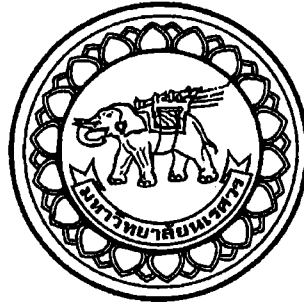


อภินันทนาการ



ผลกระทบของสารตัวเติมและสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โม-
พลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

THE EFFECT OF FILLER LOADING AND COUPLING AGENT ON
MECHANICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC ELASTOMERS
FROM BLENDS OF NATURAL RUBBER/HIGH-DENSITY POLYETHYLENE

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน.....1.8.0.0.2555.....
เลขทะเบียน.....1637854X.....
เลขเรียกหนังสือ..... ๒ TP.....

นางสาวกานูมาศ กัญญา

รหัส 52365114

1180
76
ภา 447๗

นางสาวมยุรฉัตร รัตนมณี

รหัส 52365152

2๐๐๕

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ ผลกระทบของสารตัวเติมและสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของ
เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูง

ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวภาณุมาศ กันยา รหัส 52365114
นางสาวมยุรฉัตร รัตนมณี รหัส 52365152

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์อภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

.....
อ.อภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์อภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์)

.....
.....กรรมการ
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)

.....
.....กรรมการ
(ดร.อิสราวุธ ประเสริฐสังข์)

.....
.....กรรมการ
(ดร.ภมรรัตน์ จันธรรม)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ผลกระทบของสารตัวเติมและสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวภาณุมาศ กันยา	รหัส 52365114
	นางสาวยุรฉัตร รัตนมณี	รหัส 52365152
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์อภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2555	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของสารตัวเติมและสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง แบ่งออกเป็น 3 ตอน ตอนที่หนึ่ง คือ การหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ตอนที่สอง คือ การหาปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแกลบที่เหมาะสม และตอนที่สาม คือ การหาปริมาณการเติมอนุภาคแกลบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต สำหรับตอนที่หนึ่งจะทำโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นส่วนประกอบที่อ่อน (Soft Segment) และใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นส่วนประกอบที่แข็ง (Hard Segment) ในอัตราส่วนที่ 60:40 ผสมในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 25 รอบต่อนาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 1 มิลลิเมตร เวลาในการผสม 30 นาที โดยกำหนดอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คือ 130 135 และ 140 องศาเซลเซียส แล้วพิจารณาโดยให้แสงส่องผ่านขึ้นทดสอบมองด้วยตาเปล่าพร้อมกับทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีความเข้ากันได้และให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด ส่วนตอนที่สองจะทำโดยใช้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เป็นเมทริกซ์ อนุภาคแกลบเป็นสารตัวเติม (Filler) ไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane) เป็นสารคู่ควบ เริ่มจากการเตรียมอนุภาคแกลบโดยจะปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง กรองแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการเคลือบอนุภาคแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane) โดยมีปริมาณในช่วง 0, 5, 10 และ 15 %wt/v เตรียมโดยนำอนุภาคแกลบ 10 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวใส่ในสารละลายผสม

ระหว่างเมทานอลกับน้ำในอัตราส่วน 60:40 แล้วเติมสารคู่ควบไซเลน A-151 ปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 3-4 กวนผสมเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง พร้อมกรองแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเติมลงในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Streaght) ของ RHiNaSi5 RHiNaSi10 และ RHiNaSi15 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.20, 4.29 และ 3.84 เมกะปาสคาล ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของ RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ RHiNaSi15 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 318.16, 431.31 และ 374.67 และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ของ RHiNaSi5 RHiNaSi10 และ RHiNaSi15 โดยเฉลี่ยเท่ากับ 49.31, 27.65 และ 23.43 เมกะปาสคาล จะพบว่า ปริมาณสาร คู่ควบที่ 5 %wt/v มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคกลบ ทำให้ได้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

