

4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

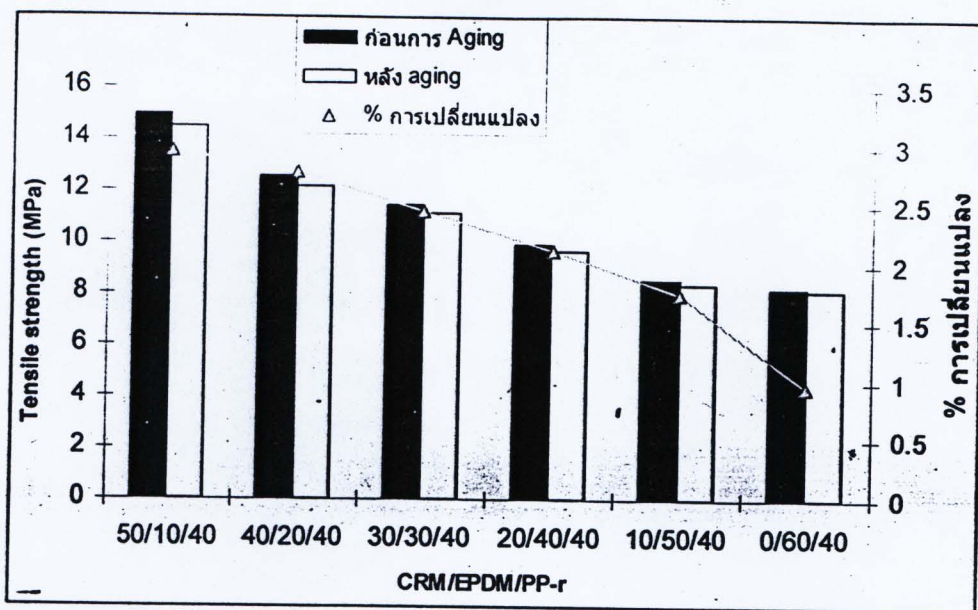
4.1 สมบัติ TPVs ยางครีมน้ำจากยางใหม่เอทิลีนโพรไพลีน (EPDM) และพอลิโพรไพลีน (PP) (CRM/EPDM/PP)

เนื่องจาก TPV ระบบดังกล่าว (EPDM/PP) เป็นระบบที่มีการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมมากที่สุด จึงเริ่มต้นการศึกษาที่ระบบนี้คือใช้สูตรในตารางที่ 4.1 ไดคิวมีลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) เป็นสารตัวกลาง Triallyl Cyanurate (TAC) เป็น Coagent สำหรับ DCP พลาสติกเป็นขบวนการพอลิโพรไพลีนบด โดยเลือกศึกษาที่ปริมาณพลาสติกต่ออย่างเป็น 60:40 เนื่องจากมีความต้องการใช้วัสดุ CRM ในปริมาณที่มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

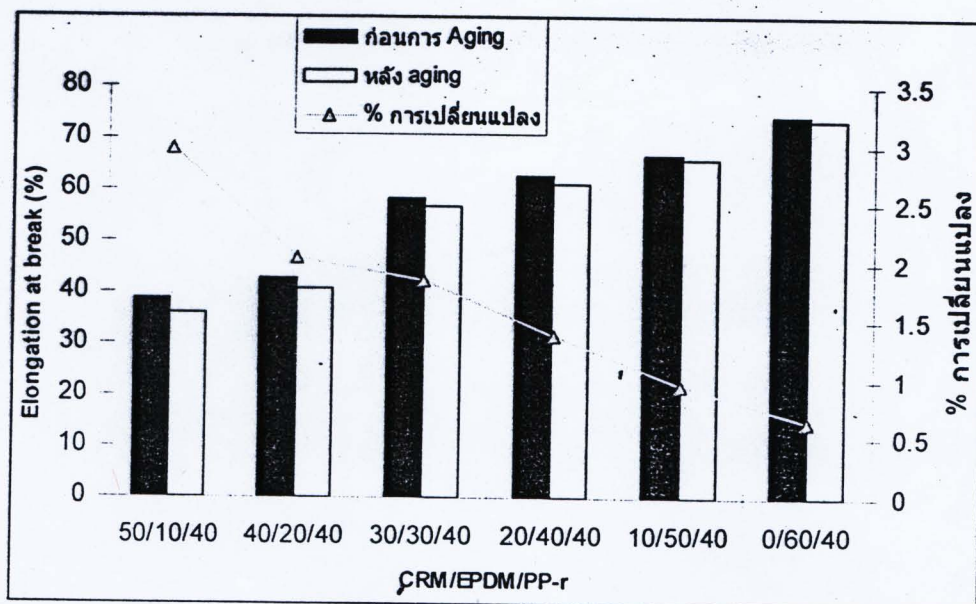
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียม TPVs จากการเบลนด์ CRM/EPDM/PP (สัดส่วนโดยน้ำหนัก)

สูตรที่	CRM	EPDM	PP	DCP	TAC
1	60	0	40	1	0.3
2	50	10	40	1	0.3
3	40	20	40	1	0.3
4	30	30	40	1	0.3
5	20	40	40	1	0.3
6	10	50	40	1	0.3
7	0	60	40	1	0.3

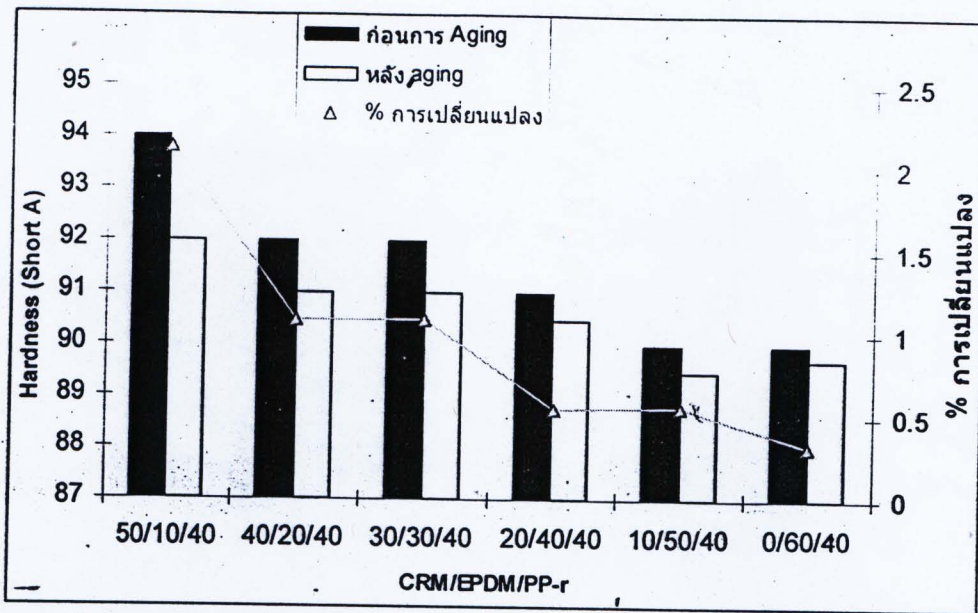
นำ TPVs ที่เตรียมได้ มาทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด ความแข็งแรง และค่าความต้านทานต่อการกระแทก เมื่อรักษาปริมาณพลาสติกคงที่และทดแทนยาง EPDM จากระบบ EPDM/PP มาตรฐาน (สูตร 7 จากตารางที่ 4.1) ด้วย CRM พบว่าค่าความต้านทานต่อการดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ CRM มากขึ้น (รูปที่ 4.1) เช่นเดียวกับค่าความแข็งแรง (รูปที่ 4.3) อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.2 และ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อทดแทนยาง EPDM ด้วย CRM ปริมาณมากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดลดลง และค่าความต้านทานต่อการกระแทกลดลงเล็กน้อย Naskar, Bhowmick และ De (2002) แสดงผลคล้ายคลึงกันสำหรับระบบ CRM/EPDM/HDPE กล่าวคือ CRM สามารถทดแทนยาง EPDM ได้ถึง 50% โดยสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก อย่างไรก็ตามในการวิจัยนี้ความสามารถในการยืดมีค่าลดลงค่อนข้างมากคาดว่าเป็นผลเนื่องจากความเข้ากันได้ของ EPDM/HDPE มีมากกว่า EPDM/PP ทำให้ EPDM ทำหน้าที่ยึดระหว่างผิว CRM กับพลาสติกได้ด้อยกว่าในกรณีของ PP



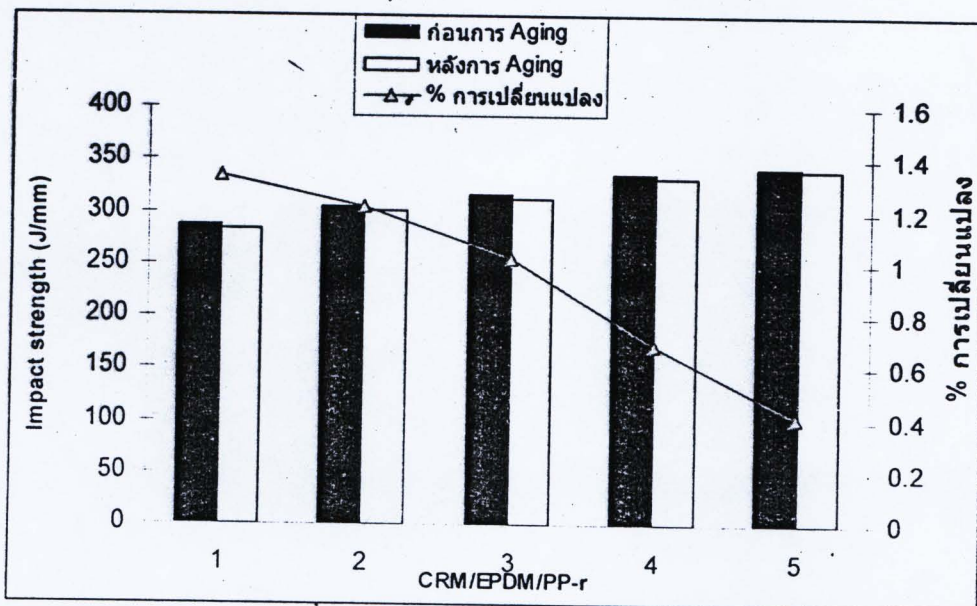
รูปที่ 4.1 ค่าความสามารถต้านทานต่อการดึงทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง ของ TPVs



รูปที่ 4.2 ค่าความสามารถในการยืดจนขาดทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมง ของ TPVs



รูปที่ 4.3 ค่าความแข็งทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมงของ TPVs



รูปที่ 4.4 ค่าความต้านทานต่อการกระแทกทั้งก่อนและหลังการ Aging ที่ 70 องศาเซลเซียส 72 ชั่วโมงของ TPVs

จากรูปที่ 4.1-4.4 จะเห็นได้ว่าสมบัติต่างๆของ TPVs มีค่าน้อยลงหลังจากทำการ Aging แต่ลดลงจากค่าเดิมไม่มาก เนื่องจากยาง EPDM มีสมบัติที่ทนต่อการถูกออกซิเดชันได้ดีทำให้สมบัติของ TPVs มีค่าลดลงจากเดิมไม่มาก และถ้ามีปริมาณของยาง EPDM มากขึ้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติที่น้อยลง

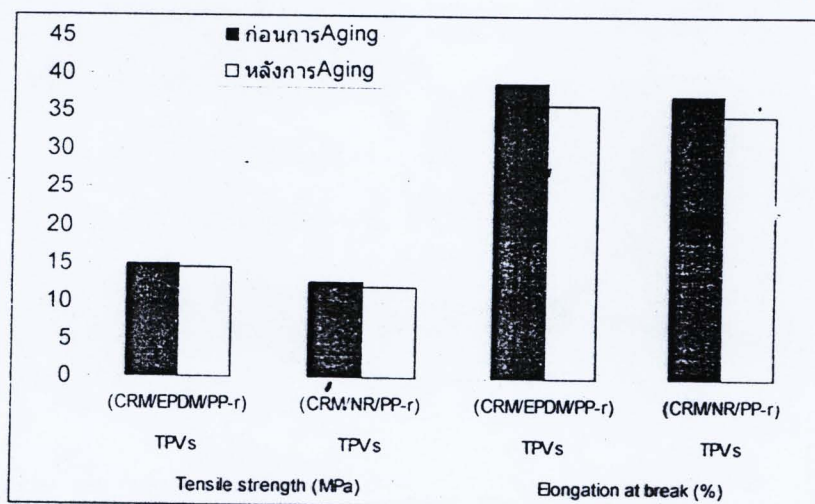
4.2 การศึกษาอิทธิพลของการใช้ยางธรรมชาติ (NR) ต่อสมบัติ TPVs (CRM/NR/PP)

ในลำดับต่อมาจึงใช้ยางธรรมชาติเพื่อทดแทนยางอีพียีเอ็ม ด้วยแนวคิดในการใช้ยางธรรมชาติทดแทนยางสังเคราะห์เมื่อเป็นไปได้ โดยใช้สูตรในการศึกษาดังตารางที่ 4.2 โดยเลือกสูตรที่มีการใช้ยางใหม่น้อยที่สุดเป็นจุดตั้งต้น

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียม TPVs จากการผสม CRM/NR/PP

