	136	0.759	0.090	0.669	4919	6669
	2	138	0.549	0.090	0.459	3326	4510
	3	138	0.649	0.090	0.559	4051	5492
	4	140	0.569	0.090	0.479	3421	4639
	5	139	0.682	0.090	0.592	4259	5774
	เฉลี่ย						5417
20	1	140	0.692	0.090	0.602	4300	5830
	2	137	0.471	0.090	0.381	2781	3771
	3	135	0.610	0.090	0.52	3852	5222
	4	138	0.545	0.090	0.455	3297	4470
	5	138	0.812	0.090	0.722	5232	7093
	เฉลี่ย						5277

ตาราง 3.6 (ต่อ)

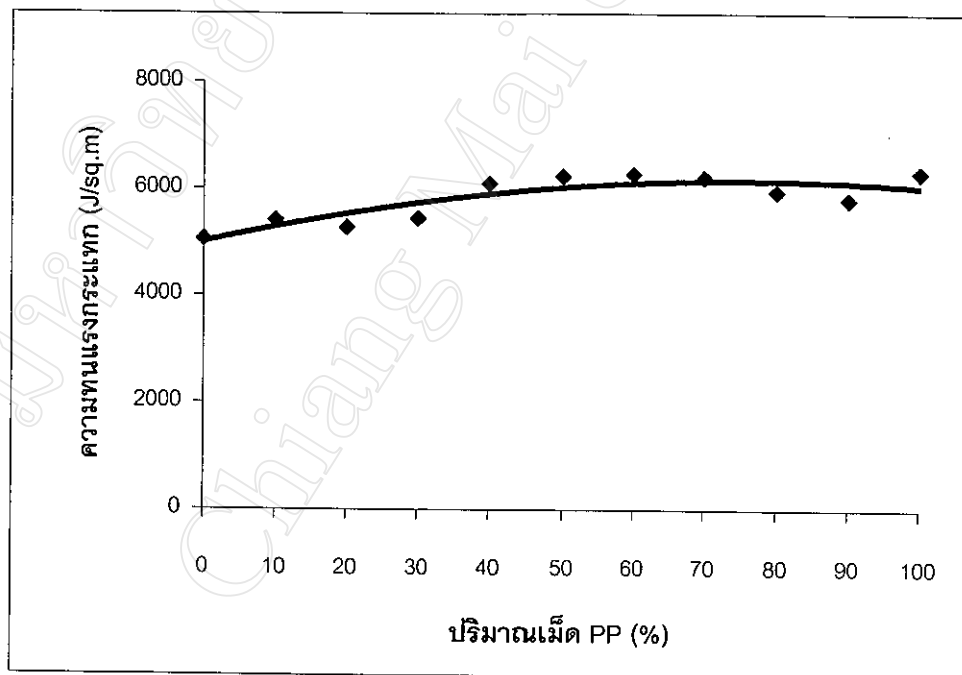
ปริมาณ เม็ด PP (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
30	1	136	0.589	0.090	0.496	3647	4945
	2	135	0.659	0.090	0.566	4193	5684
	3	139	0.632	0.090	0.539	3878	5257
	4	135	0.640	0.090	0.547	4052	5494
	5	135	0.680	0.090	0.587	4348	5895
	เฉลี่ย						5455
40	1	135	0.709	0.090	0.616	4563	6187
	2	139	0.629	0.090	0.536	3856	5228
	3	136	0.690	0.090	0.597	4390	5952
	4	136	0.755	0.090	0.662	4868	6600
	5	135	0.745	0.090	0.652	4830	6548
	เฉลี่ย						6103
50	1	140	0.692	0.090	0.599	4279	5801
	2	135	0.701	0.090	0.608	4504	6106
	3	135	0.705	0.090	0.612	4533	6146
	4	137	0.709	0.090	0.616	4496	6096
	5	138	0.812	0.090	0.719	5210	7064
	เฉลี่ย						6243

ตาราง 3.6 (ต่อ)

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
60	1	136	0.682	0.090	0.589	4331	5872
	2	137	0.740	0.090	0.647	4723	6403
	3	136	0.703	0.090	0.610	4485	6081
	4	133	0.721	0.090	0.628	4722	6402
	5	136	0.760	0.090	0.667	4904	6649
	เฉลี่ย						6282
70	1	135	0.665	0.090	0.576	4267	5785
	2	133	0.729	0.090	0.64	4812	6524
	3	140	0.684	0.090	0.595	4250	5762
	4	138	0.751	0.090	0.662	4797	6504
	5	135	0.740	0.090	0.651	4822	6538
	เฉลี่ย						6223
80	1	137	0.568	0.090	0.483	3526	4780
	2	135	0.610	0.090	0.525	3889	5273
	3	137	0.659	0.090	0.574	4190	5681
	4	135	0.705	0.090	0.620	4593	6227
	5	135	0.859	0.090	0.774	5733	7773
	เฉลี่ย						5947
90	1	137	0.555	0.090	0.470	3431	4651
	2	137	0.525	0.090	0.440	3212	4354
	3	136	0.787	0.090	0.702	5162	6998
	4	139	0.739	0.090	0.654	4705	6379
	5	134	0.783	0.090	0.653	4873	6607
	เฉลี่ย						5798

ตาราง 3.6 (ต่อ)

ปริมาณ เม็ด PP (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
100	1	137	0.630	0.090	0.545	3978	5394
	2	137	0.629	0.090	0.544	3971	5384
	3	134	0.738	0.090	0.653	4873	6607
	4	135	0.859	0.090	0.774	5733	7773
	5	139	0.739	0.090	0.654	4705	6379
	เฉลี่ย						6307



รูป 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ
เม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติก และเม็ดพลาสติก PP

ผลการทดสอบหาความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของพลาสติกผสมระหว่าง
เม็ดและถุงพลาสติกที่ทำจากพอลิพรอพิลีนที่เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่างๆ แสดงดังตาราง 3.7 และ
รูป 3.10

ตาราง 3.7 ผลการทดสอบค่าความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของพลาสติกผสม
ระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติกที่อัตราส่วนต่าง ๆ

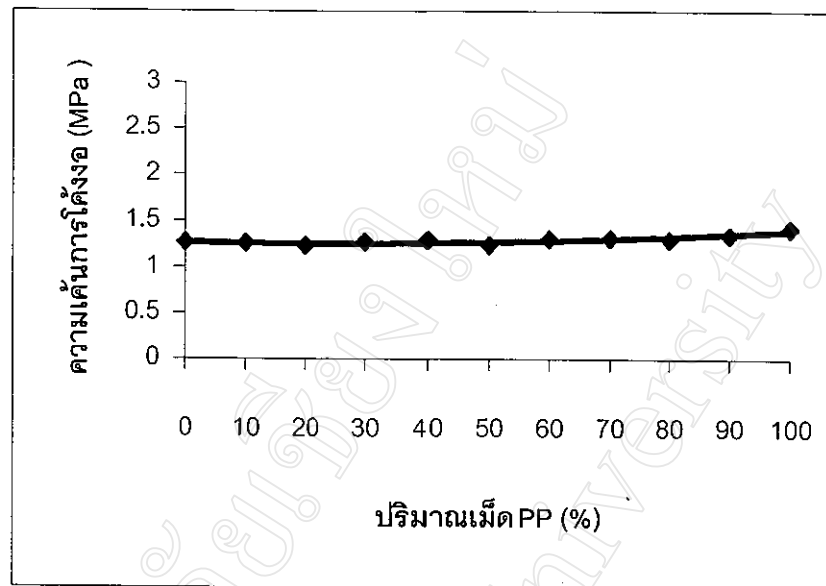
ปริมาณเม็ด PP (%)	ทดสอบ ครั้งที่	ความเค้นการโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)
0	1	1.262	345.0
	2	1.296	362.8
	3	1.268	352.0
	4	1.240	346.8
	5	1.260	355.6
	เฉลี่ย	1.265	352.4
10	1	1.214	330.4
	2	1.273	364.8
	3	1.270	360.6
	4	1.283	369.3
	5	1.234	342.3
	เฉลี่ย	1.255	353.5
20	1	1.243	337.5
	2	1.222	344.4
	3	1.251	339.8
	4	1.215	336.3
	5	1.215	333.7
	เฉลี่ย	1.229	338.3
30	1	1.283	373.3
	2	1.291	364.5
	3	1.287	376.2
	4	1.256	351.3
	5	1.235	344.8
	เฉลี่ย	1.270	362.0

ตาราง 3.7 (ต่อ)