สุดท้ายในตอนที่สามารถทำการปรับเปลี่ยนปริมาณการเติมอนุภาคกลบ คือ 0, 10, 20 30, 40 และ 50 %wt ซึ่งสารคู่ควบที่เคลือบอนุภาคกลบเท่ากับ 10 %wt/v จากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่า การเติมอนุภาคกลบมีผลต่อสมบัติเชิงกลในค่าความทนต่อแรงดึงและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมากขึ้นแต่จะเติมอนุภาคกลบได้มากที่สุดเพียง 40 %wt เท่านั้น

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรทำให้เกิดประโยชน์โดยการนำอนุภาคกลับมาทำเป็นสารตัวเติมในเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากหลายหน่วยงาน จึงทำให้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์อภาภรณ์ จันทร์ปรีกษ์ ที่ได้กรุณาได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและคอยให้คำปรึกษาแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ภาณุ บุรณจรรุกร อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์ ครูช่างและเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาอุตสาหกรรม เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการภาควิชาไฟฟ้า ที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและเครื่องทดสอบในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณยาย ที่ให้ความอนุเคราะห์แก่ลพร้อมการใช้เครื่องมือในการบดกลับ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นแรงบันดาลใจและเป็นกำลังใจที่ทำให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นในการศึกษาปริญญาตรีครั้งนี้ ผู้วิจัยนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปเผยแพร่ให้เกิดประโยชน์ หากมีความผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวภาณุมาศ กัญญา

นางสาวมยุรฉัตร รัตนมณี

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินโครงการ.....	2
1.4 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	21
3.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	21
3.2 กระบวนการอัดขึ้นรูป.....	25
3.3 การทดสอบตัวอย่างชิ้นงาน.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	30
4.1 ผลของอุณหภูมิในการผสมของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์.....	30
4.2 ผลของปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคเกลบที่เหมาะสม.....	31
4.3 ผลของปริมาณการเติมอนุภาคเกลบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่มีต่อ สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	34
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	38
5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง.....	38
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40
ภาคผนวก ก.....	44
ภาคผนวก ข.....	46
ภาคผนวก ค.....	53