สารเคมี	ปริมาณสาร
NR	10
PP	40
CRM	50
Stearic acid	1
ZnO	5
6 PPD	1
TMTD	1
S	2.5

นำ TPVs ที่เตรียมได้มาทดสอบค่าความต้านต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าสมบัติ TPVs ที่ได้จากการใช้ยางธรรมชาติมีสมบัติที่ด้อยกว่าเนื่องจาก ยางธรรมชาติเข้ากับพลาสติกได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ยาง EPDM แต่การใช้ยางธรรมชาติมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการใช้ยาง EPDM ถึงแม้ว่าต้นทุนดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งขณะรายงานผลเปรียบเทียบราคายางธรรมชาติ 80 บาทต่อกิโลกรัม และยาง EPDM ราคา 125 บาทต่อกิโลกรัม การใช้ยางธรรมชาติในระบบดังกล่าวยังเป็นแนวทางที่ดีกว่า เนื่องจากเป็นสินค้าหลักของประเทศไทย



รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานต่อการดึงและความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs จากยางธรรมชาติ กับ TPVs จากยาง EPDM

4.3 การศึกษาอิทธิพลของวัสดุหลักที่ใช้ คือ ยางธรรมชาติ, ยางครัมป์ และพลาสติกกรีไคเลที่มีต่อสมบัติของ TPVs (CRM/NR/HDPE)

ในการทดลองนี้ใช้ขบวนการพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (HDPE) เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนของวัสดุหลักที่ใช้เตรียม TPV ซึ่งในการทดลองจะใช้ระบบยางธรรมชาติโดยจะควบคุมปริมาณยางธรรมชาติคงที่ที่ปริมาณน้อยที่สุด คือ 10 wt. % โดยแปรปริมาณ CRM และ HDPE เนื่องจากทั้งสองส่วนเป็นวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ แสดงว่าระบบทั้งหมดนี้มีส่วนที่นำกลับมาใช้ใหม่ถึง 90 wt. % สูตรดังตารางที่ 4.3 ในขณะที่ระบบวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติจะเป็นระบบก้ำมะดันซึ่งเตรียมดังตารางที่ 4.4

การที่ได้เลือกใช้พอลิเอทิลีนในขั้นตอนนี้เนื่องจาก พอลิเอทิลีน เป็นพลาสติกที่มีความใกล้เคียงกับฟิลิพโซไลนที่ได้ทดลองมาแล้วข้างต้น แต่พอลิเอทิลีนมีความหลากหลาย จึงคาดว่าจะสามารถสรรหาเกรดของพอลิเอทิลีนเพื่อให้เหมาะสมกับสมบัติที่ต้องการ ได้ง่ายกว่าฟิลิพโซไลน และความสามารถในการหลอมของพอลิเอทิลีนที่หลอมง่ายกว่าฟิลิพโซไลนทำให้การเข้ากันได้ในขณะผสมทำได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

การบ่มแรงที่ใช้ทดสอบระบบ CRM/NR/HDPE นี้จะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D573-81 โดยใช้ขันทดสอบรูปคัมเบลล์ บ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมงเนื่องจากผลการทดลองที่ได้จาก CRM/NR/PP มีร้อยละการเปลี่ยนแปลงหลังการบ่มแรง (70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง) ที่ค่อนข้างต่ำจึงคาดว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่สูงขึ้น

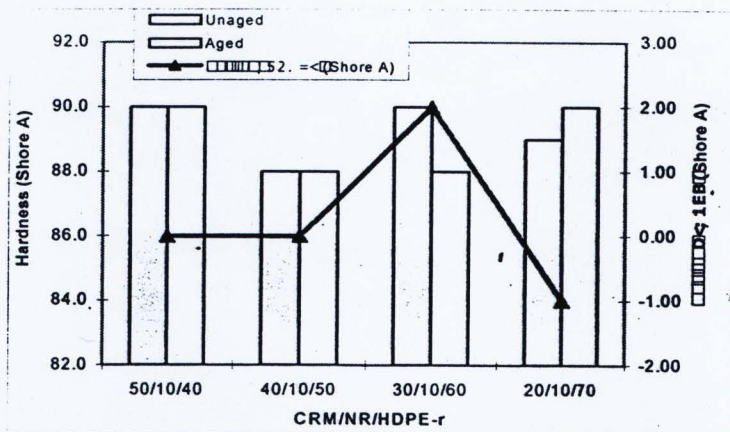
ตารางที่ 4.3 สัดส่วนที่ใช้ในการเตรียม TPVs

Formula	, Ingredients, parts by weight		
	CRM	NR	HDPE
1	50	10	40
2	40	10	50
3	30	10	60
4	20	10	70

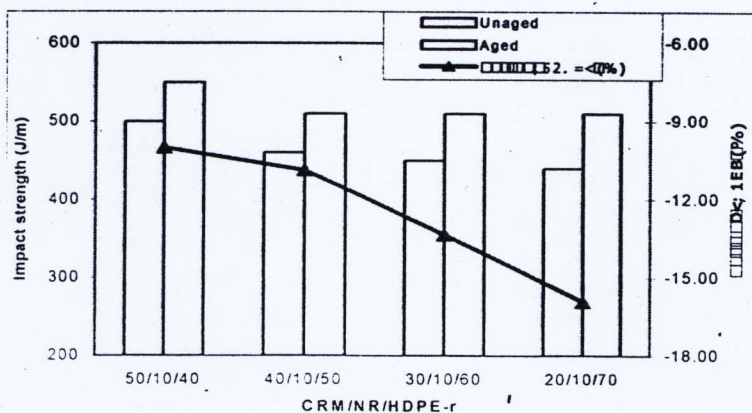
ตารางที่ 4.4 ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมมาสเตอร์แบช NR-CRM

Formula	Ingredients (phr)						
	CRM	NR	Stearic acid	ZnO	6 PPD	TBBS	Sulphur
1	500	100	1	5	1		
2	400	100	1	5	1	1	1.5
3	300	100	1	5	1	1	1.5
4	200	100	1	5	1	1	2.5

ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งมากนัก รูปที่ 4.9 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก ของ TPVs จาก CRM/NR/HDPE มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีปริมาณ HDPE ในองค์ประกอบมากขึ้น



รูปที่ 4.8 ค่าความแข็งของ TPVs ที่สัดส่วนการเบลนดต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง



รูปที่ 4.9 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของ TPVs ที่สัดส่วนการเบลนดต่างๆ โดยทำการเปรียบเทียบทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง

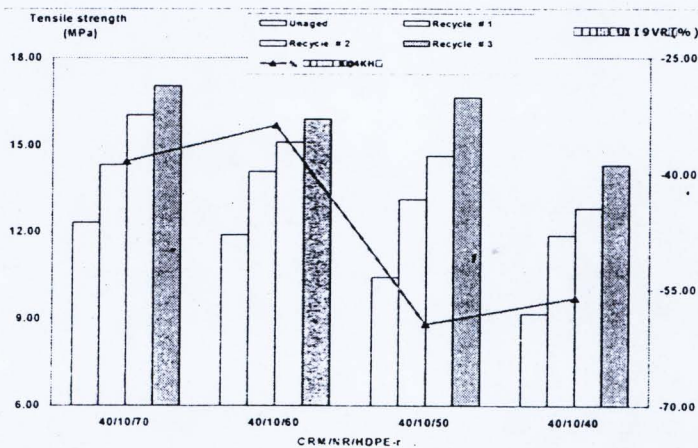
จากรูปที่ 4.6-4.7 พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPVs จาก CRM/NR/ HDPE หลังการบ่มเร่ง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่วนระยะยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าระหว่างการบ่มเร่ง น่าจะเกิดการ post-vulcanize ขึ้นจากพันธะคู่ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาในขั้นตอนการผสม ผลจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงขึ้น และระยะยืดจนขาดลดลง จากรูปที่ 4.8 พบว่า ค่าความแข็งของ TPVs จากการเบลนด์ CRM/NR/ HDPE ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งมีค่าเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก โดยค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 – 2 Shore A จากรูปที่ 4.9 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของ TPVs จาก CRM/NR/ HDPE หลังการบ่มเร่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดการ post-vulcanize ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นซึ่งการเกิดการ post-vulcanize ในระบบคล้ายคลึงกันนี้ได้ถูกนำเสนอมาแล้วโดย Kumar, Fhurmann และ Karger-Kocsis (2002) ในระบบ CRM/SBR/LDPE, CRM/NR/LDPE และ CRM/EPDM/LDPE

4.4 การศึกษาอิทธิพลพลาสติกที่มีต่อสมบัติของ TPVs และสมบัติด้านการรีไซเคิล

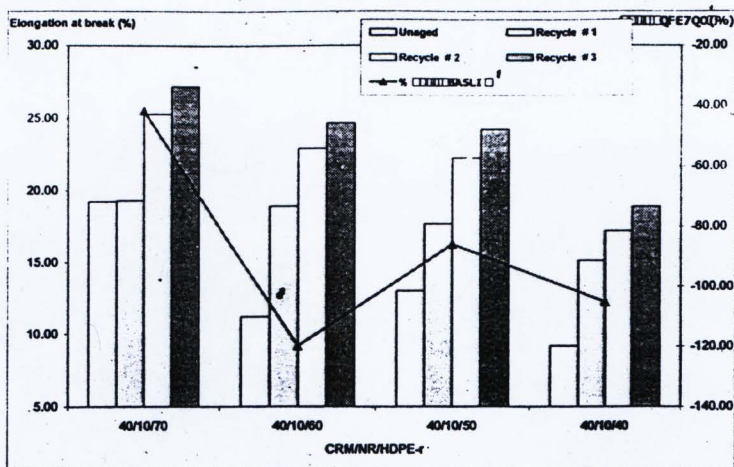
จากผลการทดลองที่ผ่านมาอัตราส่วนยางใหม่ค่อนข้างครัมป์มีค่าไม่คงที่ เมื่อพิจารณาถึงแนวความคิดที่ว่ายางใหม่ช่วยเพิ่มความเสถียรการยึดติดระหว่างยางครัมป์และพลาสติกด้วยการเป็นตัวเชื่อมระหว่างทั้งสองเฟสจึงมีความเป็นไปได้ว่าอัตราส่วนระหว่างยางครัมป์ต่อยางใหม่มีผลต่อสมบัติกายภาพของ TPV ที่ได้ จึงได้มีการทำการทดลองโดยกำหนดให้ปริมาณของ CRM/NR เท่ากับ 40/10 และแปรปริมาณของ HDPE ตามสัดส่วนดังตารางที่ 4.5 โดย HDPE ที่ใช้เป็นเกรดที่เตรียมจากขบวนการพลาสติกใช้แล้ว จากนั้นทำการทดสอบสมบัติด้านการรีไซเคิลโดยการนำ TPVs ที่เตรียมได้มาทำการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 72 จากนั้นจึงนำมาย่อยด้วยเครื่องย่อยพลาสติก แล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก และทดสอบสมบัติ โดยทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ถือเป็นการรีไซเคิลครั้งที่ 1 ทำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาหาค่าร้อยละของการเปลี่ยนแปลง โดยเปรียบเทียบระหว่างสมบัติก่อนการรีไซเคิล (unaged) และหลังจากผ่านการรีไซเคิลครั้งที่ 3 (recycle #3)

ตารางที่ 4.5 สัดส่วนการเบลนระหว่าง Masterbatch CRM-NR และ HDPE

Formula	Blend ratio		
	Masterbatch CRM-NR	HDPE	Masterbatch :HDPE
1	50	40	1.0 : 0.8
2	50	50	1.0 : 1.0
3	50	60	1.0 : 1.2
4	50	70	1.0 : 1.4

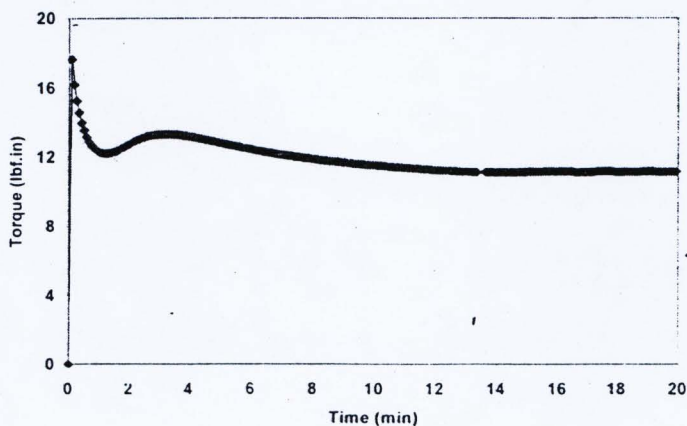


รูปที่ 4.10 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPVs โดยการแปรปริมาณ HDPE ทั้งก่อนและหลังการรีไซเคิล



รูปที่ 4.11 ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs โดยการแปรปริมาณ HDPE ทั้งก่อนและหลังการรีไซเคิล