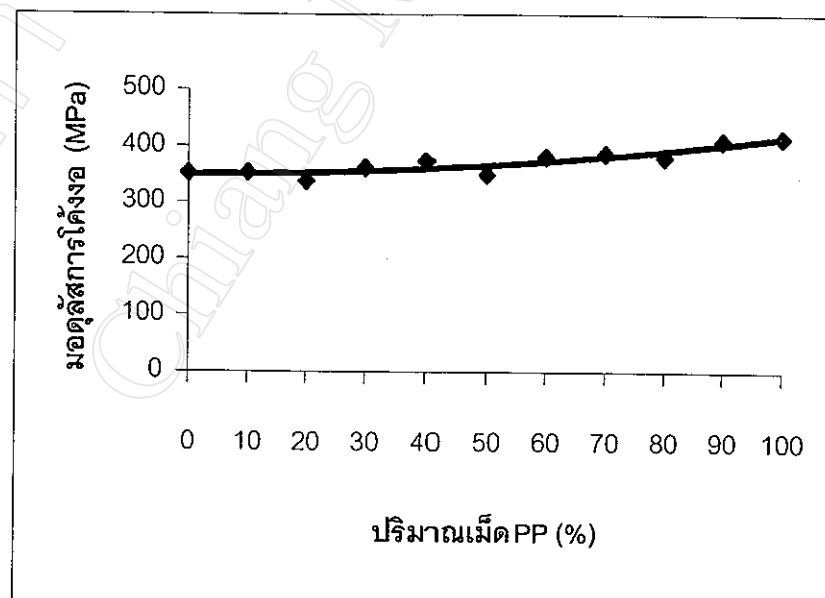
ปริมาณเม็ด PP (%)	ทดสอบ ครั้งที่	ความเค้นการโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)
40	1	1.302	371.6
	2	1.291	375.8
	3	1.297	380.7
	4	1.294	375.6
	5	1.268	367.7
	เฉลี่ย	1.290	374.3
50	1	1.253	374.3
	2	1.250	350.3
	3	1.217	331.3
	4	1.228	345.1
	5	1.232	348.6
	เฉลี่ย	1.236	349.9
60	1	1.294	379.3
	2	1.283	376.9
	3	1.232	350.6
	4	1.311	381.7
	5	1.396	420.6
	เฉลี่ย	1.303	381.8
70	1	1.334	397.7
	2	1.305	365.7
	3	1.300	376.7
	4	1.330	407.2
	5	1.290	387.6
	เฉลี่ย	1.312	387.0

ตาราง 3.7 (ต่อ)

ปริมาณเม็ด PP (%)	ทดสอบ ครั้งที่	ความเค้นการโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)
80	1	1.262	363.5
	2	1.300	387.1
	3	1.328	398.5
	4	1.300	382.3
	5	1.283	371.9
	เฉลี่ย	1.295	380.7
90	1	1.362	418.0
	2	1.334	407.8
	3	1.351	418.3
	4	1.335	394.3
	5	1.347	413.2
	เฉลี่ย	1.346	410.3
100	1	1.430	427.9
	2	1.392	421.5
	3	1.306	302.9
	4	1.509	486.1
	5	1.445	441.5
	เฉลี่ย	1.416	416.0



รูป 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติก และเม็ดพลาสติก PP



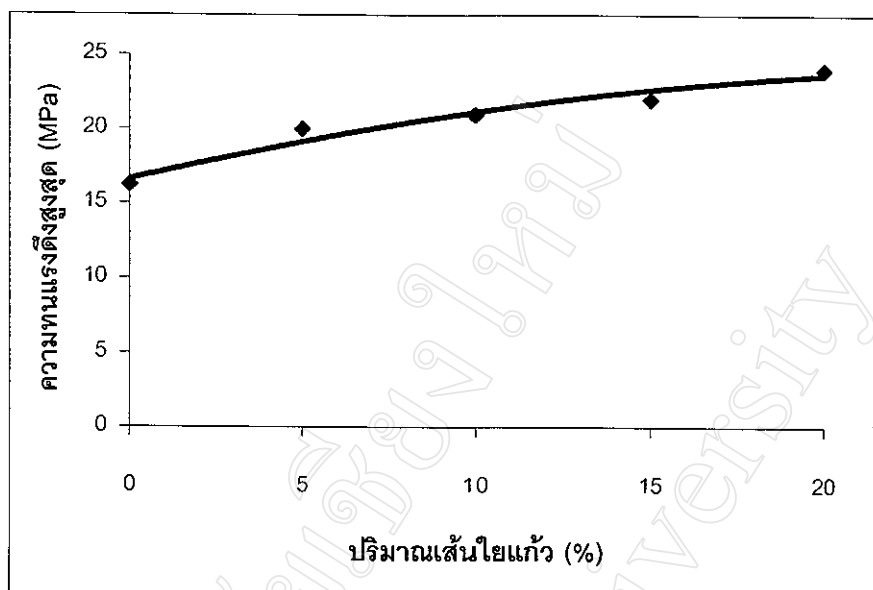
รูป 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดพลาสติก PP ในวัสดุผสมของถุงพลาสติก และเม็ดพลาสติก PP

ตอนที่ 2 วัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว

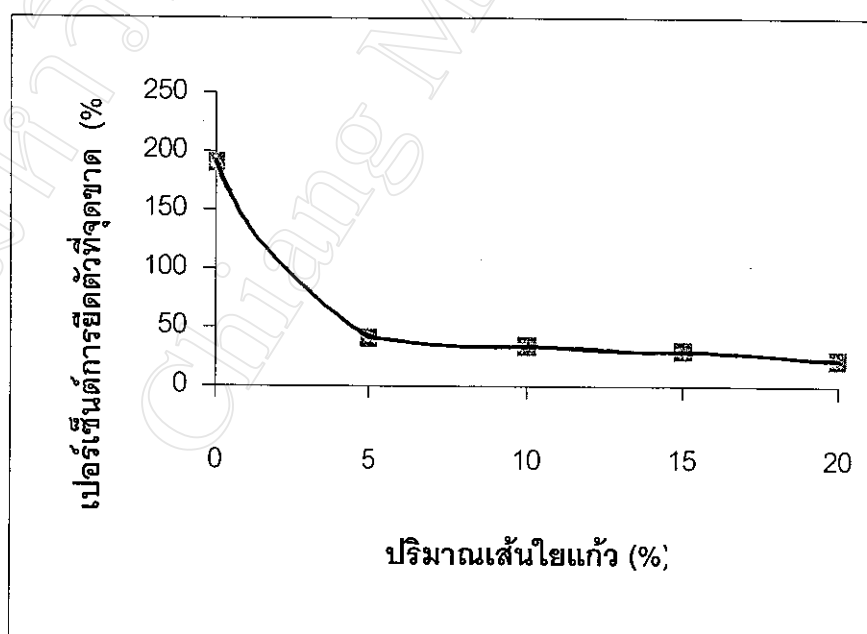
ผลการทดสอบหาความทนแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การยืดตัว และค่ามอดูลัสของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกที่ทำจากพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยแก้ว แสดงดังตาราง 3.8 และรูป 3.12-3.14

ตาราง 3.8 ผลการทดสอบค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว

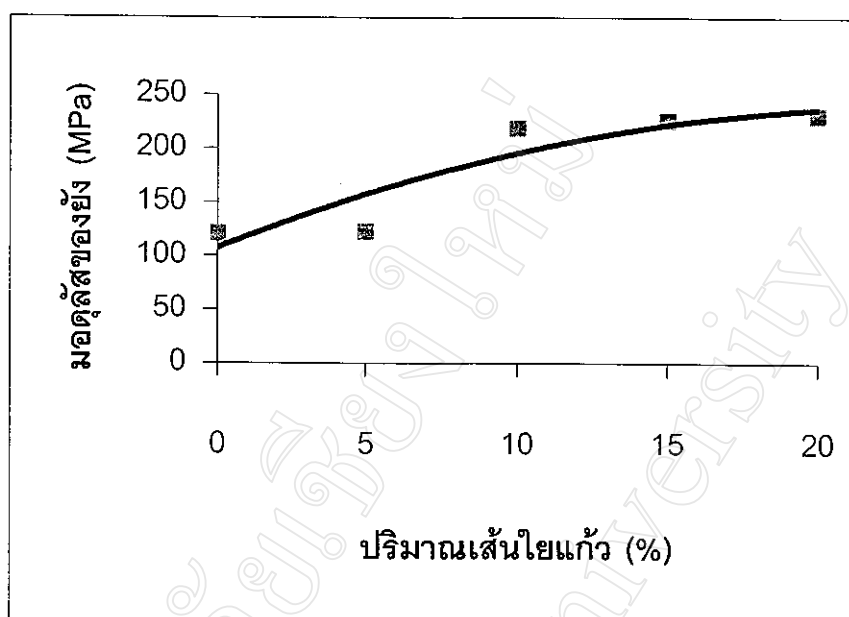
ปริมาณเส้นใยแก้ว (%)	การทดสอบครั้งที่	พื้นที่หน้าตัด (mm^2)	แรงดึงสูงสุด (kg)	ความทนแรงดึงสูงสุด (MPa)	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด (%)	มอดูลัสของยัง (MPa)
0	1	16.7	26.9	16.1	160.8	129
	2	16.6	25.8	15.5	216.4	106
	3	17.3	29.3	16.9	194.2	129
	เฉลี่ย			16.2	190.5	121
5	1	17.2	33.8	19.7	42.0	128
	2	17.6	35.3	20.1	42.0	113
	3	17.2	33.3	19.4	39.0	128
	เฉลี่ย			20.0	41.0	123
10	1	17.1	37.8	22.1	32.0	214
	2	17.5	36.5	20.9	34.0	195
	3	17.3	35.1	20.3	37.0	247
	เฉลี่ย			21.0	34.3	219
15	1	17.3	37.6	21.7	37.0	225
	2	17.4	39.1	22.5	27.0	227
	3	17.2	36.9	21.5	26.0	226
	เฉลี่ย			22.0	30.0	226
20	1	17.5	41.9	23.9	25.0	226
	2	17.3	42.7	24.7	21.0	219
	3	17.2	39.9	23.2	22.0	249
	เฉลี่ย			24.0	22.7	231