สารบัญตาราง

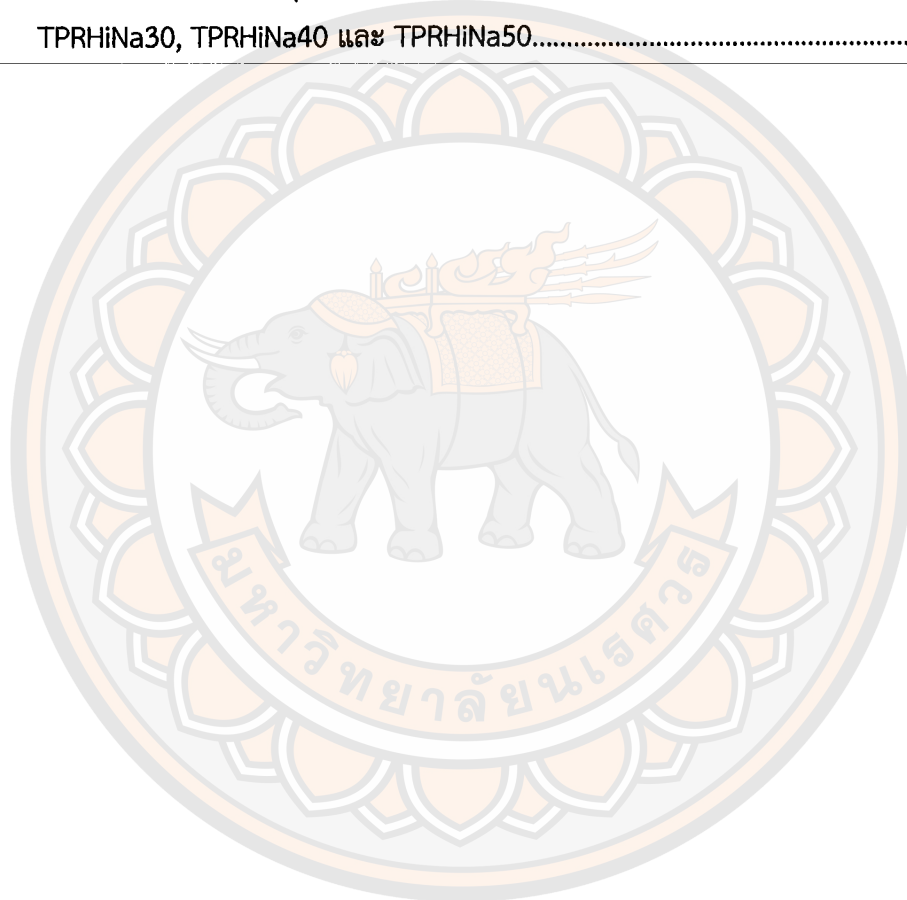
ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart).....	3
2.1 ชนิดของพอลิเอทิลีนที่จำแนกตามความหนาแน่น.....	8
2.2 แสดงตัวอย่างของอุณหภูมิของเฟสทรานซิชัน.....	10
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบจากข้าวสาร.....	11
2.4 อัตราส่วนของผงแกลบที่เติมลงในยางธรรมชาติ.....	18
3.1 แสดงอัตราส่วนของการผสม.....	25
3.2 แสดงอัตราส่วนของการคอมโพสิต.....	25
4.1 แสดงสมบัติเชิงกลของการผสม HDPE:NR ที่อุณหภูมิ 135 และ 140 องศาเซลเซียส.....	30
4.2 แสดงอัตราส่วนในการทดสอบสมบัติเชิงกลของ TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ RHiNasi10.....	31
4.3 แสดงอัตราส่วนในการทดสอบสมบัติเชิงกลที่ทำการเคลือบด้วย Si A-151 ที่ 10 %wt/v ของ TPNR, TPRHi10, TPRHi20, TPRHi30, TPRHi40 และ TPRHi50.....	34

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ.....	5
2.2 สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ; ก) ในสภาวะปกติ ข) ในสภาวะที่ถูกยืด.....	5
2.3 อุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติที่ผสมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	7
2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน.....	8
2.5 สมบัติฐานการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเส้นใยเมื่อตัดแปรด้วย Alkali.....	13
2.6 ลักษณะเส้นใยที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพโดย Alkali (Mercerization Process) ก) เส้นใยไม่ผ่านกระบวนการตัดแปร ข) ตัดแปรด้วย Alkali.....	13
2.7 แสดงความเป็นไปได้ของรูปร่างในวัสดุคอมโพสิต (a) เส้นใย (b) อนุภาค (c) แผ่น.....	14
2.8 ภาพแสดงวัสดุผสมตามลักษณะของตัวเสริมแรง.....	15
2.9 ตัวอย่างขนาดและรูปทรงชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง.....	15
2.10 การหาค่ามอดูลัสในแบบต่าง.....	16
2.11 ปฏิกริยาระหว่างเส้นใยเคลือบด้วยสารคู่ควบกับยาง.....	19
3.1 ก) ร้อนแกลบที่ผ่านการบด ข) อนุภาคแกลบผ่านการรอนมีขนาด 300 ไมโครเมตร.....	22
3.2 ก) แซ่และกวนอนุภาคแกลบในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ข) ล้างและกรองอนุภาคแกลบ.....	22
3.3 อนุภาคแกลบที่ผ่านการเคลือบด้วยสารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลนพร้อมอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	23
3.4 ผังแสดงกระบวนการทดลอง.....	24
3.5 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding).....	25
3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine).....	26
3.7 ตัวอย่างของขนาดชิ้นงานที่จะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 412.....	26
4.1 ตัวอย่างชิ้นทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D 412.....	28
4.2 แสดงความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์โดยสังเกตด้วยตาเปล่า.....	29
4.3 แสดงชิ้นทดสอบในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิเท่ากับ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส.....	29
4.4 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของ TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi5 RHiNaSi10 และ RHiNasi15.....	31
4.5 แสดงค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ของ TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi5 RHiNaSi10 และ RHiNasi15.....	32
4.6 แสดงร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Brake) ของ TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi10 และ RHiNaSi15.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของ TPNR, TPRHiNa10, TPRHiNa20 TPRHiNa30, TPRHiNa40 และ TPRHiNa50.....	35
4.8 แสดงโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ของ TPNR, TPRHiNa10, TPRHiNa20 TPRHiNa30, TPRHiNa40 และ TPRHiNa50.....	35
4.9 แสดงร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Brake) ของ TPNR, TPRHiNa10, TPRHiNa20 TPRHiNa30, TPRHiNa40 และ TPRHiNa50.....	36



สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

- TPNR = เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer)
- HDPE = พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene)
- NR = ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)
- Si A-151 = สารคู่ควบไวโนลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane)
- RHi = อนุภาคแกลบที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงด้วย NaOH และไม่ได้เคลือบด้วย Si A-151
- Si A-151
- RHiNa = อนุภาคแกลบที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH
- RHiNaSi5 = อนุภาคแกลบ 10 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151 5 %wt/v
- RHiNaSi10 = อนุภาคแกลบ 10 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151 10 %wt/v
- RHiNaSi15 = อนุภาคแกลบ 10 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151 15 %wt/v
- TPRHiNa10 = อนุภาคแกลบ 10 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151
- TPRHiNa20 = อนุภาคแกลบ 20 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151
- TPRHiNa30 = อนุภาคแกลบ 30 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151
- TPRHiNa40 = อนุภาคแกลบ 40 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151
- TPRHiNa50 = อนุภาคแกลบ 50 %wt ที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH และเคลือบด้วย Si A-151
- %wt/v = ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
- %wt = ร้อยละโดยมวล
- MPa = เมกะปาสคาล

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากการวิเคราะห์ภาวะเศรษฐกิจของการเกษตรไตรมาส 1 ปี 2555 ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรพบว่าแนวโน้มปี 2555 ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรจะมีแนวโน้มลดลงประมาณร้อยละ 1.5 ซึ่งได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหาอุทกภัยครั้งรุนแรงในช่วงปลายปี 2554 ทำให้พื้นที่ทางการเกษตรและผลผลิตสินค้าทางการเกษตรได้รับความเสียหายหนัก ทำให้ต้องชะลอการผลิต แต่ก็ยังมีราคาพืชหลายชนิดที่ยังอยู่ในเกณฑ์ดีและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหนึ่งในนั้นก็คือ ยางพารา ซึ่งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก การส่งออกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้น เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น ส่วนภายในประเทศจะนำไปเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้ในการผลิตยางยนต์ร้อยละ 60 รองลงมาคือ ยางยืดและถุงมือยางร้อยละ 14 [25] ทำให้ประเทศไทยพึ่งพาดตลาดการส่งออกสินค้าเป็นหลัก ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้นจึงนับว่าอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีความพร้อมในด้านวัตถุดิบ ฉะนั้นผลิตภัณฑ์จากยางจึงเป็นสินค้าที่น่าจะสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบ (Value Added) ที่มีอยู่ในประเทศ

ยางหรืออีลาสโตเมอร์ (Elastomer) จัดเป็นวัสดุพอลิเมอร์ประเภทหนึ่งที่มีสมบัติเฉพาะตัว โดยมีการยืดหยุ่น รับแรงกระแทกได้ดีและไม่แตกหักได้ง่าย ยางส่วนมากที่นำมาใช้งานในปัจจุบัน มักจะผ่านการทำ Compound โดยการเติมสารเติมแต่งต่างๆ แล้วทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (Crosslink) ด้วยกระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) เพื่อให้ยางมีการแข็งแรงและดึงได้มากขึ้นแต่ทำให้ยางมีสมบัติเป็นเทอร์โมเซต (Thermoset) ดังนั้นภายหลังจากการใช้งานแล้วไม่สามารถนำยางมาหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ ซึ่งจากข้อจำกัดดังกล่าวทำให้เกิดการพัฒนายางที่มีสมบัติเทอร์โมพลาสติกหรือเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer, TPE) ซึ่ง TPE จะรวมเอาทั้งสมบัติของยางและพลาสติกเข้าด้วยกัน โดย TPE สามารถขึ้นรูปใหม่ด้วยกระบวนการทางความร้อนได้ โดยใช้เครื่องมือทั่วไปที่ใช้สำหรับขึ้นรูปพลาสติก