จากรูปที่ 4.10-4.11 พบว่า ทั้งค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs สูงขึ้นตามปริมาณของพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา แต่การเพิ่มขึ้นของสมบัติมีน้อยกว่าขั้นตอน 4.3 ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนที่ 4.3 นั้นสัดส่วนของยางธรรมชาติต่อยางครีมนั้นมีค่าสูงขึ้นในขณะที่ในขั้นตอนนี้สัดส่วนมีค่าคงที่ ทำให้ในขั้นตอนการทดลองนี้ มีการเพิ่มขึ้นของสมบัติที่น้อยกว่าเนื่องจากสมบัติที่เพิ่มขึ้นเกิดเนื่องจากปริมาณพลาสติก และสัดส่วนระหว่างยางธรรมชาติและยางครีม นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าสมบัติหลังการรีไซเคิลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทั้งหมด ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าส่วนของ CRM-NR Masterbatch ยังวัดค่าไนซ์ไม่สมบูรณ์ มากกว่าจะเป็นเพียงปรากฏการณ์ post-vulcanize เท่านั้น ดังนั้นจึงได้มีการนำ CRM-NR Masterbatch ที่ใช้ในการเตรียม TPVs ในครั้งนี้ไปทดสอบสมบัติด้านการวัดค่าไนซ์ด้วยเครื่อง ODR ซึ่งสามารถแสดงผล ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ODR Curve ของ CRM-NR Masterbatch ที่มีสัดส่วนของ CRM/NR เท่ากับ 40/10

จากรูปพบว่า ยางมีการวัดค่าไนซ์เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งเป็นไปตามสันนิษฐานในข้างต้น ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณของ Curing agent ยังไม่เพียงพอ ซึ่งจะทำให้การศึกษาต่อไป

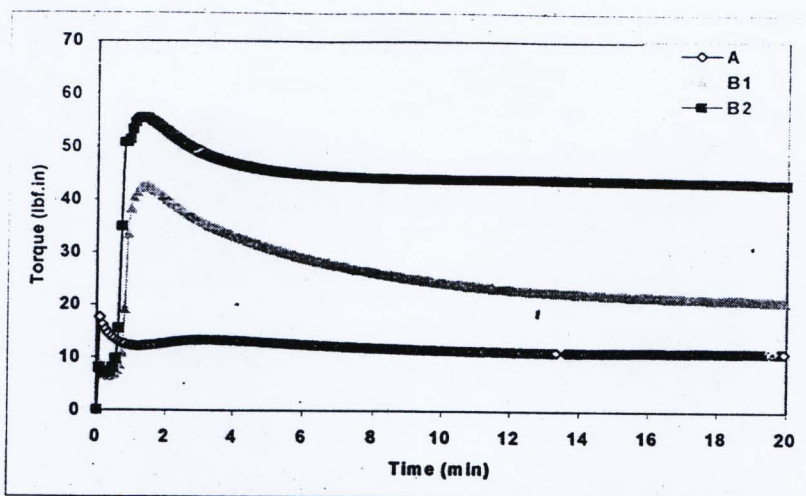
4.5 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารเคมีใน NR-CRM Masterbatch ที่มีต่อสมบัติของ TPVs

จากการเตรียม TPVs ตามสัดส่วนดังตารางที่ 4.6 โดยเพิ่มปริมาณสารเคมีในการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น 5-10 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณยางธรรมชาติ โดยมีข้อสันนิษฐานว่าสารเคมีในการวัลคาไนซ์อาจจะถูกใช้ไปบางส่วนเพื่อวัลคาไนซ์ผิวของ CRM และบางส่วนอาจสูญหายไปในเฟสพลาสติกได้ ในขั้นตอนนี้ยังใช้ HDPE เกรดขวคน้ำเช่นเดิม

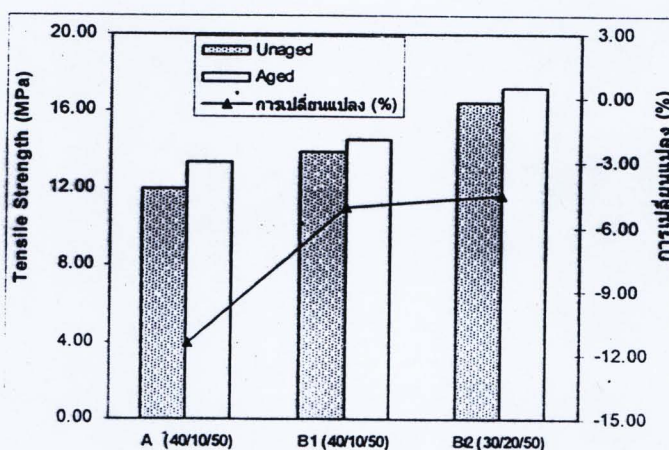
ตารางที่ 4.6 ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียม TPVs

Ingredients	Quantity		
	A	B	
	(normal)	B1	B2
HDPE	50	50	50
CRM	40	40	30
NR	10	10	20
Stearic acid	0.1	1	1
Zinc oxide	0.5	5	5
6PPD	0.1	1	1
TMTD	-	1	1
TBBS	0.1	-	-
Sulphur	0.25	2.5	2.5

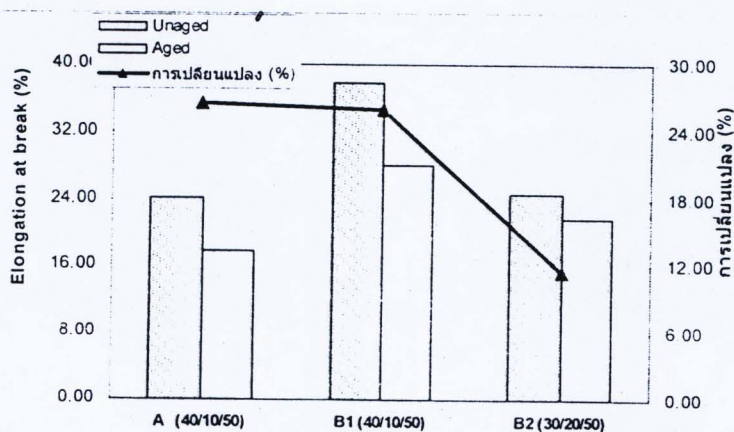
จากรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มปริมาณสารเคมีใน CRM-NR Masterbatch เป็น 10 เท่าของระบบปกติ ยางก็จะเกิดการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างสูตร B1 และ B2 พบว่าเมื่อปริมาณ CRM มากขึ้น ระยะเวลาก่อนที่จะค่าแรงบิดจะมีค่าคงที่จะยาวนานขึ้น ซึ่งอาจจะแสดงให้เห็นว่าสารเคมีที่ใส่ลงไปนอกจากจะนำไปใช้ในส่วนของยางธรรมชาติ (NR) แล้วยังมีการนำไปใช้ในส่วนของยางครัมป์ (CRM) อีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจาก ระหว่างการเตรียมมาสเตอร์แบชนั้น ยางครัมป์ผ่านการย่อยสลายทางเชิงกล จึงมีผลต่อพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นจากการวัลคาไนซ์ซึ่งมีบางส่วนที่ถูกทำลายลงระหว่างกระบวนการดังกล่าว



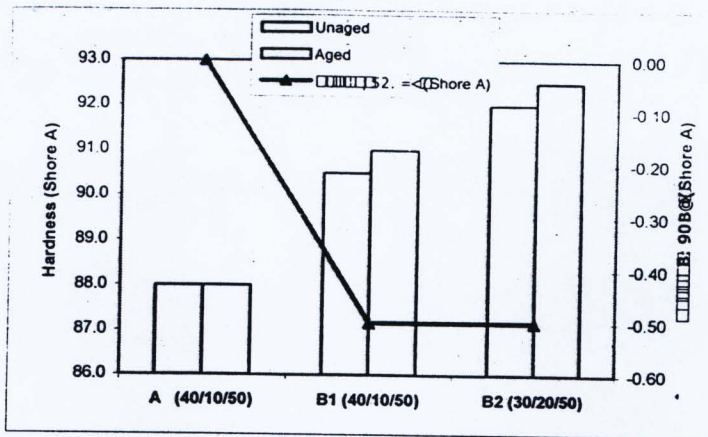
รูปที่ 4.13 ODR Curves ของ CRM-NR Masterbatch ที่มีการใช้ปริมาณสารเคมีต่างกัน



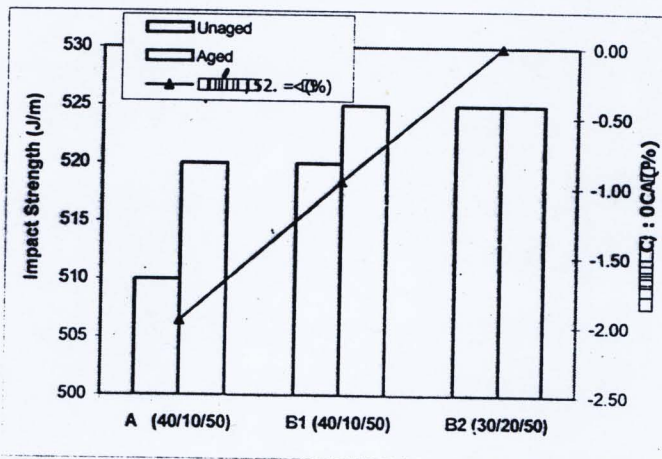
รูปที่ 4.14 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPVs สูตร A, B1 และ B2 โดยทำการเปรียบเทียบทั้ง ก่อนและหลังการบ่มเร่ง



รูปที่ 4.15 ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs ของสูตร A, B1 และ B2 โดยทำการเปรียบเทียบทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง



รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งของ TPVs สูตร A, B1 และ B2 โดยทำการเปรียบเทียบ
ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง



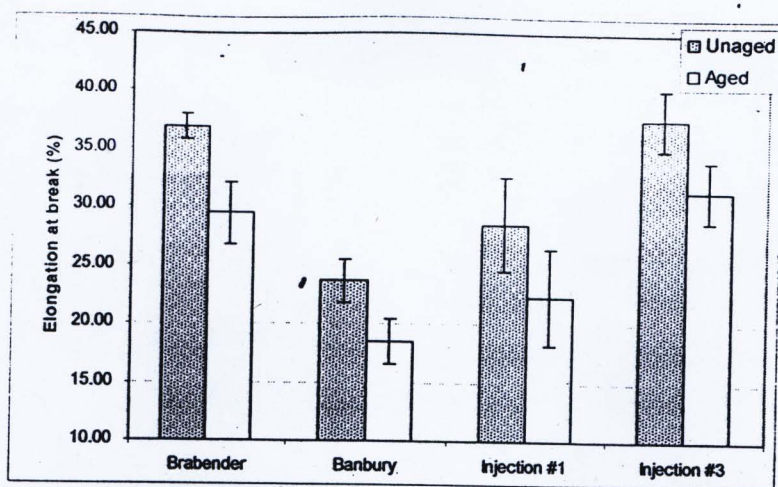
รูปที่ 4.17 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก ของ TPVs สูตร A, B1 และ B2 โดยทำการ
เปรียบเทียบทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง

จากรูปที่ 4.14-4.15 พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPVs จาก CRM/NR/ HDPE หลังการบ่มเร่ง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ส่วนระยะยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลที่เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมามีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงมีค่าลดลง

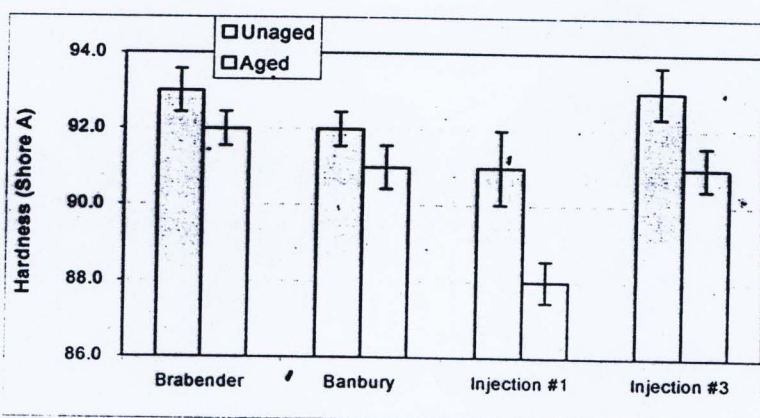
สำหรับค่าความแข็งของ TPVs ที่เตรียมโดยการใช้ปริมาณสารเคมีที่แตกต่างกัน จากรูปที่ 4.16 พบว่า ค่าความแข็งหลังการบ่มเร่ง มีค่าเปลี่ยนแปลงไปจากก่อนการบ่มเร่งไม่มากนัก โดยค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 – 0.5 Shore A จากรูปที่ 4.17 พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของ TPVs จาก CRM/NR/ HDPE หลังการบ่มเร่ง มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตร A การใช้ปริมาณสารวัลคาไนซ์สูงขึ้น 10 เท่าจะทำให้สมบัติทางกายภาพมีค่าที่สูงขึ้นทั้งหมด