รูป 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว
ในถุงพลาสติก PP



รูป 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาดกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP



รูป 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว
ในถุงพลาสติก PP

ผลการทดสอบหาความความแข็งแรงร้อยละของวัสดุผสมของถุงพลาสติกที่ทำจาก
พอลิพรอพิลีนกับเส้นใยแก้ว แสดงดังตาราง 3.9 และรูป 3.15

ตาราง 3.9 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของวัสดุผสมของถุงพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว

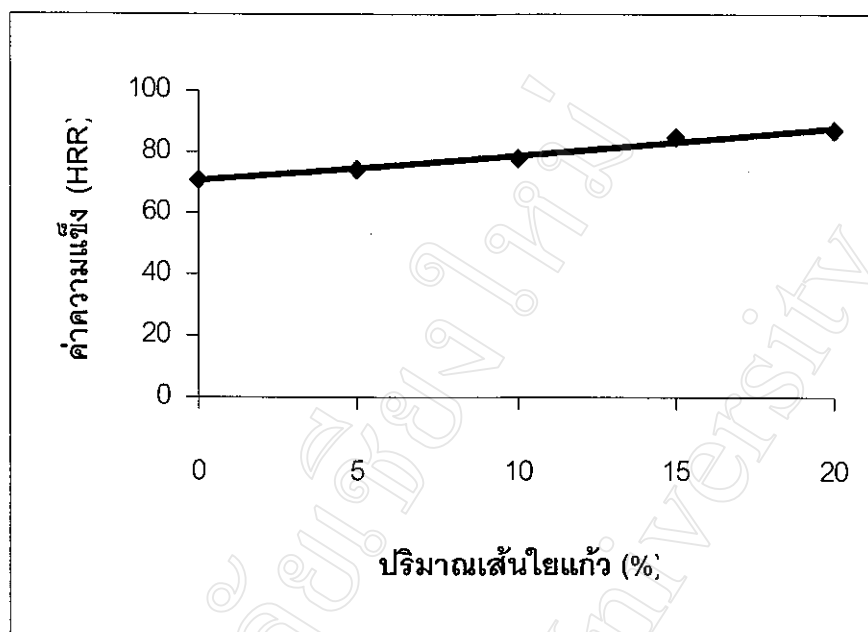
ปริมาณ เส้นใยแก้ว (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRR)						เฉลี่ย
		1	2	3	4	5	6	
0	1	72.9	75.0	73.5	69.4	74.5	62.7	71.3
	2	70.3	69.8	72.6	75.6	71.3	73.8	72.2
	3	68.5	73.0	69.1	73.6	75.0	66.0	70.9
	4	71.8	76.6	71.1	75.7	65.2	66.2	71.1
	5	68.4	73.6	66.9	64.4	71.3	65.4	68.3
	เฉลี่ย							70.8

ตาราง 3.9 (ต่อ)

ปริมาณ เส้นใยแก้ว (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRR)						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
5	1	74.9	74.9	79.4	66.9	79.7	73.1	74.8
	2	72.7	78.8	74.4	80.7	68.4	71.8	74.5
	3	75.9	78.0	74.5	78.3	79.0	75.5	76.9
	4	73.7	70.4	72.3	74.0	77.9	67.7	72.7
	5	69.7	74.4	72.4	78.1	75.9	66.2	72.8
	เฉลี่ย							74.3
10	1	81.6	81.8	76.0	71.7	76.9	73.5	76.9
	2	76.0	80.9	68.7	78.7	75.9	76.1	76.1
	3	80.7	80.2	75.1	77.9	77.7	72.3	77.3
	4	81.0	78.7	82.2	80.5	81.5	72.5	79.4
	5	75.8	79.8	79.9	80.8	83.4	79.9	79.9
	เฉลี่ย							77.9
15	1	85.1	88.6	85.9	78.8	84.0	85.9	84.7
	2	83.1	87.9	85.3	81.7	79.0	83.6	83.4
	3	84.4	89.1	85.5	85.6	87.5	76.8	84.8
	4	85.9	87.5	82.5	85.3	87.4	83.8	85.4
	5	81.6	84.3	86.8	87.2	89.7	83.7	85.6
	เฉลี่ย							84.8
20	1	87.8	76.8	72.4	82.6	82.6	84.7	81.2
	2	89.1	92.5	93.3	90.6	88.1	92.3	91.0
	3	83.0	90.9	90.7	86.6	89.6	79.6	86.7
	4	90.1	80.4	90.6	81.8	86.8	90.2	86.7
	5	93.6	89.5	93.0	92.0	83.2	89.5	90.1
	เฉลี่ย							87.1

เงื่อนไข:

1. ใช้หัวกดเหล็กกล้า R-scale เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว
2. แรงกด 60 kg เวลาที่ใช้กด 15 วินาที



รูป 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว
ในอุ้งพลาสติก PP

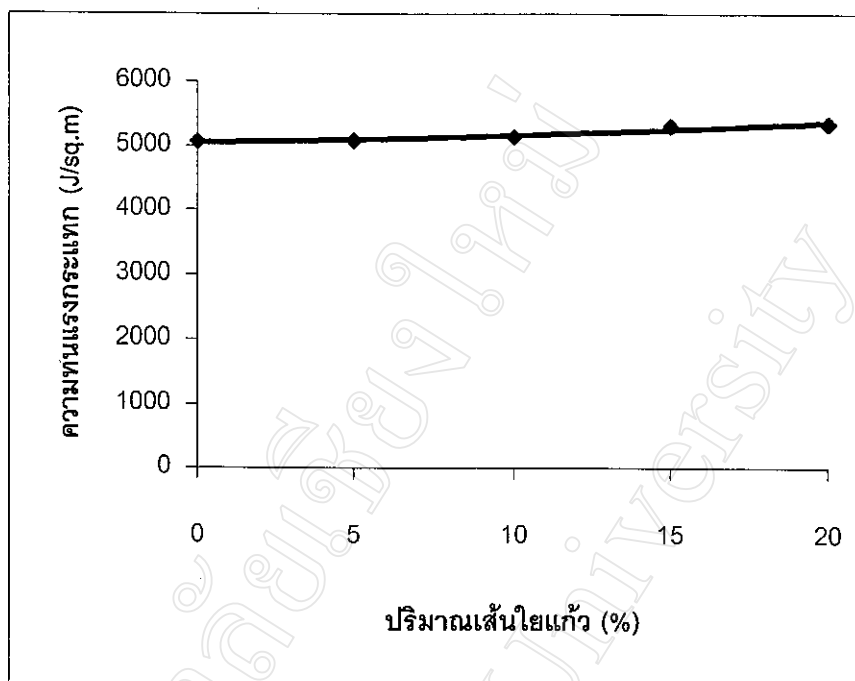
ผลการทดสอบหาความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมของอุ้งพลาสติกที่ทำจากพอลิ
พรอพิลีนกับเส้นใยแก้ว โดยใช้แรงเหวี่ยงกระแทก 2 lb แสดงดังตาราง 3.10 และรูป 3.16

ตาราง 3.10 ผลการทดสอบค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมอุ้งพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว

ปริมาณ เส้นใยแก้ว (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm) ²	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
0	1	132	0.605	0.100	0.505	3826	5187
	2	135	0.619	0.100	0.519	3844	5212
	3	136	0.595	0.100	0.495	3640	4935
	4	133	0.558	0.100	0.458	3444	4669
	5	134	0.625	0.100	0.525	3918	5312
	เฉลี่ย						5063

ตาราง 3.10 (ต่อ)

ปริมาณ เส้นใยแก้ว (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm) ²	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
5	1	136	0.621	0.109	0.512	3765	5104
	2	136	0.612	0.109	0.503	3699	5015
	3	135	0.619	0.109	0.510	3778	5122
	4	137	0.575	0.109	0.466	3401	4612
	5	135	0.66	0.109	0.551	4081	5534
	เฉลี่ย						5077
10	1	137	0.649	0.109	0.540	3942	5344
	2	135	0.560	0.109	0.451	3341	4529
	3	138	0.645	0.109	0.536	3884	5266
	4	136	0.623	0.109	0.514	3779	5124
	5	136	0.651	0.109	0.542	3985	5403
	เฉลี่ย						5133
15	1	135	0.598	0.112	0.486	3600	4881
	2	135	0.615	0.112	0.503	3726	5052
	3	135	0.599	0.112	0.487	3607	4891
	4	134	0.582	0.112	0.470	3507	4755
	5	135	0.808	0.112	0.696	5156	6990
	เฉลี่ย						5314
20	1	135	0.649	0.112	0.537	3978	5393
	2	133	0.619	0.112	0.507	3812	5168
	3	134	0.690	0.112	0.578	4313	5848
	4	134	0.623	0.112	0.511	3813	5170
	5	134	0.619	0.112	0.507	3784	5130
	เฉลี่ย						5342



