

การศึกษาเทคนิคการผสมและอัตราส่วนของ PE Virgin/PE Recycle ในการเตรียมโฟม PE/EVA

พริยา คมสาคร มลฤทัย อมรรัตนสิริ ดวงหทัย เพ็ญตระกูล และ ดวงดาว อาจองค์
ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย* Email: duangdao.a@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การนำวัสดุต่างๆ กลับมาใช้ใหม่เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม แต่ในการใช้งานจริงมักเกิดปัญหาค่อนข้างมาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะหาแนวทางในการใช้ PE Recycle ในการผลิตแผ่นโฟม PE/EVA โดยการนำ PE Recycle ดังกล่าวมาใช้ร่วมกับ PE Virgin เพื่อลดปริมาณแผ่นโฟมที่ไม่ได้มาตรฐานด้วยวิธีการผสม 2 แบบคือ Physical blending และ Melt blending ด้วยเครื่อง Single screw extruder จากนั้นนำ PE ที่ผ่านการผสมแล้วมาผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ ในเครื่อง Banbury mixer และ Two-roll mill จะได้แผ่น prefoam จากนั้นทำการขึ้นรูปแผ่นโฟมด้วยเครื่อง Compression molding นำแผ่นโฟมที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ขอบกพร่อง ความหนาแน่น ลักษณะโครงสร้างของเซลล์ และสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็ง และ ความสามารถในการคืนตัว จากการทดลองพบว่า ปริมาณของ PE Recycle ร้อยละ 20 ด้วยการผสมแบบ Physical blending นั้นจะให้โฟมที่มีสมบัติที่ดีและมีขอบกพร่องน้อยที่สุด

คำสำคัญ PE, PE/EVA, foam, mixing technique, Recycles

1. บทนำ

ในระหว่างภาคฤดูร้อนปี 2546 นิสิตได้เข้าร่วมโครงการกิจกรรมเทคโนโลยีสะอาดร่วมกับบริษัทศรีสำอางค์ ชัพพลายเออร์ จำกัด (พริยา คมสาคร และ มลฤทัย อมรรัตนสิริ, 2546) โดยบริษัทมีผลิตภัณฑ์หลักคือ แผ่นโฟมพอลิเอทิลีน (PE)/เอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) และรองเท้าจากโฟม PE/EVA โดยมีวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตแผ่นโฟม PE/EVA ได้แก่ เม็ดพลาสติก polyethylene (PE) ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ PE Virgin (PE Gapgo) และ PE Recycle (รู้จักกันในนามของ PE นิ่มขาว และ PE นิ่มชา) จากการสำรวจและวิจัยเบื้องต้นพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขอบกพร่อง อาทิ เช่น ยางเป็นรู มีโพรงอากาศ มีสิ่งปนเปื้อน คิดเป็นจำนวนถึง 29% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ทำให้ผลิตภัณฑ์บางส่วนกลายเป็นของเสียไม่สามารถจัดจำหน่ายได้ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์บางส่วนมีคุณภาพต่ำลง ทำให้ต้องจำหน่ายผลิตภัณฑ์ออกไปในราคาที่ค่อนข้างต่ำ สาเหตุ

หลักมาจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เนื่องจากโรงงานได้เปลี่ยนการใช้ PE Virgin ไปเป็น PE Recycle ซึ่งมีราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่า เพื่อช่วยลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นปัญหาที่ตามมาก็คือผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานหรือกลายเป็นของเสียดังที่ได้กล่าวในเบื้องต้น

ในงานวิจัยที่ผ่านมา C. Albano และคณะ (1998) ได้ทำการวิจัยพลาสติกผสมระหว่าง PP กับ HDPE ชนิด Recycle และ Non-recycle พบว่ามีพลาสติกผสมที่มาจาก HDPE Recycle จะให้ค่าความทนแรงกระแทกมากกว่าของพลาสติกผสมที่มาจาก HDPE Non-recycle P. Miller (2001) ได้วิเคราะห์คุณสมบัติของผสมระหว่าง Recycle HDPE/Virgin PE พบว่าช่วงอุณหภูมิหลอมเหลวจะแคบลงเมื่อเทียบกับ Recycle HDPE เพียงอย่างเดียว S. Berlin และคณะ (2002) ทำการผสม Virgin LDPE/Recycle PP พบว่าสามารถเพิ่มความทนแรงกระแทก และความทนแรงดึง ณ จุดขาดจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณของ Recycle PP เพิ่มมากขึ้น