4.6 การศึกษาการขยายกำลังการผลิต TPV

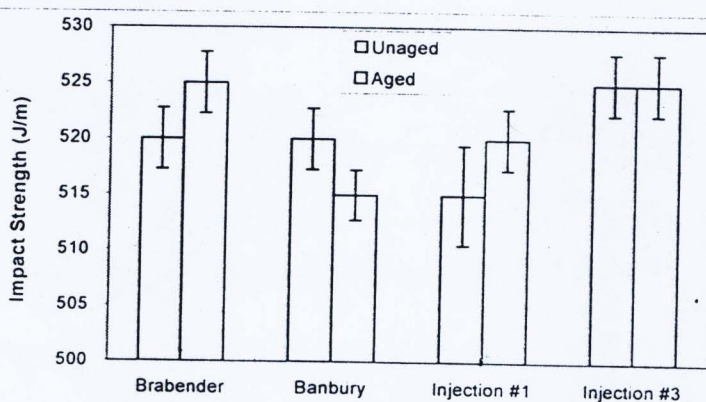
ทำการทดลองเตรียม TPVs ที่มีสัดส่วนของ CRM/NR/HDPE เท่ากับ 40/10/50 (ใช้ปริมาณสารวัลคาไนซ์ตามสูตร B1 ในตารางที่ 4.6) โดยการใช้เครื่องมือในการผสมที่แตกต่างกัน คือ บราเวนเดอร์ พลาสติกค็อกเตอร์ ขนาด 80 มิลลิลิตร, เครื่องผสมแบบปิดขนาด 2.5 ลิตรที่มีการดัดแปลงเพื่อระบบความร้อนสูง



รูปที่ 4.19 ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของ TPVs ที่เตรียมโดยการใช้เครื่องมือในการผสมที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.20 ค่าความแข็งของ TPVs ที่เตรียมโดยการใช้เครื่องมือในการผสมที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.21 ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของ TPVs ที่เตรียมโดยการใช้เครื่องมือในการผสมที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.18 ซึ่งแสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPVs จากการใช้เครื่องมือในการเตรียมที่แตกต่างกันมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการขยายกำลังการผลิตไปยังเครื่องผสมแบบปิด และเมื่อพิจารณาค่าความ

แปรปรวนของเครื่องมือโดยการพิจารณาค่า Standard Deviation (SD) ของค่าความต้านทานแรงดึง พบว่ามีความแปรปรวนอยู่ในระดับที่ต่ำ คือ มีค่าความแปรปรวนอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.53

สำหรับค่าความสามารถในการยึดจนขาด จากรูปที่ 4.19 มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง เมื่อขยายการผลิตไปยังเครื่อง Banbury จะทำให้ค่าลดลงค่อนข้างสูง รูปที่ 4.20-4.21 แสดงค่าความแข็งแรงและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก ซึ่งค่าทั้งสองมีความแปรปรวนระหว่างเครื่องมือไม่มากนัก ส่วนความแปรปรวนภายในเครื่องมือชนิดเดียวกันก็เป็นค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก ยกเว้นใน Injection 1# ที่มีค่าความแปรปรวนที่ค่อนข้างสูงกว่าการเตรียมโดยใช้เครื่องมือชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติแล้ว Injection ไม่ได้ถูกจัดให้เป็นเครื่องผสม ดังนั้นการผ่านเครื่อง Injection เพียงหนึ่งรอบจึงไม่สามารถทำให้เกิดการผสมที่ดีได้ แต่ถ้าหากได้มีการให้ TPVs ผ่านการฉีดเป็นจำนวนรอบมากขึ้น โอกาสที่จะเกิดการผสมเข้ากันได้ดีก็จะสูงขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การผสมโดยใช้ TPVs ผ่านเครื่องผสมสามรอบ สามารถเตรียม TPVs ที่มีค่าความแปรปรวนของการผสมที่ค่อนข้างต่ำ แสดงให้เห็นว่าในการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ไม่มีแนวโน้มของการลดลงของสมบัติทางกายภาพเนื่องจากผลของการผสมที่เปลี่ยนแปลงไป

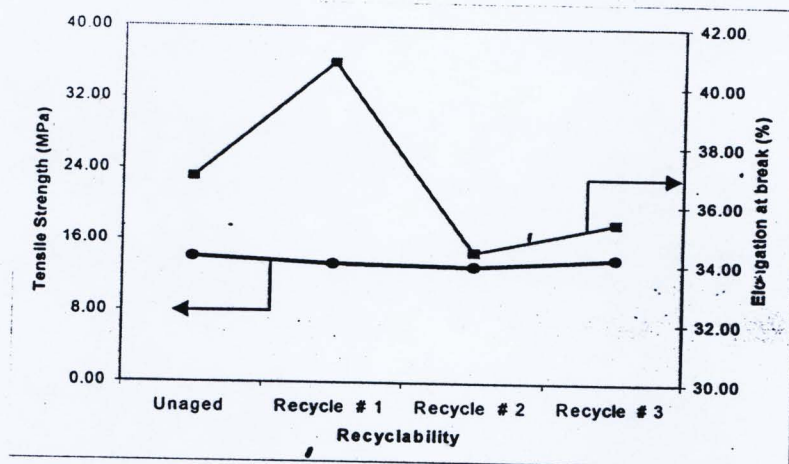
สำหรับการเตรียมโดยเครื่อง Banbury ซึ่งเป็นเครื่องมือผสมเช่นเดียวกับเครื่อง Brabender พบว่า TPVs ที่เตรียมได้มีสมบัติที่ดีกว่าการผสมโดยใช้เครื่อง Brabender ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการผสมโดยใช้เครื่อง Banbury เวลาการผสม Masterbatch 12 นาที ส่วน Brabender ใช้เวลา 6 นาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการผสมนี้มีผลต่อสมบัติของ TPVs เป็นอย่างมาก เนื่องจากลักษณะ Cure curve ของ Masterbatch เป็นแบบ Reversion ซึ่งการผสมที่ใช้เวลานาน ก็จะทำให้สมบัติตกลง

นอกจากนี้ประสิทธิภาพการผสมที่แตกต่างกันก็มีผลต่อสมบัติของ TPVs ที่เตรียมเช่นกัน คือ การผสมโดยเครื่อง Brabender ซึ่งมีปริมาตรของห้องเลื้อเท่ากับ 80 ลบ.ซม. ใช้เวลาในการผสม Masterbatch 6 นาที ส่วน Banbury มีปริมาตรของห้องเลื้อเท่ากับ 2,500 ลบ.ซม. ใช้เวลาในการผสม Masterbatch 12 นาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระหว่างปริมาตรที่ผสมได้ต่อเวลาที่ใช้ผสม พบว่า Banbury ใช้เวลาในการผสมน้อยกว่าเครื่อง Brabender ถึง 16 เท่า ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพการผสมของเครื่อง Banbury คือ การปรับปรุง Cure property ของ Masterbatch ให้มีช่วง Scorch time ที่ยาวขึ้น และมีลักษณะของ Cure curve ที่เป็น Plateau มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะสามารถเพิ่มเวลาในการผสมของเครื่อง Banbury ให้มากยิ่งขึ้น โดยที่สมบัติของ TPVs ไม่ตกลงมาก

จากการศึกษาสมบัติหลังการบ่มแรงของ TPVs ที่เตรียมโดยใช้เครื่องมือในการผสมที่แตกต่างกัน พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของ TPVs มีค่าลดลงหลังการบ่มแรงในทุกเครื่องมือ ยกเว้นเครื่อง Brabender ที่มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวนระหว่างเครื่องมือและภายในเครื่องมือชนิดเดียวกัน พบว่าค่าความแปรปรวนอยู่ในระดับต่ำ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ความแตกต่างของเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงหลังการบ่มแรงของ TPVs

สำหรับค่าความสามารถในการยึดจนขาดหลังการบ่มแรง รูปที่ 4.19 มีแนวโน้มที่ลดลงในทุกๆ เครื่องมือที่ใช้เตรียม TPVs ส่วนความแปรปรวนมีลักษณะใกล้เคียงกันกับผลก่อนการบ่มแรง คือการเตรียมโดยใช้เครื่อง Banbury และ Injection 1# ยังคงให้ค่าที่ต่ำ รูปที่ 4.20-4.21 แสดงค่าความแข็งแรงและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกหลังการบ่มแรง ซึ่งค่าทั้งสองมีแนวโน้มที่ลดลงในทุกๆ เครื่องมือที่ใช้เตรียม TPVs ยกเว้นเครื่อง Brabender ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวนก็พบว่าไม่มีแนวโน้มไป

ในทิศทางเดียวกับผลก่อนการบ่มแรง คือการผสมโดยใช้ Injection 1# ให้ค่าความแข็งและค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกที่มีความแปรปรวนสูงกว่าการผสมโดยใช้เครื่องมือชนิดอื่นๆ



รูปที่ 4.22 สมบัติด้านการรีไซเคิลของ TPVs

การทดสอบสมบัติด้านการรีไซเคิลของ TPVs ดังรูปที่ 4.22 พบว่า สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าระหว่างการรีไซเคิลในช่วงแคบๆ ส่วนค่าความสามารถในการยืดจนขาดมีการเปลี่ยนแปลงค่ามากกว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง

4.7 อิทธิพลของระบบวัลคาไนซ์และสัดส่วนยางครัมป์ต่อสมบัติของ TPVs

ทำการทดลองโดยแปรระบบวัลคาไนซ์ ดังตารางที่ 4.8 โดยในแต่ละระบบวัลคาไนซ์จะแปรสัดส่วนของยางครัมป์และพลาสติกไปด้วย ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ระบบวัลคาไนซ์ที่ใช้ทดลอง

ระบบวัลคาไนซ์
1. ระบบกำมะถันแบบปกติ (CV)
2. ระบบกำมะถันแบบกึ่งประสิทธิภาพ (Semi-EV)
3. ระบบกำมะถันแบบประสิทธิภาพ (EV)

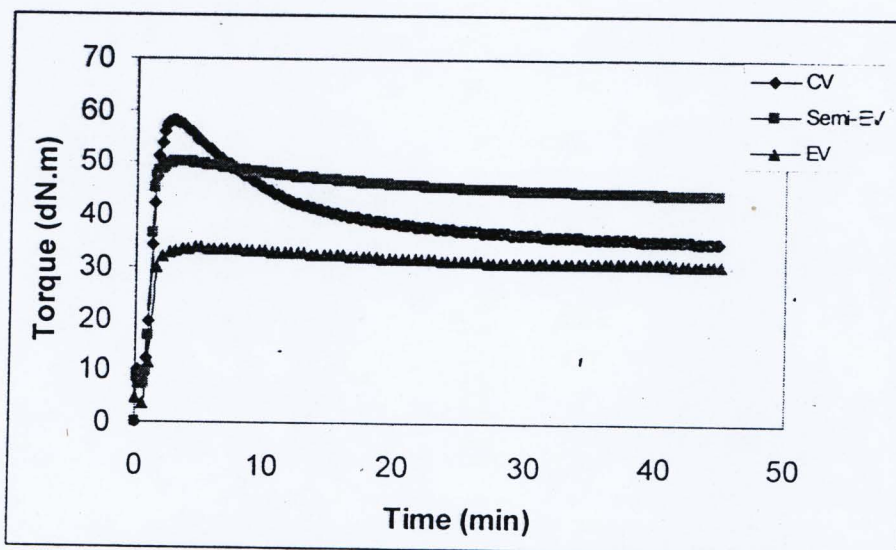
ตารางที่ 4.9 สัดส่วนของยางครีมี ยางธรรมชาติ และพลาสติก ที่ใช้ในการแปรรูปวัลคาไนซ์

Formula	CRM	NR	HDPE
1	30	10	60
2	40	10	50
3	50	10	40

จากการศึกษาปริมาณสารวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมที่สุดสรุปได้ว่า การเลือกใช้ปริมาณสารวัลคาไนซ์เทียบกับ ส่วนของยางและพลาสติกทั้งหมดจะ ให้สมบัติที่ดีกว่าการใช้ปริมาณสารวัลคาไนซ์เทียบกับส่วนอื่นๆ ดังนั้นการศึกษานี้จึงเลือกใช้ปริมาณสารวัลคาไนซ์ 10 phr และสัดส่วนยางครีมี 40/10/50 ต่อสมบัติของ TPVs จึงเลือกใช้ปริมาณ สารวัลคาไนซ์ 10 phr เทียบกับส่วนของยางและพลาสติกทั้งหมด

4.7.1 สมบัติการวัลคาไนซ์ของ CRM-NR Masterbatch

ทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ของ CRM-NR Masterbatch ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer 2000 ที่อุณหภูมิ 180°C ได้กราฟการวัลคาไนซ์หรือ ODR curve กล่าวคือความสัมพันธ์ระหว่าง แรงบิดกับเวลาแสดงดังรูปที่ 4.33



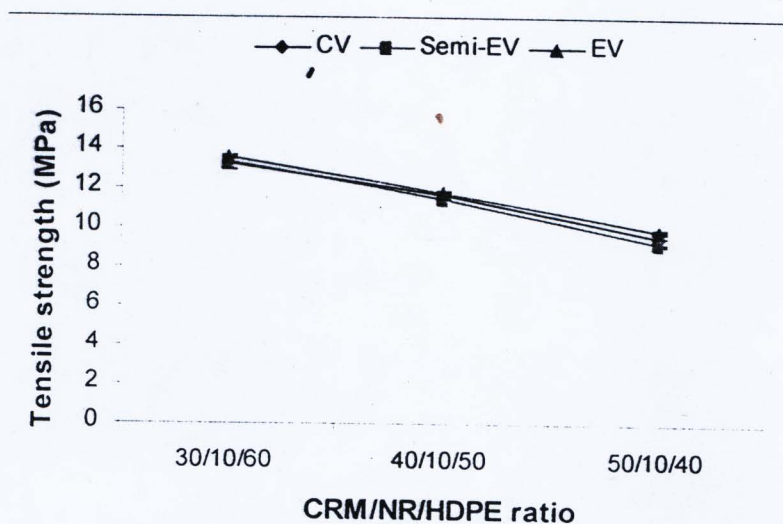
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กกับเวลาของ CRM-NR Masterbatch ที่แปรรูปวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ทั้งแบบปกติ, กึ่งประสิทธิภาพและแบบประสิทธิภาพ โดยเลือก CRM-NR Masterbatch ที่เตรียมสำหรับการเบลนด์สัดส่วน 40/10/50 ทดสอบด้วยเครื่อง ODR 2000 ที่ 180°C