รูป 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว
ในฉนวนพลาสติก PP

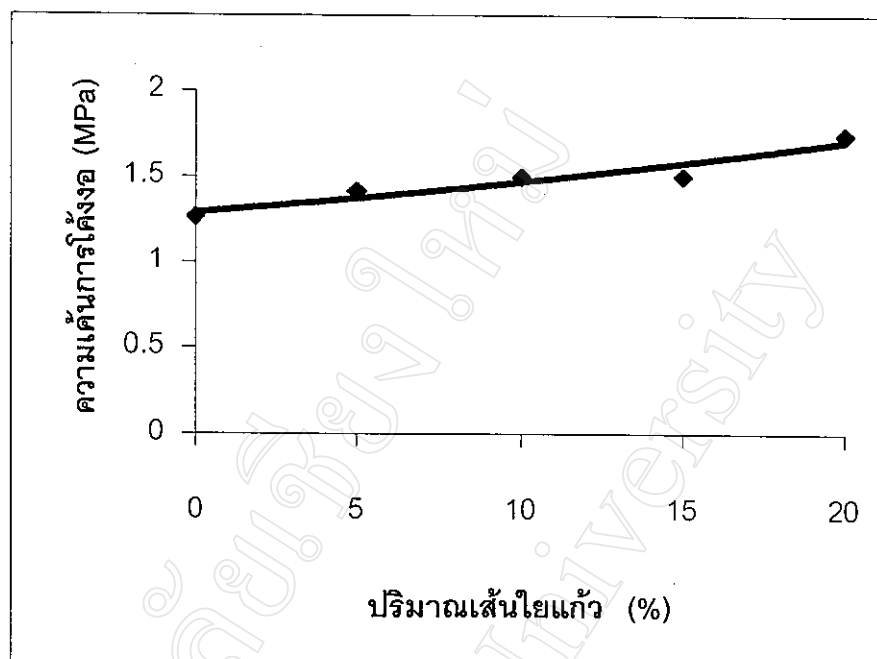
ผลการทดสอบหาความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของวัสดุผสมของฉนวน
พลาสติกที่ทำจากพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยแก้ว แสดงดังตาราง 3.11 และรูป 3.17-3.18

ตาราง 3.11 ผลการทดสอบค่าความเค้นการโค้งงอของวัสดุผสมของฉนวนพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว

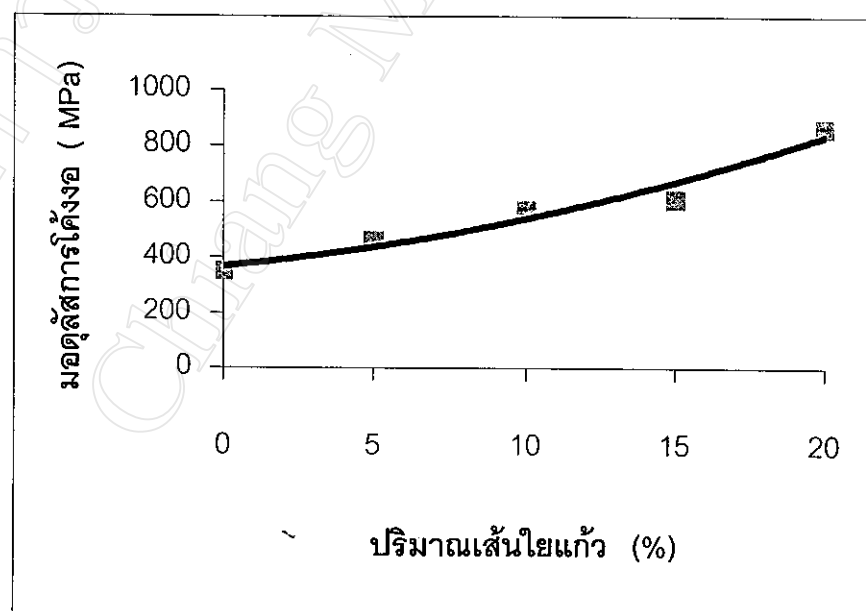
ปริมาณเส้นใยแก้ว (%)	ทดสอบ ครั้งที่	ความเค้นการโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)
0	1	1.262	345.0
	2	1.296	362.8
	3	1.268	352.0
	4	1.240	346.8
	5	1.260	355.6
	เฉลี่ย	1.265	352.4

ตาราง 3.11 (ต่อ)

ปริมาณเส้นใยแก้ว (%)	ทดสอบ ครั้งที่	ความเค้นการโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)
5	1	1.332	435.2
	2	1.498	507.6
	3	1.486	500.6
	4	1.339	401.9
	5	1.425	456.4
	เฉลี่ย	1.416	460.3
10	1	1.531	590.3
	2	1.494	562.0
	3	1.487	560.3
	4	1.480	546.5
	5	1.504	595.9
	เฉลี่ย	1.499	571.0
15	1	1.534	618.8
	2	1.480	590.6
	3	1.528	634.7
	4	1.487	602.5
	5	1.488	594.3
	เฉลี่ย	1.503	608.2
20	1	1.744	882.8
	2	1.742	837.9
	3	1.710	840.5
	4	1.725	859.2
	5	1.794	893.3
	เฉลี่ย	1.743	862.7



รูป 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP



รูป 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในถุงพลาสติก PP

ตอนที่ 3 วัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP กับเส้นใยแก้ว

ผลการทดสอบหาความทนแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด และค่ามอดุลัสของยังของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP ผสมกับเส้นใยแก้ว แสดงดังตาราง 3.12 และรูป 3.19-3.21

ตาราง 3.12 ผลการทดสอบค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP ผสมกับเส้นใยแก้ว

ปริมาณเส้นใยแก้ว ในวัสดุผสมถุงกับเม็ด (60:40) (%)	การทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	แรงดึง สูงสุด (kg)	ความทน แรงดึงสูงสุด (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ยืดตัวที่จุดขาด (%)	มอดุลัส ของยัง (MPa)
0	1	17.5	30.3	17.3	108.2	144
	2	18.1	33.8	18.7	107.8	139
	3	18.7	35.1	18.8	150.8	129
	เฉลี่ย			18.3	122.3	137
5	1	17.9	38.9	21.7	38.0	155
	2	18.1	38.0	21.0	47.0	143
	3	17.6	37.3	21.2	45.0	169
	เฉลี่ย			21.3	43.3	156
10	1	17.9	40.5	22.7	24.0	198
	2	17.5	40.2	23.0	25.0	181
	3	17.8	41.1	23.1	23.0	192
	เฉลี่ย			22.9	24.0	190
15	1	16.6	37.5	22.5	22.0	198
	2	17.9	41.1	22.9	23.0	205
	3	17.8	39.2	22.0	20.0	165
	เฉลี่ย			22.5	21.7	189

ตาราง 3.12 (ต่อ)

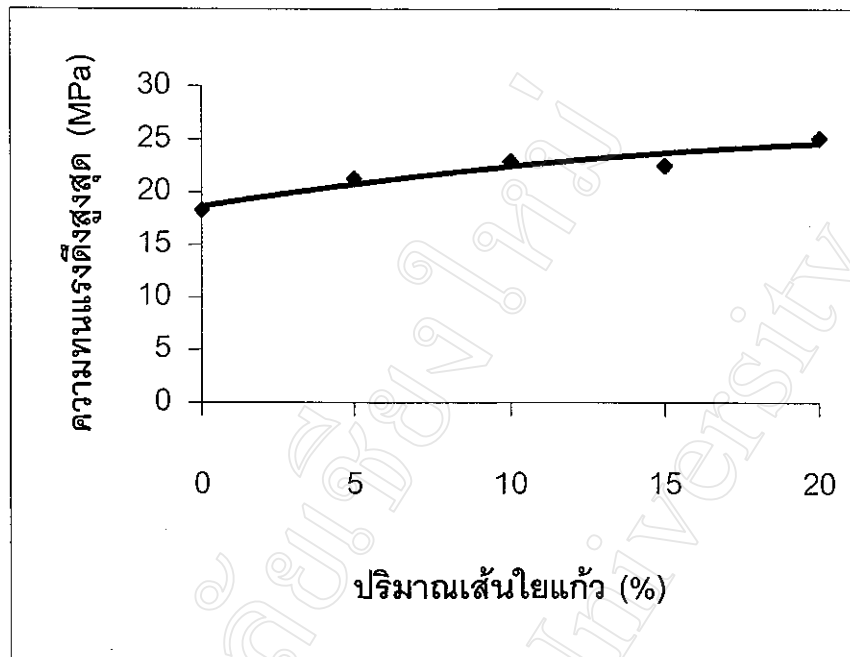
ปริมาณเส้นใยแก้ว ในวัสดุผสมดกกับเม็ด (60:40) (%)	การทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	แรงดึง สูงสุด (kg _f)	ความทน แรงดึงสูงสุด (MPa)	เปอร์เซ็นต์การ ยืดตัวที่จุดขาด (%)	มอดุลัส ของยัง (MPa)
20	1	16.5	41.1	24.9	21.0	207
	2	16.9	42.9	25.5	22.0	217
	3	17.9	44.7	25.0	23.0	216
	เฉลี่ย			25.1	22.0	213