จากสภาพปัญหาและแนวทางการวิจัยข้างต้นที่กล่าวมา คณะวิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะลดปริมาณของแผ่นโฟมที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยการใช้ PE Virgin ร่วมกับ PE Recycle ทั้ง 2 เกรด คือ PE นิ่มขาว และ PE นิ่มชาด้วยเทคนิคการผสม 2 แบบคือ Physical blending และ Melt blending ด้วยเครื่อง Single screw extruder โดยในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงอัตราส่วนตลอดจนเทคนิคการผสมที่เหมาะสมระหว่าง PE แต่ละชนิด ในการเตรียมแผ่นโฟม PE/EVA ที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานตามเกณฑ์ของบริษัท

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การผสมพอลิเอทิลีน Virgin กับ Recycle

สัดส่วนการผสมระหว่าง PE Virgin/PE Recycle แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรผสม PE Virgin/PE Recycle

สูตร	1	2	3	4	5	6
PE Virgin	100	80	60	40	20	0
PE Recycle	0	20	40	60	80	100

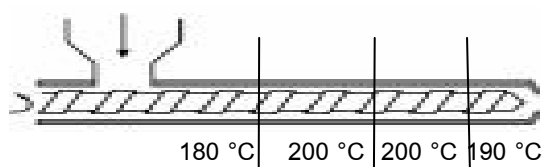
เทคนิคการผสมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มี 2 วิธี ได้แก่

(i) การผสมทางกายภาพ (Physical blending)

นำเม็ด PE Virgin และ PE Recycle มาใส่ถุงทำการเขย่าจนเม็ด PE กระจายสม่ำเสมอ ใช้เวลาประมาณ 3 นาที

(ii) การผสมแบบหลอมเหลว (Melt blending) ด้วยเครื่อง Single screw extruder

ใช้ความเร็วของสกรู 20 รอบ/นาที heater ทั้ง 4 ช่วงมีอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุณหภูมิของเครื่อง Single screw extruder

2.2 การเตรียมแผ่นโฟม

นำเม็ดที่ผ่านการผสมจากข้อ 2.1 มาผสมกับวัตถุดิบอื่นๆ (ตารางที่ 2) ด้วยเครื่อง Banbury mixer ที่อุณหภูมิ 115°C เป็นเวลา 3 นาที ผ่านเครื่อง Two-roll mill ที่มีอุณหภูมิ 98°C ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (gap) 0.5 มม. ความเร็วลูกกลิ้ง 26 รอบ/นาที ทำการผ่านของผสมที่ได้จนส่วนผสมเข้ากันได้ดีเป็นเวลา 2 นาที ได้ของผสมในรูปของ prefoam นำไปตัดขนาดตามบล็อกแล้วชั่งน้ำหนัก 1300 กรัม นำเข้าเครื่อง Compression molding ที่อุณหภูมิ 180°C ความดัน 150 บาร์ เป็นเวลา 15 นาที ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแผ่นโฟม นำมาเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิ 23±2°C และความชื้นสัมพัทธ์ 50±5% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