ตารางที่ 4.10 ค่าทอร์คสูงสุด, ค่าทอร์คต่ำสุด, เวลาสก็อต และเวลาการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ที่แปรรูปวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน จากเครื่อง ODR ที่อุณหภูมิ 180°C

ระบบวัลคาไนซ์	M _L (dN.m)	M _H (dN.m)	M _H - M _L (dN.m)	T _{SI} (min)	T _{C90} (min)
CV	5.36	66.28	60.92	0.80	1.80
Semi-EV	7.05	50.13	43.08	0.75	1.43
EV	3.50	33.80	30.30	0.60	1.50

จากรูปที่ 4.33 และตารางที่ 4.10 จะพบว่าค่าทอร์คสูงสุด และเวลาสก็อตของระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันจะเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ แบบปกติ > แบบกึ่งประสิทธิภาพ > แบบประสิทธิภาพ ตามลำดับ จะพบว่าการวัลคาไนซ์แบบปกติจะมีการรีเวอร์ชันอย่างเห็นได้ชัด ส่วนแบบกึ่งประสิทธิภาพจะมีการรีเวอร์ชันน้อย ค่าทอร์คจะสูงที่สุดเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 10 นาที ส่วนแบบประสิทธิภาพจะมีการรีเวอร์ชันน้อยมากที่สุดและค่าทอร์คก็มีค่าต่ำที่สุด

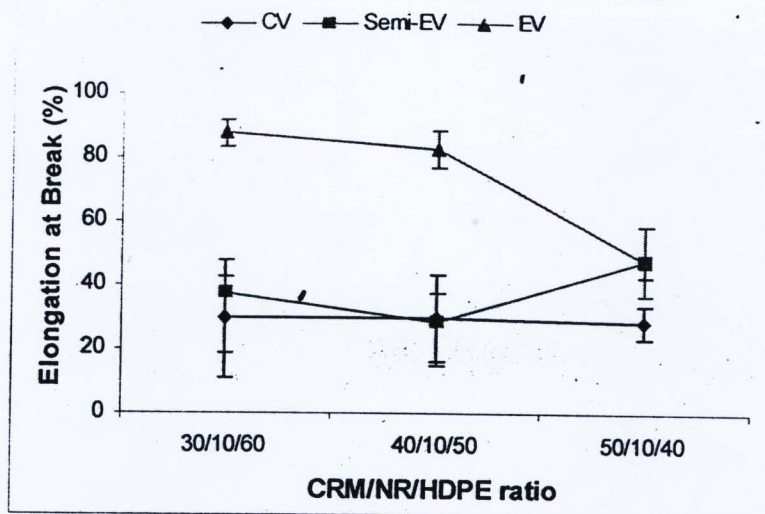
4.7.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานต่อแรงดึงกับสัดส่วนยางครัมป์ ของการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันทั้งแบบปกติ, กึ่งประสิทธิภาพและแบบประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 4.34 จะพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะสามารถเรียงลำดับตามสัดส่วนการผสมยางของ CRM/NR/HDPE จากมากไปน้อยได้ดังนี้ 30/10/60 > 40/10/50 > 50/10/40 แนวโน้มความต้านทานต่อแรงดึงจะลดลงเมื่อปริมาณยางครัมป์เพิ่มขึ้นในทุกระบบวัลคาไนซ์การเบลนด์ และในระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันทุกระบบจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงใกล้เคียงกันมากต่างกันเพียงจุดทศนิยม

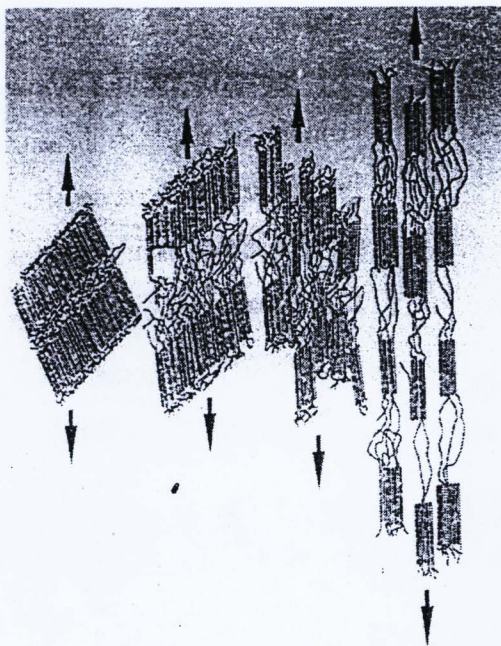
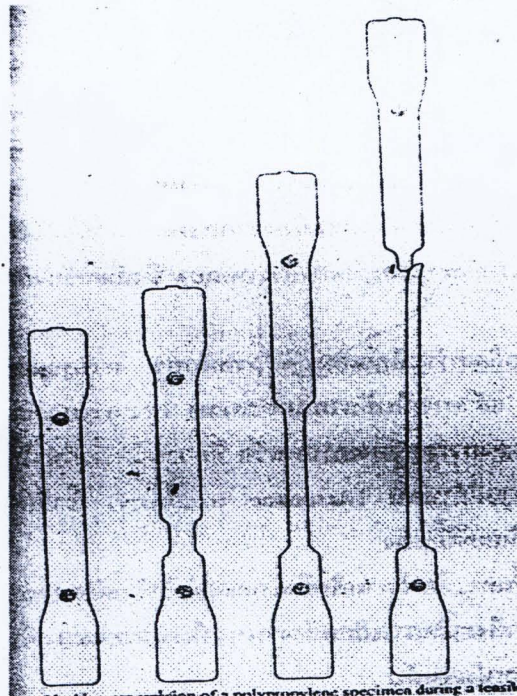
4.7.3 การทดสอบความสามารถในการยืดจนขาด



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการยืดจนขาดกับสัดส่วนยางครัมปี ของการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันทั้งแบบปกติ, กึ่งประสิทธิภาพและแบบประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 4.35 เป็นค่าความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ สามารถเรียงลำดับระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันที่มีความสามารถในการยืดจนขาดจากมากไปน้อยได้ดังนี้ แบบประสิทธิภาพ > แบบกึ่งประสิทธิภาพ > แบบปกติ โดยค่าความสามารถในการยืดจนขาดในระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันแบบประสิทธิภาพจะมีค่าสูงกว่าแบบอื่นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนปริมาณยางครัมปีที่มากขึ้นก็จะทำให้ความสามารถในการยืดจนขาดลดลงด้วย จะเห็นได้ชัดในการวัลคาไนซ์แบบประสิทธิภาพ ซึ่งโดยปกตินี้ยางที่วัลคาไนซ์แบบประสิทธิภาพจะมีสมบัติในความทนทานคือความร้อน ในลักษณะของความต้านทานต่อแรงดึง ค่าความสามารถในการยืดจนขาดและค่าความทนทานต่อแรงกด (Compression set) ดีกว่ายางที่วัลคาไนซ์แบบปกติ (พรพรรณ, 2528) ดังนั้นการแปรรูปที่ใช้เวลานานประมาณ 20 นาที ในอุณหภูมิสูงด้วยระบบวัลคาไนซ์แบบประสิทธิภาพนั้น เมื่อมีความต้านทานต่อการบ่มเร่งดีแล้วจึงมีความต้านทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดยังคงมีค่าสูงอยู่

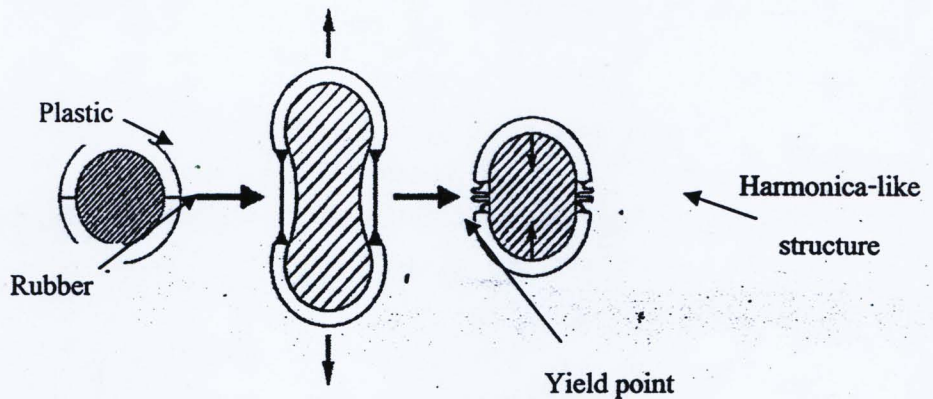
และจากรูปที่ 4.36 จะเป็นแบบจำลองเชิงโมเลกุลเมื่อถูกดึงจนขาดของพลาสติกจะเห็นว่าเมื่อพลาสติกถูกดึงจะเกิดเป็นผลึกขึ้นในสายโซ่ ทำให้มีความแข็งแรง และเมื่อถึงแรงค่าหนึ่งทำให้พลาสติกถึงจุดคราก (yield point) ทำให้ที่คอ (neck) ของชิ้นทดสอบเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างฉับพลัน เมื่อเพิ่มแรงดึงหรือระยะเวลาในการดึง สายโซ่โมเลกุลก็จะถูกดึงจนขาด



รูปที่ 4.36 แบบจำลองเชิงโมเลกุลการดึงจนขาดของพลาสติก
(สมบัติ และ หะหุรม, 2550 อ้างจาก Osswald, 1996)

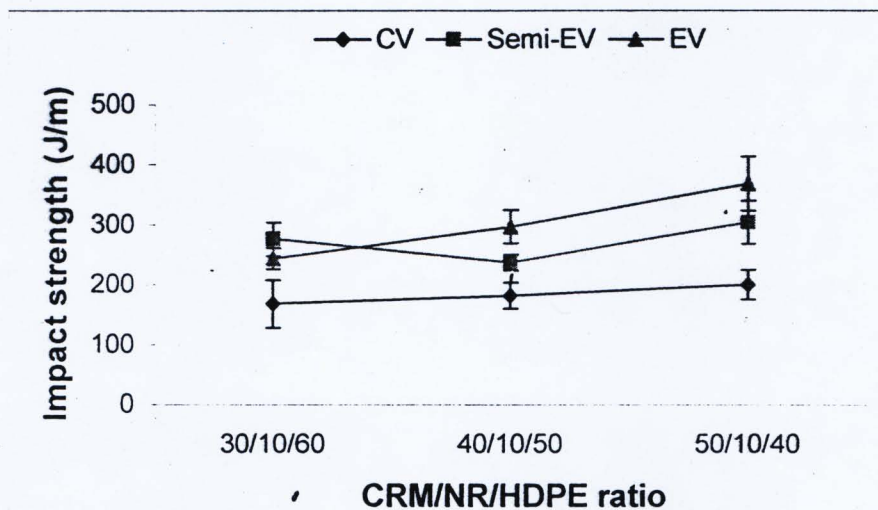
Duin (2006) ได้เสนอโมเดลอธิบายการยืดหยุ่นของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ โดยอธิบายว่า ลักษณะพื้นฐานของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์คือเฟสยางจะกระจายตัวในเฟสพลาสติก เฟสพลาสติกจะหุ้มล้อมรอบเฟสยางไว้ เมื่อมีแรงมากระทำหรือดึงก็ทำให้เฟสพลาสติกและเฟสยางยืดออกตามแนวแรงกระทำ เมื่อถึงแรงค่าหนึ่งทำให้พลาสติกถึงจุดคราก ทำให้พลาสติกเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร แต่เฟสของยางยังสามารถต้านทานต่อแรงได้ เฟสยางจึงดึงคืนตัวกลับแต่ไม่สามารถคืนตัวได้ 100% ทำให้เฟสของพลาสติกพับกลับ (fold back) ซ้อนกันเหมือนลักษณะของหีบเพลง (harmonica-like structure) แสดง

ดังรูปที่ 4.37 สมบัติความต้านทานต่อการยืดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของยางและพลาสติก และความเข้ากันหรือการยึดติดที่ผิวประจัญของเฟสยางกับเฟสพลาสติก



รูปที่ 4.37 โมเดลอธิบายการยืดหยุ่นของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ (TPVs elasticity model) (Duin, 2006)