เงื่อนไข: 1. สภาวะในการฉีด - อุณหภูมิที่ใช้ 175 °C

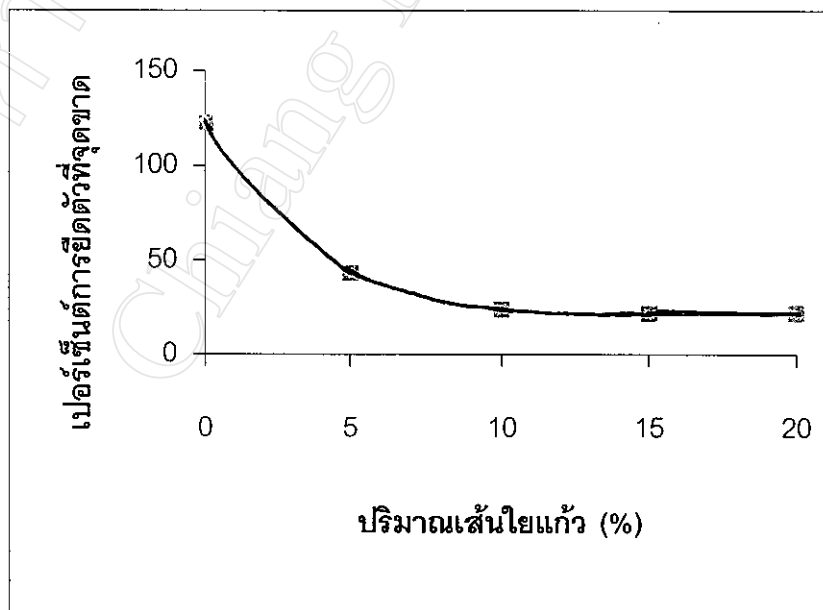
- เวลา 10 นาที/ชิ้นงาน

- ความดันที่ใช้ 8 bar

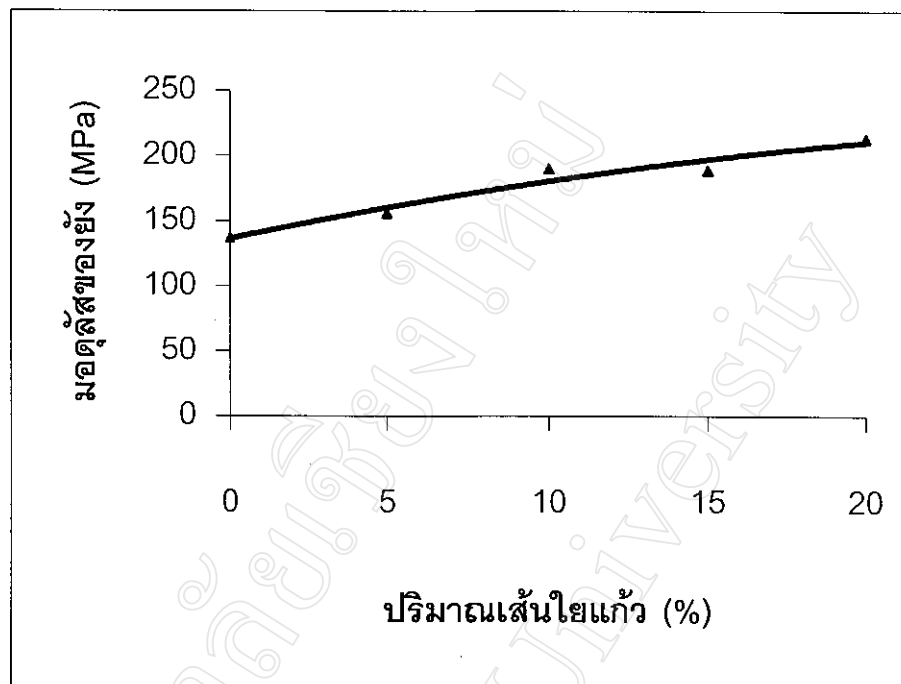
2. ความยาวเริ่มต้น (gauge length of specimen, l_0) 8.55 มิลลิเมตร



รูป 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว
ในวัสดุผสมอูพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP



รูป 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่จุดขาดกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมอูพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP



รูป 3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสของยังกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมอลูมิเนียมและเมทพลาสติก PP

ผลการทดสอบหาความแข็งแรงรีกเวลธ์ของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก
พอลิพรอพิลีนผสมกับเส้นใยแก้ว แสดงดังตาราง 3.13 และรูป 3.22

ตาราง 3.13 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP
ผสมกับเส้นใยแก้ว

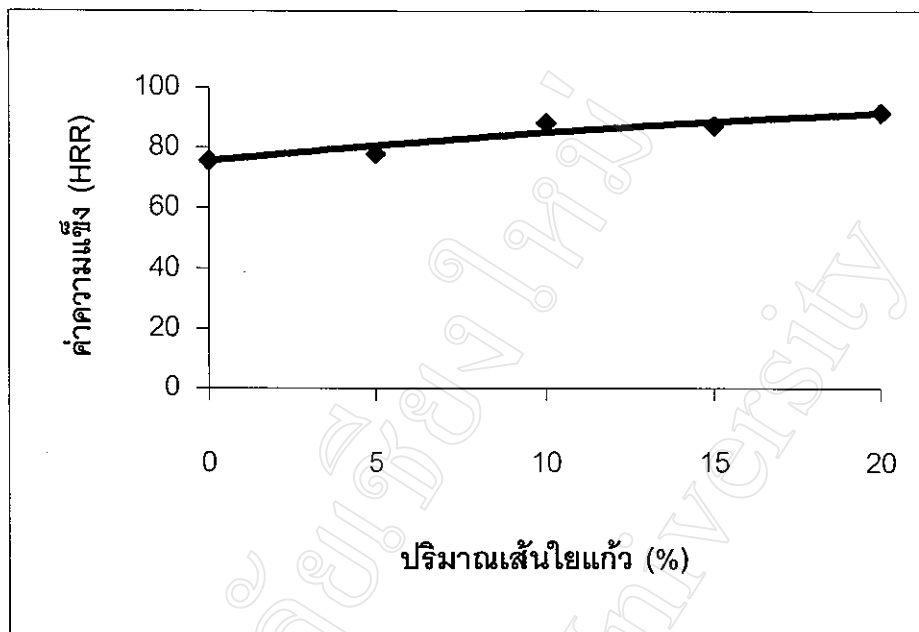
ปริมาณเส้นใยแก้ว ในวัสดุผสมตรงกับเม็ด (60:40) (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็งแรง (HRR)						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
0	1	68.7	72.3	70.4	69.6	73.9	67.4	70.4
	2	70.9	76.4	74.4	70.2	68.0	65.7	70.9
	3	79.2	78.4	77.2	80.4	81.4	76.9	78.9
	4	79.5	79.1	80.9	84.1	83.4	84.2	81.9
	5	74.1	77.8	70.7	74.9	78.8	77.9	75.7
	เฉลี่ย							75.6
5	1	77.8	79.1	77.5	81.5	71.4	76.2	77.3
	2	79.3	80.8	75.3	75.0	76.3	75.6	77.1
	3	76.1	80.5	77.3	72.8	83.3	77.4	77.9
	4	81.1	78.6	76.9	84.0	81.6	75.0	79.5
	5	79.7	77.9	76.9	78.5	74.3	79.6	77.8
	เฉลี่ย							77.9
10	1	87.7	88.7	90.3	91.9	88.2	83.8	88.4
	2	87.4	72.6	78.1	89.0	91.9	85.5	84.1
	3	88.1	85.7	90.0	89.2	88.9	89.7	88.6
	4	90.6	90.7	87.3	90.4	89.9	90.3	89.9
	5	87.6	88.2	91.0	89.8	91.3	89.0	89.5
	เฉลี่ย							88.1

ตาราง 3.13 (ต่อ)

ปริมาณเส้นใยแก้ว ในวัสดุผสมตรงกับเม็ด (60:40) (%)	การทดสอบ ครั้งที่	ค่าความแข็ง (HRR)						
		1	2	3	4	5	6	เฉลี่ย
15	1	89.0	82.5	82.8	89.4	83.9	91.5	86.5
	2	80.9	91.6	88.2	90.4	85.8	89.2	87.7
	3	89.3	86.4	87.6	89.0	83.1	86.3	87.0
	4	82.4	81.5	89.0	92.4	91.9	86.6	87.3
	5	86.9	86.0	88.2	86.5	89.2	89.6	87.7
	เฉลี่ย							87.2
20	1	88.4	92.0	89.7	90.9	91.0	90.1	90.4
	2	93.3	90.5	93.5	91.7	93.9	94.0	92.8
	3	91.2	92.3	84.6	86.1	90.3	90.3	89.1
	4	95.0	95.5	92.6	92.8	92.9	93.5	93.7
	5	93.1	94.9	90.8	90.9	94.6	89.7	92.3
	เฉลี่ย							91.7

เงื่อนไข:

1. ใช้หัวกดเหล็กกล้า R-scale เส้นผ่าศูนย์กลาง $\frac{1}{2}$ นิ้ว
2. แรงกด 60 kg



รูป 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้ว
ในวัสดุผสมอูฐพลาสติกกับเม็ดพลาสติก PP

ผลการทดสอบหาความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างอูฐพลาสติกและเม็ดพลาสติก
พอลิพรอพิลีนผสมกับเส้นใยแก้ว แสดงดังตาราง 3.14 และรูป 3.23