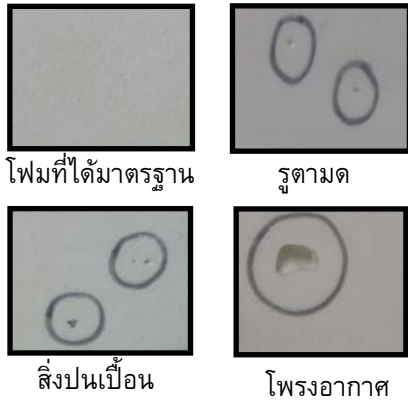
ตารางที่ 2 สูตรการผลิตแผ่นโฟม PE/EVA

องค์ประกอบ	ปริมาณสาร (g)
PE Virgin/PE Recycle	684.0
ethylene vinyl acetate (EVA)	74.0
calcium carbonate (CaCO ₃)	666.0
azodicarbonamide (ADC)	35.0
dicumyl peroxide (DCP)	9.5
zinc oxide (ZnO)	18.5
stearic acid	13.0
รวม	1500.0

2.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของโฟม

2.3.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องของชิ้นทดสอบ

ตรวจสอบข้อบกพร่องแผ่นโฟม PE/EVA ที่เตรียมได้โดยการสังเกตด้วยตาเปล่าเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของทางบริษัท ซึ่งวิเคราะห์ถึงข้อบกพร่องบนแผ่นโฟม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงลักษณะข้อบกพร่องที่พบบนแผ่นโพลีไคเทียบกับโพลีไคมาตรฐาน

ในการทดลองนี้จะวิเคราะห์จากชั้นทดสอบจำนวน 9 ชั้นต่อ 1 สูตร แล้วนำมาคำนวณร้อยละของโพลีไคที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ดังสมการที่ 1

$$\% \text{ของเสีย} = \left[\frac{\text{จำนวนชั้นทดสอบที่ไม่ได้มาตรฐาน}}{\text{จำนวนชั้นทดสอบทั้งหมด}} \right] \times 100 \quad (1)$$

2.3.2 ความหนาแน่นของโพลี

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3575-93 โดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง AB204 METTLER TOLEDO และวัดปริมาตรของชั้นทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ คำนวณค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบดังสมการที่ 2

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนักของชั้นทดสอบ (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของชั้นทดสอบ (ลบ.ซม.)}} \quad (2)$$

2.3.3 การวิเคราะห์โครงสร้างเซลล์ ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope

ใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาโครงสร้างการกระจายตัว และความสม่ำเสมอของเซลล์โพลี ทำการเตรียมชั้นทดสอบโดยใช้ใบมีดที่คมตัดชั้นทดสอบให้ผิวชั้นทดสอบมีความเรียบสม่ำเสมอไม่ควรมีรอยเงื่อนของใบมีด แล้วนำชั้นทดสอบไปติดบน Stub ด้วยกระดาษกาว 2 หน้า จากนั้นนำไปเคลือบทองด้วยเครื่อง Browser S-150-

HB ในบรรยากาศอาร์กอน ภายใต้ความดันสุญญากาศ 0.3 บาร์ นำชั้นทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น XL-30 CP Philips ที่กำลังขยาย 100 เท่า

2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกลของโพลี

2.4.1 การทดสอบความสามารถในการคืนตัว

การทดสอบความสามารถในการคืนตัวของชิ้นงานโพลีภายใต้แรงกด (Compression set) ตามมาตรฐาน ASTM D 3575-93 suffix B เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50×50×25 มม. ที่อุณหภูมิ 23±2°C และความชื้น 50 ± 5% ตามลำดับ วัดความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ, t_0 (มม.) แล้วนำไปวางในเครื่อง Compression set ดังรูปที่ 3 เป็นเวลา 20 ชม. หลังจากนั้นนำออกมาทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้ววัดความหนาหลังจากการคืนตัว, t_1 (มม.) ทำการคำนวณ Compression set (% C_d) โดยใช้การคำนวณดังสมการที่ 3

$$\% C_d = \left[\frac{t_0 - t_1}{t_0} \right] \times 100 \quad (3)$$



รูปที่ 3 เครื่องทดสอบ Compression set

2.4.2 การทดสอบความแข็งของโพลี

ทดสอบความแข็งของโพลี (Hardness) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2240-2000 โดยใช้ Durometer ชนิด shore C (รุ่น GS-701N Teclock) มีลักษณะหัวกดบอล กดลงบนชิ้นทดสอบขนาดใดก็ได้ที่ให้ด้านล่างของ Durometer แนบชิดกับผิวของชิ้นทดสอบให้มากที่สุด ทำการทดสอบที่สภาวะอุณหภูมิและความชื้นเช่นเดียวกับที่กล่าวไปข้างต้น แล้วอ่านค่าความแข็งภายใน 3 วินาที ทำการทดสอบ 3 บริเวณต่อ 1 ชิ้นทดสอบ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของโฟม

3.1.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องของชิ้นทดสอบ

จากตารางที่ 3 พบว่า PE Recycle ชนิดนี้่มขาวจะเกิด %ของเสียที่ต่ำกว่านี้่มขาว ส่วนเทคนิคที่ใช้ในการผสมระหว่าง Physical blending และ Melt blending นั้นไม่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนแผ่นโฟม และเมื่อปริมาณ PE Virgin มากขึ้น %ของเสียมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราส่วน 20:80 จะเกิดของเสียต่ำที่สุด 56% ใน PE นี้่มขาว:PE Virgin และ 11% ใน PE นี้่มขาว:PE Virgin

ตารางที่ 3 แสดงผลการตรวจสอบข้อบกพร่อง

อัตราส่วน PE Recycle:PE Virgin	%ของเสีย			
	นี้่มขาว		นี้่มขาว	
	PB	MB	PB	MB
100:0	100	67	67	89
80:20	78	56	67	78
60:40	89	100	22	56
40:60	78	67	22	22
20:80	56	56	11	11
0:100	0	0	0	0

หมายเหตุ PB หมายถึง Physical blending

MB หมายถึง Melt blending

3.1.2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของโฟม

ในการวิเคราะห์การทดสอบครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบความหนาแน่นที่ได้จากความหนาแน่นของ PE Virgin 100% พบว่าค่าความหนาแน่นที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 4

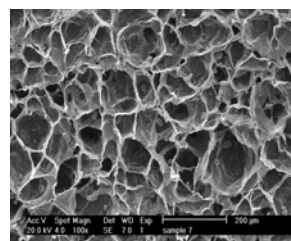
ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบความหนาแน่น

อัตราส่วน	ความหนาแน่น
	(กรัม/ลบ.ซม)

PE Recycle:PE Virgin	นี้่มขาว		นี้่มขาว	
	PB	MB	PB	MB
100:0	0.15	0.12	0.13	0.14
80:20	0.13	0.14	0.13	0.15
60:40	0.14	0.16	0.12	0.13
40:60	0.14	0.12	0.12	0.12
20:80	0.12	0.12	0.12	0.12
0:100	0.13	0.12	0.13	0.12

3.1.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างเซลล์ ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope

รูปที่ 4 แสดงภาพถ่าย SEM ของเซลล์โฟมซึ่งเป็นภาพ 2 มิติ แสดงลักษณะรูปร่างของเซลล์โฟมที่เป็นรูปสามเหลี่ยม ห้าเหลี่ยม และวงกลมโดยส่วนใหญ่ มีโครงสร้างของเซลล์เป็นแบบเซลล์ปิด



รูปที่ 4 แสดงภาพถ่าย SEM ของเซลล์โฟม (Melt blending PE Virgin 100%)

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาที่ PE Virgin 100% พบว่าเทคนิคการผสมไม่มีผลต่อความสม่ำเสมอของขนาดเซลล์โฟม แต่เมื่อพิจารณาการผสมระหว่าง PE Recycle:PE Virgin จะพบว่าเทคนิคที่ใช้มีผลต่อความสม่ำเสมอของขนาดเซลล์โฟม โดยโฟมที่ผสมด้วยเทคนิค Physical blending จะมีขนาดเซลล์โฟมที่ใหญ่กว่าและมีความสม่ำเสมอของขนาดเซลล์โฟมที่ต่ำกว่า Melt blending และเมื่อปริมาณ PE Recycle สูงขึ้นพบว่าความสม่ำเสมอของขนาดเซลล์โฟมจะต่ำลง ส่วนอัตราส่วนการผสมนั้นไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน

ตารางที่ 5 ผลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์โฟม

ชนิด PE	อัตราส่วน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์โฟม	
		PB	MB
นึ่งขาว: Virgin	100:0	104.53±40.33	85.95±25.06
	80:20	82.84±36.41	69.76±20.09
	60:40	90.45±29.96	84.05±9.73
	40:60	76.26±28.30	78.57±14.89
	20:80	101.92±31.78	82.38±16.00
Virgin	100	93.17±19.95	94.39±28.07
นึ่งขาว: Virgin	100:0	85.48±37.46	74.05±23.47
	80:20	104.15±26.33	87.86±35.05
	60:40	88.02±24.04	65.71±15.05
	40:60	117.14±32.54	84.05±23.80
	20:80	135.71±31.59	92.14±25.95

3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของโฟม

3.2.1 ผลการทดสอบการคืนตัวของโฟม

จากตารางที่ 6 พบว่าความสามารถในการคืนตัวของโฟมสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ด้วย SEM

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบการคืนตัวของโฟม

อัตราส่วน PE Recycle:PE Virgin	% Compression set			
	นึ่งขาว		นึ่งขาว	
	PB	MB	PB	MB
100:0	3.42	6.54	11.98	6.49
80:20	5.32	4.64	5.40	3.91
60:40	3.70	3.62	6.06	5.69
40:60	3.35	1.08	4.40	4.63
20:80	1.98	4.13	5.72	4.23
0:100	3.67	3.97	3.67	3.97

เมื่อพิจารณาเทคนิคที่ใช้ผสมแบบ Melt blending ซึ่งมีขนาดของเซลล์โฟมที่เล็กกว่าและมีความสม่ำเสมอของเซลล์โฟมมากกว่า Physical blending พบว่าโฟมมีความสามารถในการคืนตัวของโฟมที่ดีกว่า (ยกเว้นใน

กรณีของ PE Virgin 100%) และในทางเดียวกันเมื่อปริมาณ PE Recycle มากขึ้น ความสม่ำเสมอของขนาดเซลล์ลดลง แนวโน้มในการคืนตัวของโฟมจะต่ำลง ส่วนชนิดของ PE Recycle ไม่มีผลต่อการคืนตัวของโฟม

3.2.2 ผลการทดสอบความแข็งของโฟม

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าเทคนิคการผสมไม่มีผลกระทบต่อค่าความแข็งของโฟม แต่ปริมาณของ PE Virgin ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งลดลง โดยอัตราส่วน PE นึ่งขาว:PE Virgin ในเทคนิค Physical blending ไม่มีความแตกต่างกันมากนัก แต่เทคนิค Melt blending นั้นเมื่อปริมาณ PE นึ่งขาวเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งจะต่ำลง ส่วน PE นึ่งขาว:PE Virgin ในเทคนิค Physical blending พบว่าเมื่อปริมาณ PE นึ่งขาวเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งต่ำลง แต่เทคนิค Melt blending ไม่ให้ผลที่แน่ชัด

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบความแข็งของโฟม

ชนิด PE	อัตราส่วน	ความแข็ง (shore C)	
		PB	MB
นึ่งขาว: Virgin	100:0	54±1.77	48±1.98
	80:20	54±1.30	55±1.11
	60:40	50±1.58	52±0.92
	40:60	54±1.84	55±1.41
	20:80	46±0.85	50±0.80
Virgin	100	48±1.73	45±1.12
นึ่งขาว: Virgin	100:0	50±1.45	53±1.76
	80:20	50±1.58	54±0.98
	60:40	50±1.19	49±1.52
	40:60	48±1.63	48±1.45
	20:80	48±1.47	47±1.14

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพสรุปได้ว่า PE นึ่งขาว:PE Virgin ที่อัตราส่วน 20:80 จะเกิด % ของเสียต่ำที่สุด โดยเทคนิคการผสมไม่มีผลกระทบต่อของเสียที่