4.7.4 การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก



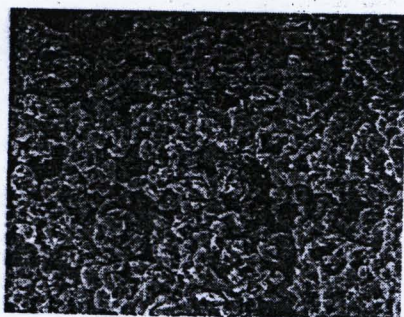
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานต่อแรงกระแทกกับสัดส่วนยางครีมีปี ของการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันทั้งแบบปกติ ถึงประสิทธิภาพและแบบประสิทธิภาพ

จากรูปที่ 4.38 พบว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันแบบปกติจะมีความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำกว่าระบบอื่น ส่วนระบบวัลคาไนซ์แบบกึ่งประสิทธิภาพจะมีค่าสูงที่สุดในสัดส่วนการเบลนด์ที่ 30/10/60 และจะมีค่าต่ำกว่าระบบวัลคาไนซ์แบบประสิทธิภาพ และจะพบว่าเทอร์โม-พลาสติกวัลคาไนซ์จะมีความต้านทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของยางครีมีปี และปริมาณของพลาสติกลดลง เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงเปราะ มีความเหนียว

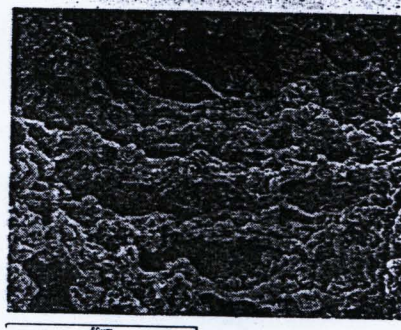
(Toughness) น้อย มีความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำ ส่วนยางครีปปี้จะมีความเหนียวทำหน้าที่คล้ายสารเพิ่มความทนแรงกระแทกและมีอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Glass transition Temperature, T_g) ต่ำกว่า อุณหภูมิห้องเมื่อนำไปผสมกับพลาสติกแล้วจะเป็นเฟสกระจายอยู่ในเมทริกซ์ เมื่อพอลิเมอร์เบสตันด์ได้รับแรงกระแทก ในขั้นแรก พลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นจะถูกดูดกลืนโดยพลาสติกก่อน ซึ่งถ้าพลังงานนี้ถูกถ่ายโอนไปให้ยางครีปปี้ได้ พอลิเมอร์เบสตันด์ก็จะไม่แตกหัก ในทางตรงข้ามหากพลังงานไม่ถูกถ่ายโอนยังคงค้างในพลาสติก จะทำให้เกิดความเค้นขึ้นในพลาสติกและจะเกิดการแตกหักได้ การที่พอลิเมอร์เบสตันด์จะรับแรงกระแทกได้นั้น บริเวณรอยต่อระหว่างเฟสพลาสติกกับอีลาสโตเมอร์จะต้องมีการยึดติดที่ดีด้วย (อรอุยา, 2546)

4.7.5 ลักษณะสัณฐานวิทยา

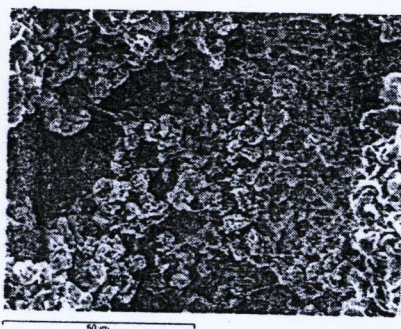
ทดสอบเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ใช้ระบบวัลคาไนซ์ด้วยกัมมะดันแบบปกติ แบบกึ่งประสิทธิภาพ และแบบประสิทธิภาพ โดยใช้เครื่อง SEM ได้ผลดังรูปที่ 4.39 และจะเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่แปรสัดส่วนการเบลนดระหว่างยางครีปปี้ ยางธรรมชาติ และพอลิเอทิลีน สัดส่วนเป็นดังนี้ 30/10/60, 40/10/50, 50/10/40 แสดงในรูปที่ 4.40



A; CV



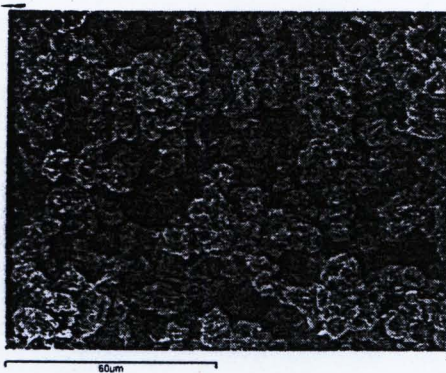
B; Semi-EV



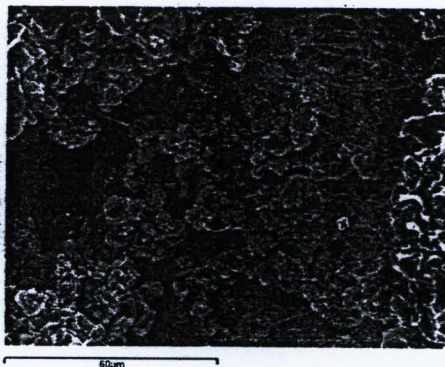
C; EV

รูปที่ 4.39 SEM Micrographs ของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากการเบลนดยางครีปปี้กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยจะแปรระบบวัลคาไนซ์ด้วยกัมมะดันแบบต่างๆ ที่ใช้สัดส่วนการเบลนด 40/10/50 ซึ่งใช้กำลังขยาย 1000 เท่า

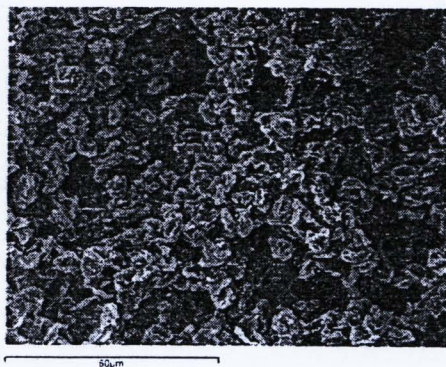
จากรูปที่ 4.39 แสดงสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีระบบวัลคาไนซ์ต่างกัน ซึ่งได้สกัดเอาเฟสของพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นส่วนของพลาสติกออกด้วยตัวทำละลายไซลีนที่เดือดประมาณ 30 วินาที ก็จะทำให้ผิวหน้าของชิ้นทดสอบเหลือเฉพาะเฟสของยางแล้วจึงนำไปทดสอบด้วยเครื่อง SEM ผลจะสังเกตเห็นเฟสของยางเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายตัวอยู่ในเฟสของพลาสติก ซึ่งแต่ละระบบวัลคาไนซ์จะทำให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกันไม่มากนัก และจะพบว่าการวัลคาไนซ์แบบปกติจะมีลักษณะผิวของเฟสยางที่ค่อนข้างเรียบที่สุด ส่วนแบบประสิทธิภาพก็จะมีลักษณะผิวหยาบเป็นกลีบคล้ายดอกกุหลาบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเฟสยางที่วัลคาไนซ์แบบปกติจะยึดเชื่อมต่อกับเฟสของพลาสติกได้ไม่ดี แสดงได้ว่าการเชื่อมต่อที่ผิวประจัญของเฟสพลาสติกและเฟสยางที่ดีทำให้สมบัติของเทอร์โมพลาสติกที่ดีไปด้วย



A; CRM/NR/HDPE (30/10/60)



B; CRM/NR/HDPE (40/10/50)



C; CRM/NR/HDPE (50/10/40)



รูปที่ 4.40 SEM Micrographs ของ TPVs ที่เตรียมจากการเบลนด้วยครีมปี้กกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยแปรสัดส่วนการเบลนดี โดยจะแปรระบบวัลคาไนซ์ด้วยกัมมันตภาพประสิทธิภาพ ซึ่งใช้กำลังขยาย 1000 เท่า

จากรูปที่ 4.40 เป็นสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่มีสัดส่วน CRM/NR/HDPE ต่างกัน จะพบว่าที่สัดส่วน 30/10/60 จะมีเฟสยางจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าสัดส่วนอื่นแต่จะมีความ

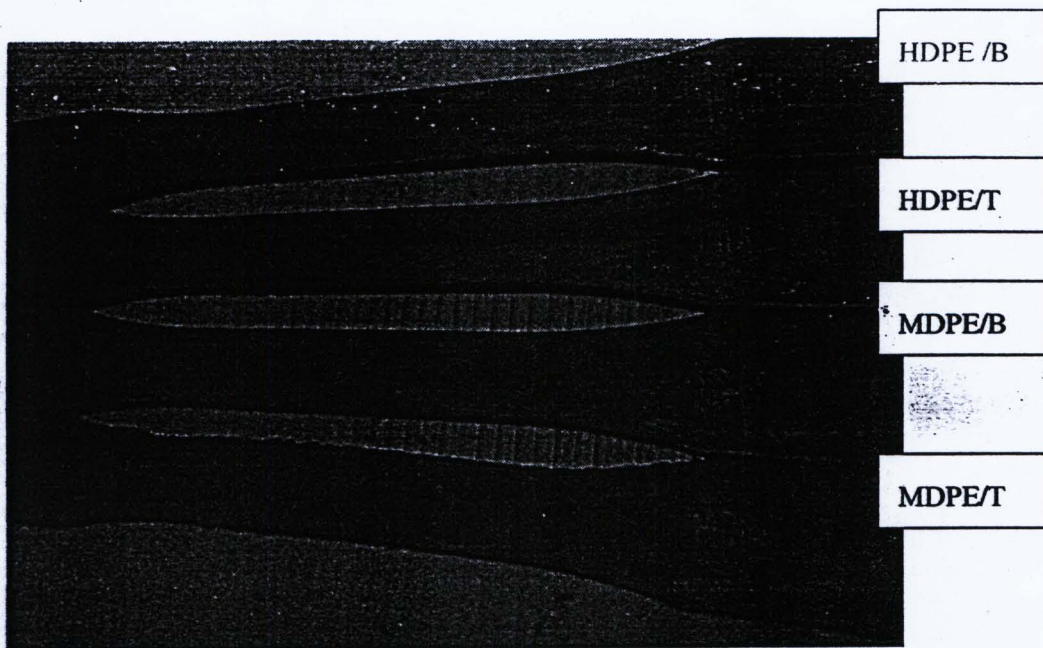
สม่ำเสมอมากที่สุด ส่วนที่สัดส่วน 40/10/50 จะมีขนาดและความสม่ำเสมอลดลงมาเล็กน้อย และที่สัดส่วน 50/10/40 จะมีขนาดเล็กกว่าสัดส่วนอื่นแต่มีความสม่ำเสมอ ซึ่งโดยปกติพื้นฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์เมื่อปริมาณยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นหรือปริมาณพลาสติกลดลง จะส่งผลให้อนุภาคของยางมีขนาดเล็กลง เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณยางธรรมชาติทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์เบลนค์มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้แรงเฉือนสูงขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กกว่ากรณีที่มียางธรรมชาติ น้อย (วิสุทธิ, 2550) แต่ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ครั้งนี้ยางครัมป์เป็นส่วนผสมซึ่งจะไปลดความหนืดของยางธรรมชาติลง ทำให้ขนาดอนุภาคไม่มีความสม่ำเสมอ เพราะในยางครัมป์จะมีส่วนของสิ่งเจือปนหรือเศษฝุ่น ทราชม์เล็กอยู่ด้วย เกิดจุดอ่อนที่ก่อให้เกิดโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ขาดได้ง่าย สามารถคืนกลับรูปร่างเดิมได้น้อย และสามารถยืดได้น้อย สมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ได้จึงไม่ดีนัก

จากสมบัติต่างๆ ดังกล่าวนั้น ระบบวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมและให้สมบัติดีกว่าระบบอื่นคือ ระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันแบบประสิทธิภาพ และจะเห็นว่าอัตราส่วนการเบลนค์ CRM/NR/HDPE ที่ให้สมบัติที่ดีที่สุดคือ 30/10/60 แต่ที่สัดส่วน 40/10/50 ซึ่งมีสมบัติรองลงมาเล็กน้อยนั้น จะสามารถลดต้นทุนได้มากกว่า จึงเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้งาน

4.8 ศึกษาชนิดของพอลิเอทิลีนและเครื่องจักรที่ใช้ในการเบลนค์

การทดลองที่ผ่านมาพลาสติกที่ใช้เป็นขดน้ำพลาสติกที่บดจนมีขนาดประมาณ 0.5 ซม. ซึ่งพบว่าจะหลอมค่อนข้างช้า และเป็นสภาพพลาสติกที่ไม่มีจำหน่ายพร้อมใช้ในท้องตลาดจึงได้เปลี่ยนมาซื้อ HDPE รีไซเคิลเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังได้แก้ไขปัญหากลอมช้าด้วยการบดละเอียด ด้วยเครื่องบดพลาสติกที่มีใช้ในอุตสาหกรรม โรโตโมล ทำการทดลองโดยแปรชนิดของพอลิเอทิลีนซึ่งจะใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเกรด R1760 และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง โดยพลาสติกทั้งสองเกรดมี Melt Flow Index ใกล้เคียงกัน และในการทดลองจะเบลนค์ CRM-NR Masterbatch กับพลาสติกในเครื่องบราเบนเดอร์และเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ เพื่อจะเปรียบเทียบสมบัติของเทอร์โมพลาสติกที่ได้จากการเตรียมเป็น batch ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์และการเตรียมแบบต่อเนื่อง ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ โดยเตรียมด้วยสูตร BI ในตารางที่ 4.6 ทั้งนี้เนื่องจากระบบอุตสาหกรรมในต่างประเทศการเตรียมเทอร์โมพลาสติกออสโตเมอร์จะใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่เป็นหลัก ในขณะที่ในประเทศไทยในวงการยางมีการใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่้อยู่ ความเป็นไปได้ที่จะต้องใช้เครื่องผสมแบบปิดในการผสมมีมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริษัทผู้ร่วมทุนไม่มีอุปกรณ์การผสมดังนั้นในขั้นต้นการว่าจ้างในการผสมจึงเป็นทางเลือกที่มีความเสี่ยงต่ำ ดังนั้นการทดสอบเพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของการผสมด้วยเครื่องจักรทั้งสองแบบจึงเป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจในการลงทุน