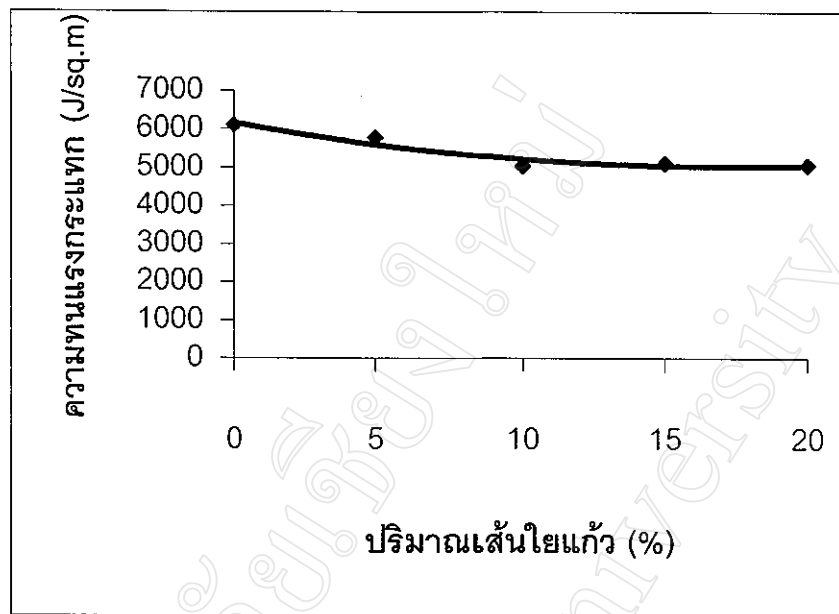
ตาราง 3.14 ผลการทดสอบค่าความทนแรงกระแทกของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ด
พลาสติก PP ผสมกับเส้นใยแก้ว

ปริมาณเส้นใยแก้วใน วัสดุผสมดงกับเม็ด (60:40) (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
0	1	135	0.709	0.090	0.616	4563	6187
	2	139	0.629	0.090	0.536	3856	5228
	3	136	0.690	0.090	0.597	4390	5952
	4	136	0.755	0.090	0.662	4868	6600
	5	135	0.745	0.090	0.652	4830	6548
	เฉลี่ย						6103
5	1	133	0.645	0.105	0.540	4060	5505
	2	136	0.668	0.105	0.563	4140	5613
	3	136	0.678	0.105	0.573	4213	5712
	4	134	0.719	0.105	0.614	4582	6212
	5	136	0.691	0.105	0.586	4309	5842
	เฉลี่ย						5777
10	1	134	0.631	0.109	0.522	3896	5282
	2	135	0.629	0.109	0.520	3852	5222
	3	134	0.609	0.109	0.500	3731	5059
	4	135	0.605	0.109	0.496	3674	4981
	5	133	0.568	0.109	0.459	3451	4679
	เฉลี่ย						5045

ตาราง 3.14 (ต่อ)

ปริมาณเส้นใยแก้วใน วัสดุผสมดกกับเม็ด (60:40) (%)	การ ทดสอบ ครั้งที่	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	E _{ob} (ft-lb)	E _{air} (ft-lb)	E _{ob} - E _{air} (ft-lb)	ค่าความทน แรงกระแทก (ft-lb/m ²)	ค่าความทน แรงกระแทก (J/m ²)
15	1	134	0.611	0.112	0.499	3724	5049
	2	134	0.618	0.112	0.506	3776	5120
	3	133	0.615	0.112	0.503	3782	5128
	4	134	0.587	0.112	0.475	3545	4806
	5	134	0.652	0.112	0.540	4030	5464
	เฉลี่ย						5113
20	1	136	0.632	0.117	0.515	3787	5134
	2	136	0.613	0.117	0.496	3647	4945
	3	135	0.617	0.117	0.500	3704	5022
	4	136	0.613	0.117	0.496	3647	4945
	5	134	0.639	0.117	0.522	3896	5282
	เฉลี่ย						5065

เงื่อนไข: - ใช้แรงเหวี่ยงกระแทก 2 lb ชนิดเครื่องมือที่ใช้ทดสอบเป็นแบบ Izod



รูป 3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วใน
วัสดุผสมถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP

ผลการทดสอบหาความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของวัสดุผสมระหว่าง
ถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนผสมกับเส้นใยแก้ว แสดงดังตาราง 3.15 และ
รูป 3.24 – 3.25

ตาราง 3.15 ผลการทดสอบค่าความเค้นการโค้งงอ และมอดุลัสการโค้งงอของวัสดุผสมระหว่าง
อูงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP ผสมกับเส้นใยแก้ว

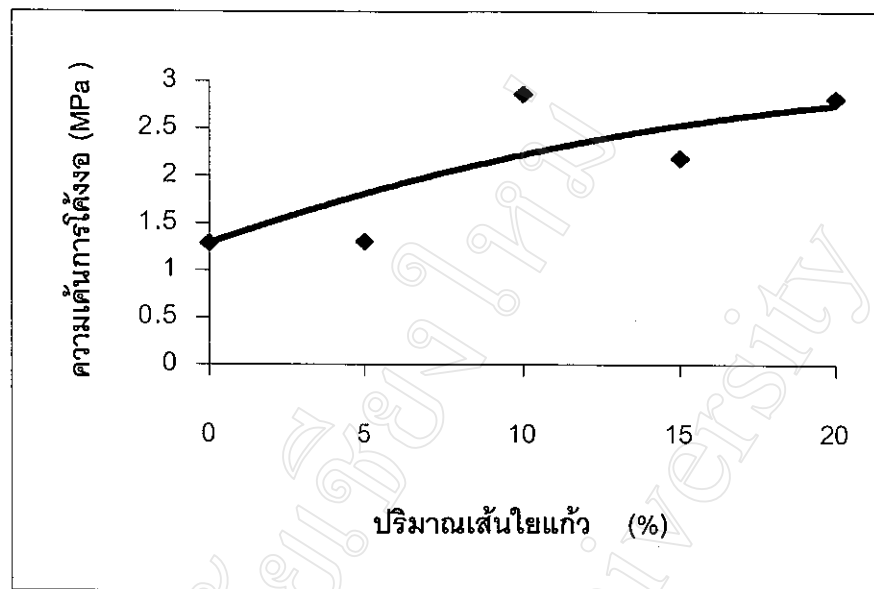
ปริมาณเส้นใยแก้วในวัสดุผสม ถูกกับเม็ด (60:40) (%)	ทดสอบ ครั้งที่	ความเค้นการโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)
0	1	1.302	371.6
	2	1.291	375.8
	3	1.297	380.7
	4	1.294	375.6
	5	1.268	367.7
	เฉลี่ย	1.290	374.3
5	1	1.347	409.6
	2	1.255	353.6
	3	1.258	361.8
	4	1.323	381.8
	5	1.345	404.6
	เฉลี่ย	1.306	382.3
10	1	2.877	1767.0
	2	2.884	1865.0
	3	2.823	1594.0
	4	2.882	1745.0
	5	2.830	1656.0
	เฉลี่ย	2.859	1725.4

ตาราง 3.15 (ต่อ)

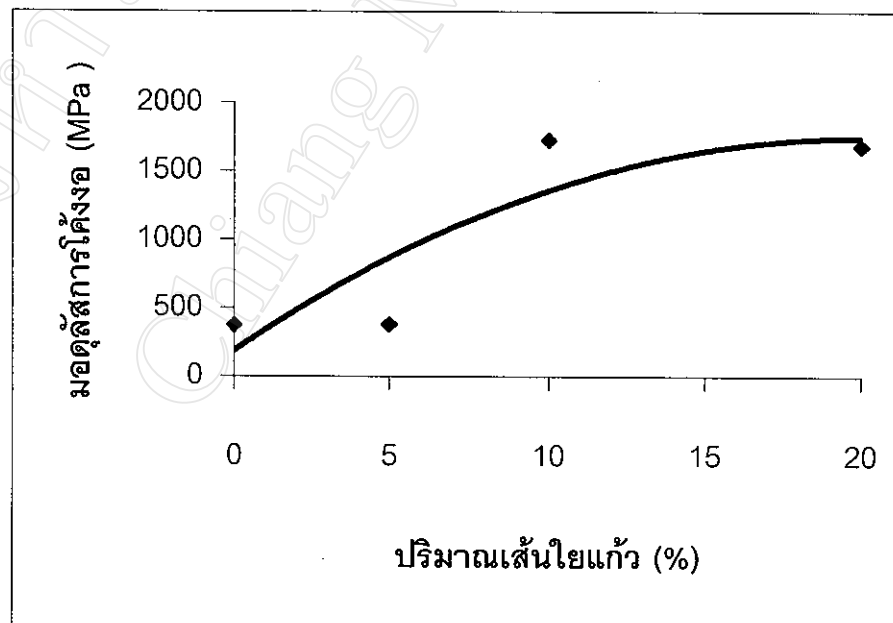
ปริมาณเส้นใยแก้วในวัสดุผสม ถุงกับเม็ด (60:40) (%)	ทดสอบ ครั้งที่	ความเค้นการโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสการโค้งงอ (MPa)
15	1	2.331	*
	2	2.105	
	3	2.215	
	4	2.093	
	5	2.172	
	เฉลี่ย	2.183	
20	1	2.907	1655.0
	2	2.821	1652.0
	3	2.818	1730.0
	4	2.767	1673.0
	5	2.748	1716.0
	เฉลี่ย	2.812	1685.2

หมายเหตุ :