เกิดขึ้น ส่วนค่าความหนาแน่นพบว่าทั้งชนิดของ PE Recycle เทคนิคการผสม และอัตราส่วนไม่มีผลกระทบต่อความหนาแน่นของแผ่นโฟม และจากการวิเคราะห์โครงสร้างของเซลล์โฟมด้วย SEM พบว่าชนิดของ PE Recycle ไม่มีผลกระทบต่อขนาดและความสม่ำเสมอของเซลล์โฟม ส่วนเทคนิคการผสมแบบ Melt blending ของอัตราส่วน PE Recycle:PE Virgin จะมีความสม่ำเสมอของขนาดเซลล์โฟมที่ดีกว่า Physical blending ซึ่งอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมนั้นยังไม่มีผลที่แน่ชัด

สำหรับการทดสอบสมบัติเชิงกลสรุปได้ว่าความสามารถในการคืนตัวของโฟมสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วย SEM โดยขนาดของเซลล์โฟมที่สม่ำเสมอจะมีการคืนตัวที่ดี โดยพบว่าเทคนิคการผสมแบบ Melt blending ของ PE Recycle:PE Virgin จะมีการคืนตัวที่ดี ในขณะที่ชนิดของ PE Recycle ไม่มีผลต่อการคืนตัวของโฟม ส่วนการทดสอบความแข็งพบว่า PE นิ่มขาวที่ผสมด้วยเทคนิค Physical blending จะให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกับความต้องการของทางบริษัทคือความแข็งที่ 50 shore C ส่วนอัตราส่วนการผสมไม่มีผลกระทบ

จากผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาทางด้านชนิดของ PE Recycle จะพบว่าชนิดของ PE นิ่มขาว จะเกิดปริมาณของเสียที่ต่ำ และมีความแข็งใกล้เคียงกับที่ต้องการ สำหรับเทคนิคการผสมแบบ Melt blending จะทำให้ได้เซลล์โฟมที่สม่ำเสมอและมีการคืนตัวที่ดี ในขณะที่เทคนิคการผสมแบบ Physical blending จะให้ความแข็งที่ดี และอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมพบว่า เมื่อปริมาณของ PE Virgin สูงขึ้นจะทำให้ขนาดของเซลล์โฟมที่สม่ำเสมอ และการคืนตัวที่ดี อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยทางบริษัทให้ความสำคัญกับการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และความแข็งเป็นหลัก จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าการใช้เทคนิคการผสมแบบ Physical blending ชนิด PE นิ่มขาว:PE Virgin ที่อัตราส่วน 20:80 เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ทางบริษัทใช้อยู่ ทำให้ไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนการผลิต ทั้งเป็นการประหยัดพลังงาน

และค่าใช้จ่าย ส่วนชนิดของ PE Recycle นั้นพบว่า PE นิ่มขาว จะใช้สมบัติทางกายภาพและเชิงกลดีกว่านิ่มชา

5. กิตติกรรมประกาศ

สำหรับโครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย5) โครงการโครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2546 และขอขอบพระคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบริษัทศรีสำอางค์ ชัฟฟลายเออร์ จำกัด ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และวัตถุดิบในการเตรียมชิ้นทดสอบสำหรับโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- พิริยา คมสาคร และมลฤทัย อมรัตน์ศิริ, รายงานการฝึกงานเทคโนโลยีสะอาด ณ บริษัท ศรีสำอางค์ ชัฟฟลายเออร์ จำกัด, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- C. Albano, G. Sanchez and A. Ismayel, Influence of a Copolymer on the Mechanical Properties of a Blend of PP and Recycled and Non-recycled HDPE, *J. Polymer Bulletin*, vol. 41, pp 91 - 98, 1998.
- P. Miller, Thermal Analysis of Blends of Recycled HDPE and Virgin Polyolefins, ANTEC 2002 Plastics: Annual Technical Conference, Aug 19, 2003; Society of Plastics Engineers:USA, 2003.
- S. Bertin and J-J. Robin, Study and Characterization of Virgin and Recycled LDPE/PP Blends, *J. European Polymer*, vol. 38, pp 2255 - 2264, 2002.