4.8.1 ลักษณะภายนอกของชั้นทดสอบ

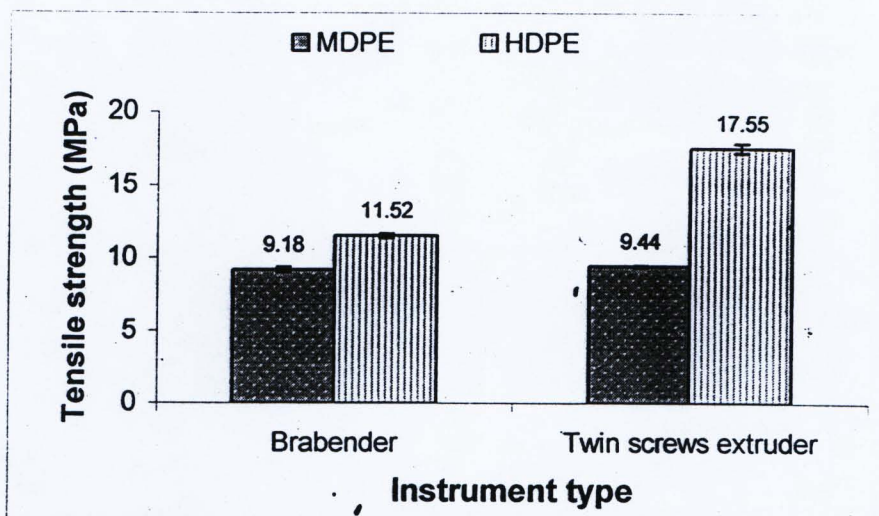


รูปที่ 4.41 ลักษณะของชั้นทดสอบ TPVs โดยแปรรูปพลาสติก (MDPE และ HDPE) โดยเบลนด์กับเครื่องบราวนเดอร์ (B) กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ (T)

จากรูปที่ 4.41 จะสามารถสังเกตได้ว่าผิวของชั้นทดสอบทั้งหมดมีผิวเรียบ ไม่มีเศษยางหลุดออกมา สะเก็ดเงิน (silver streak) เกิดน้อยมาก จะพบว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะมีผิวเรียบเป็นมันมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง โดยเฉพาะที่เบลนด์ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ จะให้ผิวเป็นมันสวยกว่าชั้นอื่น แต่ที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจะผิวไม่มัน

4.8.2 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดพลาสติก (MDPE และ HDPE) โดย เบลนค์กับเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ จะได้ดังรูปที่ 4.42

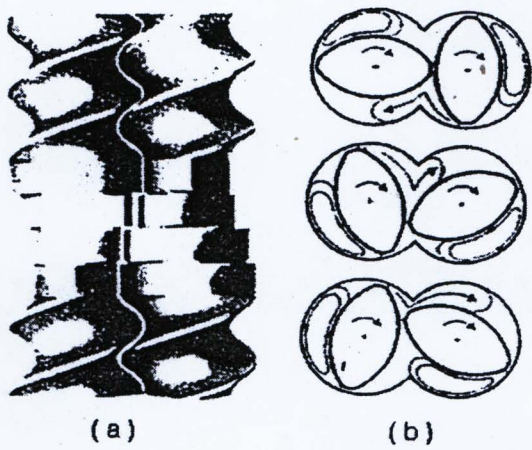


รูปที่ 4.42 ความทนทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดพลาสติก (MDPE และ HDPE) โดยเบลนค์กับเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่

จากรูปที่ 4.42 พบว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง จะมีความต้านทานต่อแรงดึงน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง เมื่อได้รับแรงดึงทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบเกิดผลึกได้มาก ทำให้มีความแข็งแรงต้านทานต่อแรงดึงมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางซึ่งจะมีความกึ่งกันสาขามากกว่า ไปขัดขวางการเกิดเป็นผลึก

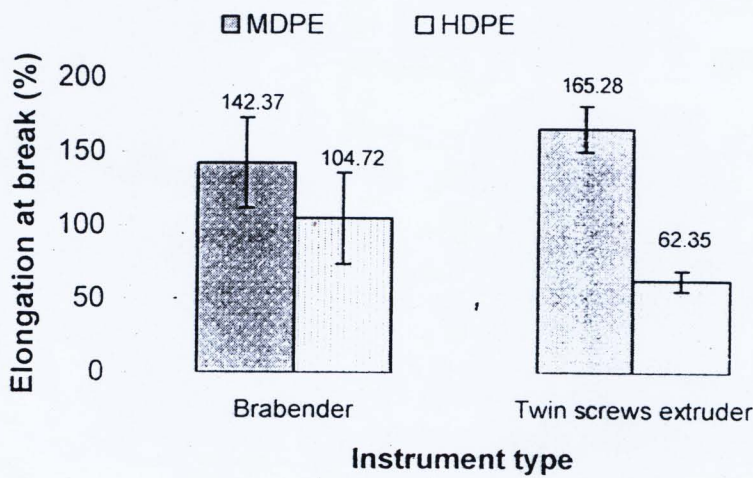
ส่วนเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เบลนค์กับเครื่องบราเบนเดอร์ จะมีความต้านทานต่อแรงดึงน้อยกว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เบลนค์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่จะมีสกรูคู่ขบกันดังรูปที่ 4.43 เกิดมีแรงเสียดทานมากกว่าทำให้เบลนค์เข้ากันได้ดีกว่าเครื่องบราเบนเดอร์ การใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ยังประหยัดเวลาในการเบลนค์เพราะจะป้อนพลาสติกเข้าสู่ Hopper แรกก่อน ปลดพลาสติกสู่สกรูที่อุณหภูมิสูง 170°C ทำให้หลอม แล้วป้อน CRM-NR masterbatch เข้าสู่ hopper ที่สองได้ตรงกลางของบารเรล (Barrel) ทำให้สามารถผสมได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งเมื่อเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เบลนค์แล้วผ่านหัวดายน์ (Die) ออกมาจะผ่านน้ำระบายความร้อนแล้วต่อเข้ากับเครื่องตัดเม็ดพลาสติกได้ทันทีอย่างต่อเนื่อง ทำให้ประหยัดเวลาในส่วนนี้ แต่ข้อเสียของการใช้เอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ในการทดลองนี้คือจะต้องเตรียม CRM-NR masterbatch เป็นเม็ดเล็กๆ หนาเพียง 3 มิลลิเมตร โดยการผ่านเครื่อง Cold feed extruder เพื่อทำให้เป็นเส้นก่อนและตัดเป็นเม็ดเล็กๆ ด้วยเครื่องตัดเม็ด เมื่อเม็ด CRM-NR masterbatch มีปริมาณมารวมกันจะเหนียวติดกันเป็นก้อน ทำให้การป้อนเข้าสู่เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ สกรูคู่ผิดพลาด ปริมาณยางที่ป้อนไม่สม่ำเสมอ สัดส่วนการเบลนค์ไม่คงที่ สมบัติที่ได้จึงจะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจะต้องแก้ไขปัญหานี้ด้วยการเหนียวติดกันของ CRM-NR masterbatch เสียก่อน ในการทดลองนี้จึงแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการนำ CRM-NR masterbatch เส้นที่เตรียมจาก cold feed extruder มาตัดเม็ด

แล้วคลุกด้วยส่วนของพลาสติกเพื่อไม่ให้เม็ดของ CRM-NR masterbatch ติดกัน จึงทำให้สามารถ
 แก้ปัญหาการติดกันของยางที่นำมาเบลนได้ อย่างไรก็ตามการที่จำเป็นต้องเตรียมยางเป็นเม็ดนั้นเป็น
 ข้อจำกัดสำคัญของการผลิตด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์กล่าวคือเพิ่มขั้นตอนในการเตรียมยางทำให้มี
 ค่าใช้จ่ายสูงขึ้น และข้อจำกัดในการเลือกชนิดของยาง ถ้าหากยางมีความเหนียวติดสูง หรือมีความนิ่ม
 สูง อาจจะทำให้ไม่สามารถเตรียมด้วยวิธีนี้ได้



รูปที่ 4.43 เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบเกลียวคู่: (a) ลักษณะของเกลียว; (b) การเคลื่อนที่ของ
 วัสดุคิบ

4.8.3 การทดสอบสมบัติความสามารถในการยืดจนขาด

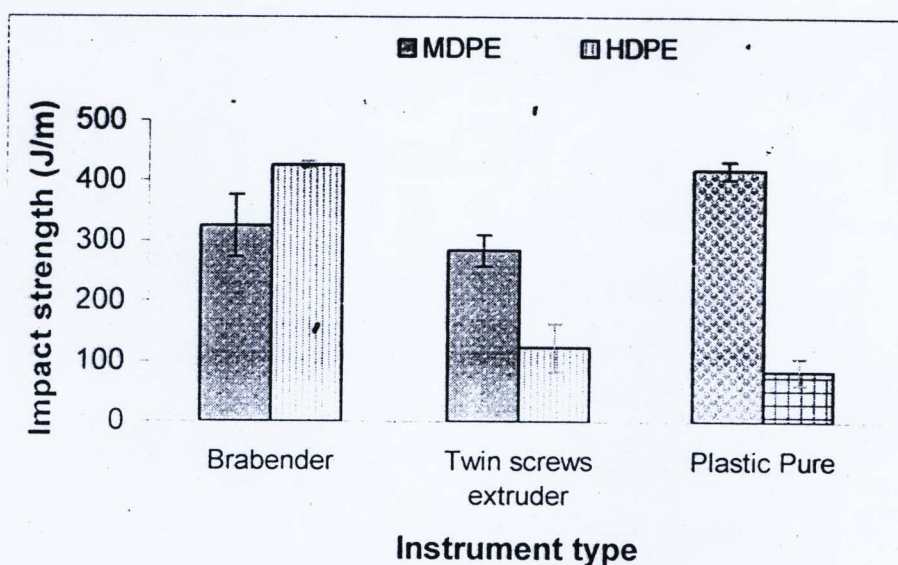


รูปที่ 4.44 ความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดพลาสติก
 (MDPE และ HDPE) โดยเบลนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่

ความทนทานต่อการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จากรูปที่ 4.44. พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจะมีความทนทานต่อการยืดจนขาดมากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เนื่องจากชนิดความหนาแน่นปานกลางจะเกิดผลึกได้น้อยเมื่อยืด ทำให้สามารถยืดได้ดีกว่า

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเบลนดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สรุปพบว่าความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดต่างกันจะมีลักษณะความสามารถในการยืดจนขาดต่างกันด้วย คือในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเบลนดด้วยเอกซ์ทรูดเดอร์ ส่วนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเบลนดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ อาจเนื่องมาจากเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงและโมดูลัสสูงขึ้นอย่างชัดเจน ทำให้ค่าความสามารถในการยืดมีค่าลดลงอย่างชัดเจนเช่นเดียวกัน ในขณะที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางยังสามารถคงสมบัติความสามารถในการยืดจนขาดได้เช่นเดียวกับค่าความต้านทานต่อแรงดึงที่ค่อนข้างคงที่

4.8.4 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก



รูปที่ 4.45 ความต้านทานต่อแรงกระแทกของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่แปรรูปพลาสติก (MDPE และ HDPE) โดยเบลนดกับเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สรุป

จากรูปที่ 4.45 พบว่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจะมีค่าสูงกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงอย่างเห็นได้ชัด หรือมีความเหนียวมากกว่าเนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจะมีกิ่งก้านสาขาในโครงสร้างโมเลกุลมาก มีผลึกน้อย ซึ่งผลึกจะทำให้พลาสติกมีลักษณะแข็งเปราะ ทำให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางมีคุณสมบัติเด่นด้านทนแรงกระแทก ทรงรูป ใช้ในงานอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

จะสังเกตว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจะมีความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำกว่าพอลิเอทิลีนชนิดปานกลางเพียงอย่างเดียว วัสดุยางจึงไม่ช่วยเพิ่ม