* จากกราฟและค่าที่ได้จากการคำนวณของเครื่องได้ค่ามอดุลัสการโค้งงอเป็นศูนย์



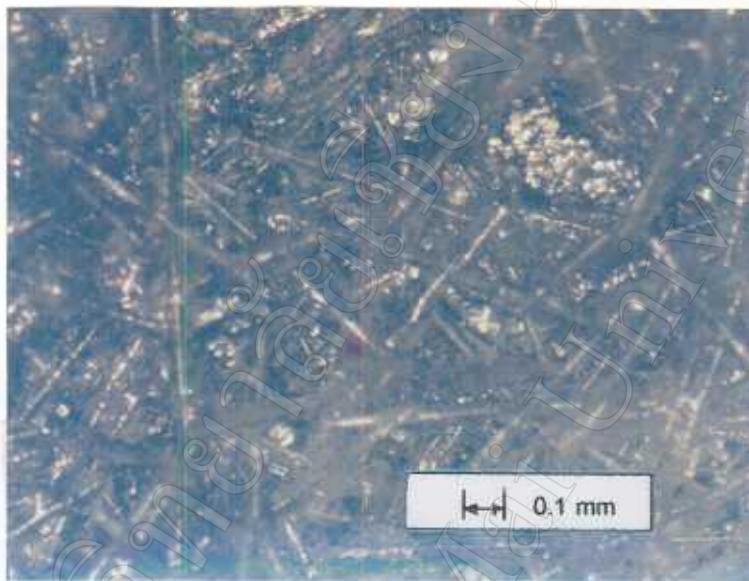
รูป 3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมอูพลาสติกและเมตพลาสติก PP



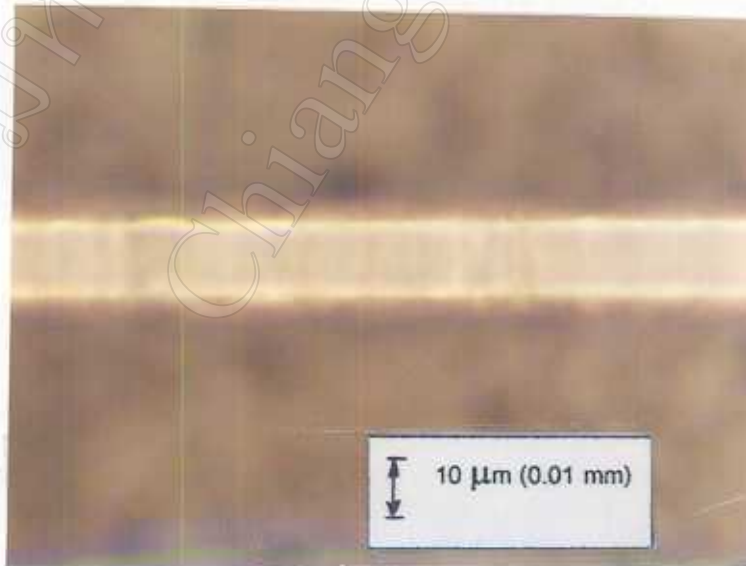
รูป 3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดุลัสการโค้งงอกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแก้วในวัสดุผสมอูพลาสติกและเมตพลาสติก PP

ตอนที่ 4 ผลของปริมาณเส้นใยแก้วที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่างถุงพลาสติกและเม็ดพลาสติก PP

จากการทดลองผสมเส้นใยแก้วลงในวัสดุผสม (เมทริกซ์) จากการทดสอบโดยส่องกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าเส้นใยแก้วมีการจัดเรียงตัวในเมทริกซ์ลักษณะไม่ต่อเนื่องแต่ค่อนข้างเป็นระเบียบแบบ 3 มิติ และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $13\text{ }\mu\text{m}$ ดังแสดงในรูป 3.26 และ 3.27 ตามลำดับ

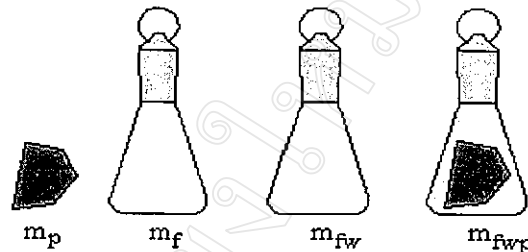


รูป 3.26 เส้นใยแก้วจัดเรียงตัวไม่ต่อเนื่องแต่ค่อนข้างเป็นระเบียบแบบ 3 มิติ (กำลังขยาย 5x)



รูป 3.27 เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแก้วประมาณ $13\text{ }\mu\text{m}$ (กำลังขยาย 50x)

การหาปริมาตรเส้นใยแก้วต้องทราบความหนาแน่นของวัสดุผสมถุงและเม็ดพลาสติก PP ที่อัตราส่วน (60:40) ซึ่งความหนาแน่นนี้สามารถหาได้จากการคำนวณดังนี้



ครั้งที่ 1

น้ำหนักเมทานอล 100 ml = น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุเมทานอล 100 ml (m_{fw}) - น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา (m_f)

$$= 125.89 - 47.11 = 78.78 \text{ g}$$

ความหนาแน่นเมทานอล = $78.78/100 = 0.7878 \text{ g/cm}^3$

น้ำหนักเมทานอลในขวดที่มีวัสดุผสม (ถุง : เม็ด ที่ 60 : 40)

$$\begin{aligned} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\ &\quad \text{และเมทานอลเต็มขวด } (m_{fwp}) - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร} \\ &\quad \text{100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม } (m_f + m_p) \\ &= 126.59 - 51.63 = 74.96 \text{ g} \end{aligned}$$

ปริมาตรเมทานอลในขวดความหนาแน่นที่มีวัสดุผสม = $74.96/0.7878 = 95.151 \text{ cm}^3$

ปริมาตรวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml = $100 - 95.151 = 4.849 \text{ cm}^3$

น้ำหนักวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml

$$\begin{aligned} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม } (m_f + m_p) - \text{น้ำ} \\ &\quad \text{หนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา } (m_f) \\ &= 51.63 - 47.11 = 4.52 \text{ g} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นวัสดุผสม = $4.52/4.849 = 0.932 \text{ g/cm}^3$

ครั้งที่ 2

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักเมทานอล } 100 \text{ ml} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \text{ พร้อมฝา บรรจุเมทานอล} \\ &100 \text{ ml} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \text{ พร้อมฝา} \\ &= 125.76 - 47.10 = 78.66 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\text{ความหนาแน่นเมทานอล} = 78.66/100 = 0.7866 \text{ g/cm}^3$$

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักเมทานอลในขวดที่มีวัสดุผสม (ถุง : เม็ด ที่ 60 : 40)} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \text{ พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\ &\text{และเมทานอลเต็มขวด} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \\ &\text{พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\ &= 126.32 - 51.20 = 75.12 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\text{ปริมาตรเมทานอลในขวดความหนาแน่นที่มีวัสดุผสม} = 75.12/0.7866 = 95.50 \text{ cm}^3$$

$$\text{ปริมาตรวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น } 100 \text{ ml} = 100 - 95.50 = 4.50 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น } 100 \text{ ml} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \text{ พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\ &\text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \text{ พร้อมฝา} \\ &= 51.20 - 47.10 = 4.10 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\text{ความหนาแน่นวัสดุผสม} = 4.10/4.50 = 0.911 \text{ g/cm}^3$$

ครั้งที่ 3

$$\begin{aligned}\text{น้ำหนักเมทานอล } 100 \text{ ml} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \text{ พร้อมฝา บรรจุเมทานอล} \\ &100 \text{ ml} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร } 100 \text{ ml} \text{ พร้อมฝา} \\ &= 125.68 - 46.99 = 78.69 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\text{ความหนาแน่นเมทานอล} = 78.69/100 = 0.7869 \text{ g/cm}^3$$

น้ำหนักเมทานอลในขวดที่มีวัสดุผสม (ถุง : เม็ด ที่ 60 :40)

$$\begin{aligned}
 &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\
 &\quad \text{และเมทานอลเต็มขวด} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml} \\
 &\quad \text{พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\
 &= 126.38 - 51.87 = 74.51 \text{ g}
 \end{aligned}$$

ปริมาตรเมทานอลในขวดความหนาแน่นที่มีวัสดุผสม $= 74.51 / 0.7869 = 94.69 \text{ cm}^3$

ปริมาตรวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml $= 100 - 94.69 = 5.31 \text{ cm}^3$

น้ำหนักวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml

$$\begin{aligned}
 &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\
 &\quad - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา} \\
 &= 51.87 - 46.99 = 4.88 \text{ g}
 \end{aligned}$$

ความหนาแน่นวัสดุผสม $= 4.88 / 5.31 = 0.919 \text{ g/cm}^3$

ครั้งที่ 4

น้ำหนักเมทานอล 100 ml $= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุเมทานอล}$

$$\begin{aligned}
 &\quad 100 \text{ ml} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา} \\
 &= 125.58 - 46.97 = 78.61 \text{ g}
 \end{aligned}$$