ความทนทานต่อแรงกระแทกให้กับพลาสติกที่มีสมบัติแข็งเหนียวเป็นเบื้องต้นได้ตีเท่าที่ควร อย่างไรก็ตามการทดสอบจะต้องดูลักษณะการแตกของชิ้นงานด้วย ในที่นี้ชิ้นทดสอบพลาสติกเพียงอย่างเดียวจะมีการแตกและแยกมากกว่า 90% จากการตีเพียงครั้งเดียว ส่วนเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางจะไม่แตกจากการตีเพียงครั้งเดียวแม้ว่าค่าความทนทานต่อแรงกระแทกจะต่ำลงก็ตาม ส่วนเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะมีความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าที่เป็นพลาสติกล้วน เพราะเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์จะมีเฟสของยางทำหน้าที่ในการดูดกลืนพลังงานการกระแทกไว้ ทำให้เกิดการแตกหักได้ยากขึ้น ดังตารางที่ 4.11

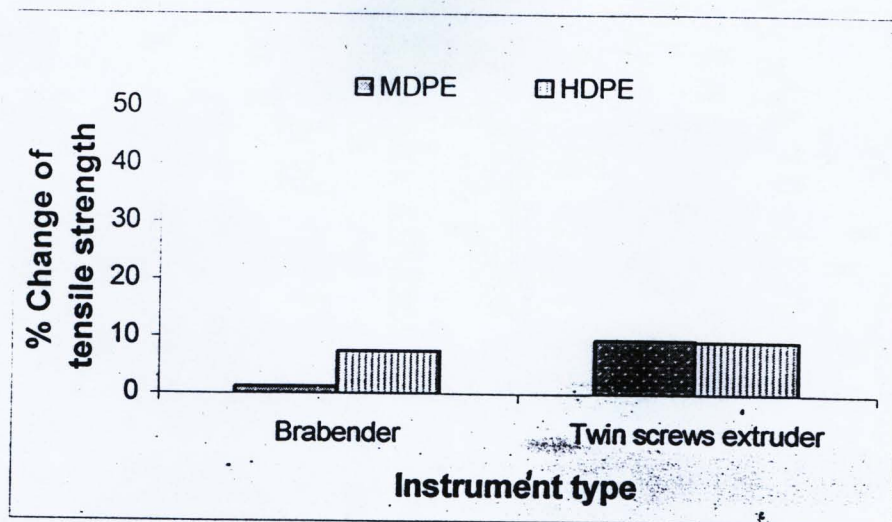
ตารางที่ 4.11 ลักษณะการแตกและแยกออกจากกันของชิ้นทดสอบจากการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกของ TPVs ที่แปรชนิดพลาสติก (MDPE และ HDPE) โดยเบลนค์กับเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ โดยทำการเปรียบเทียบทั้งก่อน และหลังการบ่มเร่ง

TPVs ที่แปรชนิดพลาสติกและ เครื่องจักรที่ใช้ในการเบลนค์		ลักษณะการแตกและแยกออกจากกันของชิ้นทดสอบ	
		Unaged	Aged
พลาสติกล้วน	MDPE	P	P
	HDPE	P	P
บราเบนเดอร์	MDPE	NB	NB
	HDPE	NB	NB
เอกซ์ทรูดเดอร์ สกรูคู่	MDPE	NB	NB
	HDPE	NB	NB

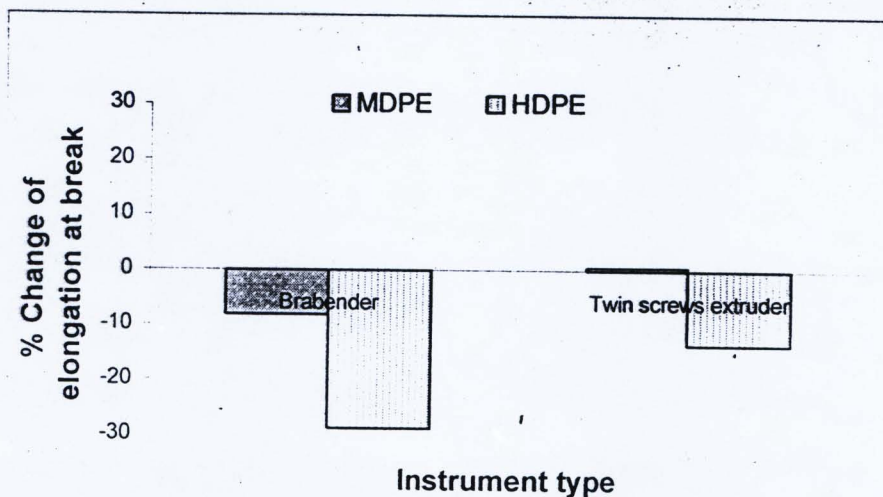
หมายเหตุ สัญลักษณ์ P หมายถึง Partial break คือ การแตกหักไม่สมบูรณ์ โดยมีการหักอย่างน้อย 90% ของระยะระหว่างรอยบากกับด้านตรงข้าม

สัญลักษณ์ NB หมายถึง Non break คือ การแตกหักไม่สมบูรณ์ โดยมีการแตกหักน้อยกว่า 90% ของระยะระหว่างรอยบากกับด้านตรงข้าม

พบว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและชนิดความหนาแน่นสูง เมื่อนำมาเบลนค์เตรียมเป็นเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์จะมีความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เบลนค์ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ อาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการเบลนค์ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่เป็นเวลานานกว่าใช้เครื่องบราเบนเดอร์ พอลิเมอร์จะแข็งเปราะมากขึ้นทำให้ความต้านทานต่อแรงเค้นเพิ่มขึ้น และทำให้มีความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำลงด้วยซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับผลการทดสอบการบ่มเร่ง กล่าวคือ เทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่เบลนค์ด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ มีความเปลี่ยนแปลงภายหลังการบ่มเร่งมากกว่าใช้เครื่องบราเบนเดอร์ (รูปที่ 4.46-4.47)



รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดพลาสติก (MDPE และ HDPE) โดยเบลนด์กับเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ หลังการบ่มแรง



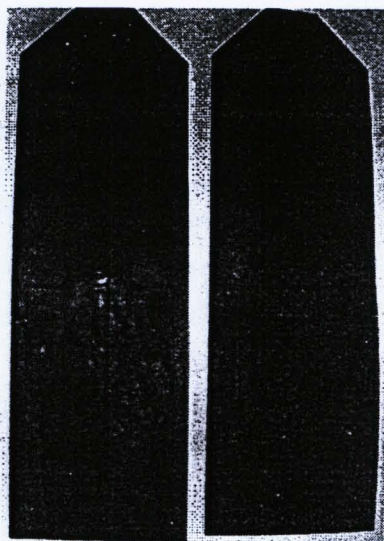
รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการยืดจนขาดของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ที่แปรชนิดพลาสติก (MDPE และ HDPE) โดยเบลนด์กับเครื่องบราเบนเดอร์กับเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ หลังการบ่มแรง

4.9 ทดสอบสมบัติทางกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

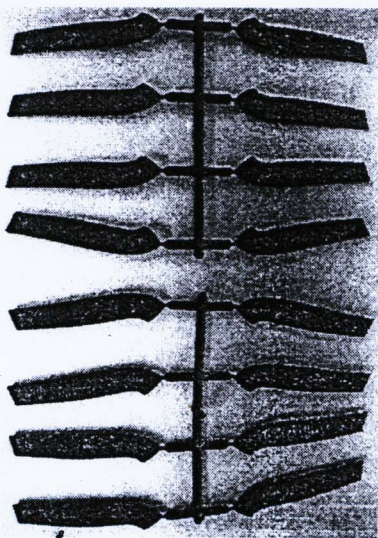
ในการทดสอบสมบัติทางกระบวนการผลิตได้มีการทดสอบด้วยการนำเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ที่เตรียมทั้งหมด 4 ประเภทจากหัวข้อ 4.8 กล่าวคือ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงเตรียมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์และเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลางเตรียมด้วยเครื่องบราเบนเดอร์และเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์แบบสกรูคู่ ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 2 แบบคือ

- 1) ผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางมุงหลังคา เบ้าแบบ 1 cavity น้ำหนักผลิตภัณฑ์ประมาณ 300 กรัม
- 2) ผลิตภัณฑ์ด้ามมีด เบ้าแบบ 8 cavities น้ำหนักประมาณ 80 กรัม

จากการทดสอบพบว่าสามารถตั้งค่าเริ่มต้นของเครื่องฉีดด้วยค่ามาตรฐานสำหรับพอลิเอทิลีนได้ โดยไม่มีปัญหาในการผลิตสำหรับเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์ทั้ง 4 ประเภท ในผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 2 แบบ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสองแบบแสดงในรูปที่ 4.48-4.49



รูปที่ 4.48 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างกระเบื้องยางมุงหลังคา



รูปที่ 4.49 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างด้ามมีด

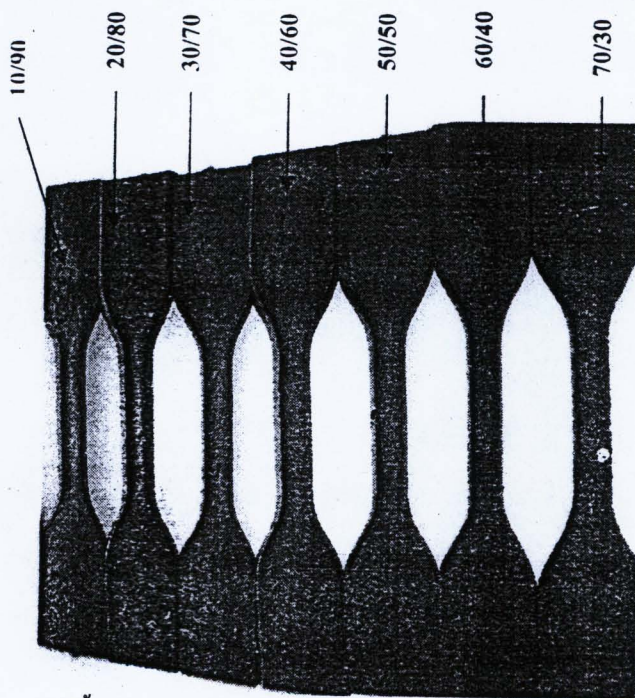
อย่างไรก็ตาม แม้ว่าผิวของชิ้นงานจะมีความเรียบ ไม่มีเศษยางครีบบังให้เห็น ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 2 แบบเกิดตำหนิบนผิวชิ้นงานเรียกว่า สะเก็ดเงิน (Silver Streak) ซึ่งมีลักษณะที่ปรากฏเป็นเส้นยาวมีความมันเงา สาเหตุเกิดจากเวลาที่อยู่ในกระบอกลีคนานเกินไป หรือเกลียวเคลื่อนที่เร็วเกินไป หัวฉีดและ

runner แคนเกินไป หรืออาจจะมาจากพลาสติกไหลได้ไม่ดีเนื่องจากมีค่าดัชนีการไหลค่อนข้างต่ำ มีความหนืดสูง แนวทางการแก้ไขคือ ใช้เกลียวที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางพอเหมาะ ลดความเร็วของเกลียว ขยายรูที่หัวฉีดและเส้นผ่าศูนย์กลางของ runner ให้กว้างขึ้นหรือเปลี่ยนชนิดของพลาสติกให้ไหลได้ง่ายขึ้น (สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกไทย, 2550) ซึ่งเป็นผลจากการที่มีอนุภาคยางครีบบ่อยอยู่ในเนื้อพลาสติกทำให้พลาสติกมีความสามารถในการตกผลึกลดลง (Kumar, Fuhrmann, and Karger-Kocsis, 2002) ซึ่งอัตราการฉีดที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีค่าสูงกว่าที่เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เตรียมได้จะสามารถใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการจะปรับสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตนั้นสามารถกระทำร่วมกันในหลายวิธี กล่าวคือ การเปลี่ยนชนิดของพลาสติกให้ไหลง่ายขึ้น ลดอัตราการฉีด ขยายขนาดหัวฉีดหรือ runner เป็นต้น

การที่คณะผู้วิจัยมีความมั่นใจว่าคำนิหาดังกล่าว เกิดจากอัตราการฉีดมากกว่าที่จะเป็นความเข้ากันได้ของยางและพลาสติกนั้นเนื่องจากว่าชิ้นตัวอย่างทดสอบสมบัติที่เตรียมด้วยเครื่องในห้องปฏิบัติการซึ่งมีอัตราการฉีดที่ต่ำ มีสภาพผิวที่เรียบสวย ไม่เกิดคำหนิ ดังเช่นผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง และเพื่อเป็นการยืนยันข้อสมมุติฐานนี้ การใช้พลาสติกที่มีค่าดัชนีการไหลต่ำลงจะทำให้มีโอกาสเกิดคำหนิดังกล่าวขึ้นได้ในการฉีด ชิ้นตัวอย่างทดสอบ

4.10 อิทธิพลของดัชนีการไหลของพลาสติกและสัดส่วนของยางครีบบ่ ต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์

จากการเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนซ์ ด้วยการแปรสัดส่วนของยางครีบบ่กับพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงเกรด 5000s มีดัชนีการไหล เท่ากับ 0.7 g/10 min เมื่ออุณหภูมิขณะผิวของชิ้นทดสอบ ด้วยตาเปล่าจะเป็นดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 ลักษณะของชิ้นทดสอบของ TPVs ระหว่างยางครีบบ่กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (CRM/HDPE) ในสัดส่วนต่างๆ ดังนี้ 10/90, 20/90, 30/70, 40/60, 50/50, 60/40 และ 70/30 ตามลำดับจากซ้ายไปขวา