ความหนาแน่นเมทานอล $= 78.61 / 100 = 0.7861 \text{ g/cm}^3$

น้ำหนักเมทานอลในขวดที่มีวัสดุผสม (ถุง : เม็ด ที่ 60 :40)

$$\begin{aligned}
 &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\
 &\quad \text{และเมทานอลเต็มขวด} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml} \\
 &\quad \text{พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\
 &= 126.20 - 50.78 = 75.42 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาตรเมทานอลในขวดความหนาแน่นที่มีวัสดุผสม} = 75.42/0.7861 = 95.94 \text{ cm}^3$$

$$\text{ปริมาตรวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml} = 100 - 95.94 = 4.06 \text{ cm}^3$$

$$\text{น้ำหนักวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml}$$

$$\begin{aligned} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\ &\quad - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา} \\ &= 50.78 - 46.97 = 3.81 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{ความหนาแน่นวัสดุผสม} = 3.81/4.06 = 0.938 \text{ g/cm}^3$$

ครั้งที่ 5

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักเมทานอล 100 ml} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุเมทานอล} \\ &\quad 100 \text{ ml} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา} \\ &= 125.63 - 47.00 = 78.63 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{ความหนาแน่นเมทานอล} = 78.63/100 = 0.7863 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{น้ำหนักเมทานอลในขวดที่มีวัสดุผสม (ถุง : เม็ด ที่ 60 : 40)}$$

$$\begin{aligned} &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\ &\quad \text{และเมทานอลเต็มขวด} - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml} \\ &\quad \text{พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\ &= 126.05 - 50.55 = 75.50 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาตรเมทานอลในขวดความหนาแน่นที่มีวัสดุผสม} = 75.50/0.7863 = 96.02 \text{ cm}^3$$

$$\text{ปริมาตรวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml} = 100 - 96.02 = 3.98 \text{ cm}^3$$

น้ำหนักวัสดุผสมในขวดความหนาแน่น 100 ml

$$\begin{aligned}
 &= \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา บรรจุวัสดุผสม} \\
 &\quad - \text{น้ำหนักขวดความหนาแน่นปริมาตร 100 ml พร้อมฝา} \\
 &= 50.55 - 47.00 = 3.55 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\text{ความหนาแน่นวัสดุผสม} = 3.55/3.98 = 0.892 \text{ g/cm}^3$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 \text{ความหนาแน่นวัสดุผสมเฉลี่ย} &= \frac{\text{ผลรวมความหนาแน่นวัสดุผสมของแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนครั้งที่ทดสอบ}} \\
 &= \frac{0.932 + 0.911 + 0.919 + 0.938 + 0.892}{5} \\
 &= 0.918 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{เศษส่วนโดยปริมาตรของเส้นใยแก้วในวัสดุผสม (V_f)} = \frac{M_1/D_1}{M_1/D_1 + M_2/D_2}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อ } M_1 &= \text{น้ำหนักของเส้นใยแก้ว} \\
 M_2 &= \text{น้ำหนักของเมทริกซ์} \\
 D_1 &= \text{ความหนาแน่นของเส้นใยแก้ว } 2.60 \text{ g/cm}^3 \\
 D_2 &= \text{ความหนาแน่นของเมทริกซ์ } 0.918 \text{ g/cm}^3
 \end{aligned}$$

เช่น ในกรณีที่ใช้วัสดุผสมที่มีปริมาณเส้นใยแก้ว 5 %

$$V_f = \frac{5/2.60}{5/2.60 + 95/0.918} = 0.018$$

หาเศษส่วนปริมาตรของเส้นใยแก้วในวัสดุผสม (V_f) ของวัสดุผสมที่มีปริมาณเส้นใยแก้ว 0, 5, 10, 15 และ 20 % โดยใช้สมการข้างบน

ในการทดสอบหาค่าแรงดึงที่ทำให้เส้นใยหลุดออกจากเมทริกซ์ ต้องหาพื้นที่หน้าตัดของมัดเส้นใยที่ฝังในเมทริกซ์ โดยหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$A = M/(D \times l)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของมัดเส้นใย

M = น้ำหนักของมัดเส้นใยในการทดลองใช้เส้นใยที่มี

(ความยาว 49.2 mm ได้น้ำหนัก 0.0041 g ดังนั้นค่า $M = 0.0041$ g)

D = ความหนาแน่นของเส้นใย 2.60 g/cm^3 หรือ 0.0026 g/mm^3

l = ความยาวของมัดเส้นใยในการทดลองใช้เส้นใย 49.2 mm

$$A = \frac{0.0041 \text{ g}}{0.0026 \text{ g/mm}^3 \times 49.2 \text{ mm}} = 0.032 \text{ mm}^2$$

เมื่อ $A = \pi r^2$

$$r^2 = \frac{0.032 \text{ mm}^2}{3.14} \quad ; \quad r = 0.1010 \text{ mm}$$

ดังนั้น

$$\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของมัดเส้นใย (d}_1\text{)} = 2r = 0.2019 \text{ mm}$$

คำนวณหาพื้นที่ผิวสัมผัสของมัดเส้นใยในเมทริกซ์ (A_m) ได้จากสมการ

$$A_m = \pi d_1 l$$

เมื่อ l คือ ความยาวของมัดเส้นใยที่ฝังในเมทริกซ์ เท่ากับ 3 mm

ดังนั้น

$$A_m = 3.14 \times 0.2019 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} = 1.903 \text{ mm}^2$$

คำนวณหาค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ (τ_m) จากสมการ

$$\tau_m = F/A_m$$

เมื่อ F = แรงดึงสูงสุดที่ทำให้มัดเส้นใยหลุดออกจากเมทริกซ์ เท่ากับ 0.3594 kg_f

ดังนั้น

$$\tau_m = \frac{0.3594 \text{ kg}_f}{1.903 \text{ mm}^2} = 0.189 \text{ kg}_f/\text{mm}^2$$

คำนวณหาค่าความยาววิกฤติของเส้นใย (l_c) จากสมการ

$$l_c = \frac{\sigma_r^{TS} d_2}{2\tau_m}$$

เมื่อ σ_r^{TS} = ค่าความทนแรงดึงของเส้นใยแก้ว (จากข้อมูลของบริษัทไฟเบอร์กลาส) 1.40 Gpa
หรือ 140 kg_f/mm²

d_2 = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแก้ว $\cong$ 13 ไมครอน หรือ 0.013 mm

ดังนั้น

$$l_c = \frac{140 \text{ kg}_f/\text{mm}^2 \times 0.013 \text{ mm}}{2 \times 0.189 \text{ kg}_f/\text{mm}^2} = 4.81 \text{ mm}$$

ค่าความทนแรงดึงสูงสุดของวัสดุผสมที่คำนวณได้จากทฤษฎี เมื่อการเรียงตัวของเส้นใยจากการนำไปถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 เท่า พบว่ามีการจัดเรียงแบบไม่เป็นระเบียบและไม่ต่อเนื่องแบบ 3 มิติ ดังนั้นค่าความทนแรงดึงสูงสุดของวัสดุผสมสามารถคำนวณได้

จากสมการ

$$\sigma_c = X_1 X_2 \sigma_f V_f + \sigma_m V_m$$

- เมื่อ σ_c = ค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสม
- σ_f = ค่าความทนแรงดึงของเส้นใย (จากข้อมูลของบริษัทไฟเบอร์กลาส) 1.40 Gpa
= 140 kg/mm²
- σ_m = ค่าความทนแรงดึงของเมทริกซ์ ในงานวิจัยนี้ใช้ ดึงกับเม็ดพลาสติกที่ทำจาก PP ในอัตราส่วน 60 : 40 มีค่าเท่ากับ 1.82 kg/mm²
- X_1 = ปัจจัยเนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใย มีค่า
= 1 เมื่อเส้นใยเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
= 0.375 เมื่อเส้นใยเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบใน 2 มิติ
= 0.2 เมื่อเส้นใยเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบใน 3 มิติ
- X_2 = ปัจจัยเนื่องจากความยาวของเส้นใย มีค่า
= $1 - |c/2|$ เมื่อเส้นใยมีความยาว $| > |c|$
= $1/2|c|$ เมื่อเส้นใยมีความยาว $| < |c|$ (จากการคำนวณ เท่ากับ 0.104)
- V_f = สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใย
- V_m = สัดส่วนโดยปริมาตรของเมทริกซ์ เท่ากับ $1 - V_f$

ตาราง 3.16 การเปรียบเทียบค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสมจากทฤษฎีและจากการทดลอง

ปริมาณเส้นใยในวัสดุผสม ระหว่างถูกกับเม็ด PP (60:40)	V_f	σ_c จากทฤษฎี (kg/mm ²)	σ_c จากการทดลอง (kg/mm ²)
0 %	0.000	1.82	1.82
5 %	0.018	1.84	2.11
10 %	0.037	1.86	2.28
15 %	0.059	1.88	2.21
20 %	0.081	1.91	2.50

จากตาราง 3.16 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนแรงดึงของวัสดุผสมที่ได้จากการทดสอบมีค่ามากกว่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยแก้วที่ใช้มีการเคลือบด้วยสารประสานคู่ควบ (Coupling Agent) จึงส่งผลให้การยึดติดระหว่างเส้นใยแก้วกับเมทริกซ์ที่เป็นพอลิเมอร์ดีขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากรูป 3.28 ที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 10 เท่า)



รูป 3.28 สัณฐานวิทยาของวัสดุผสมหลังทดสอบความทนแรงดึง (กำลังขยาย 10 เท่า)