อย่างไรก็ดี TPE ก็ยังคงได้รับความสนใจในการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยออกแบบให้เป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลาย (Biodegradable Materials) ด้วยการเติมแกลบ (Rice Husk) เป็นตัวเติมย่อยสลายเองได้ (Biodegradable Filler) ซึ่งมีต้นทุนต่ำ ความหนาแน่นต่ำ มีความแข็งแรงและโมดูลัสสูง และสามารถรีไซเคิลได้ [11] แกลบได้นำมาเติมในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจากผลงานวิจัยก็พบว่า การต้านแรงดึงโมดูลัสและความแข็ง

(Tensile Modulus and Hardness) เพิ่มขึ้น [13] แต่ข้อเสียของการใช้แคลบเป็นเส้นใยเสริมแรงจะเกิดอันตรกิริยาก่อนข้างยากสำหรับวัสดุคอมโพสิตระหว่างอนุภาคแคลบกับเนื้อพลาสติก (Polymer Matrix) [3] ดังนั้นจึงเติมสารคู่ควบลงไปเพื่อช่วยยึดเกาะ

ทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกลายเป็นวัสดุย่อยสลายเองได้โดยเติมแคลบเป็นสารตัวเติมซึ่งปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของแคลบที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบกับจากสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของปริมาณการเติมแคลบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งกำหนดขอบเขตงานวิจัยไว้ดังนี้

1.3.1 ตัวแปรต้น

1.3.1.1 อุณหภูมิในการผสมอยู่ในช่วง 130-140 องศาเซลเซียส

1.3.1.2 ปริมาณสารคู่ควบอยู่ในช่วง 0-15 %wt/v

1.3.1.3 ปริมาณแคลบ 0-50 %wt

1.3.2 ตัวแปรตาม

1.3.2.1 สมบัติเชิงกล

1.3.2.2 ความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

1.3.3.1 เวลาในขั้นรูปขึ้นทดสอบ

1.4 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

1.4.1 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
นเรศวร

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

1 มิถุนายน 2555 ถึง 31 มกราคม 2556

1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

	การดำเนินโครงการ	ช่วงเวลา							
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.6.1	ศึกษาและรวบรวมข้อมูล	←			→				
1.6.2	วางแผนและดำเนินการทดลอง			←					→
1.6.3	เก็บและทดสอบตัวอย่าง					←			→
1.6.4	วิเคราะห์ผล					←			→
1.6.5	สรุปผล					←			→

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ [29, 14]

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer, TPEs) เป็นการรวมสมบัติของเทอร์โมพลาสติก และยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์มาไว้ด้วยกันซึ่ง TPEs มีลักษณะคล้ายยางนิ่มตัวยืดหยุ่นได้ แต่สามารถขึ้นรูปได้หลายครั้งคล้ายเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อนและกลับสู่สถานะของแข็งเมื่อได้รับความเย็นโดยโครงสร้างของเทอร์โมพลาสติก-อีลาสโตเมอร์ ประกอบด้วยสองส่วน คือ

2.1.1.1 ส่วนแข็ง (Hard Segment) โดยเป็นส่วนของเทอร์โมพลาสติกซึ่งไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่ใช้งาน แต่สามารถเป็นของไหลได้เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิขึ้นรูป ส่วนของแข็งมีความสำคัญในการสร้างบริเวณแข็ง (Rigid Region) ที่ทำหน้าที่คล้ายกับการเชื่อมโยงทางกายภาพ (Physical Crosslink)

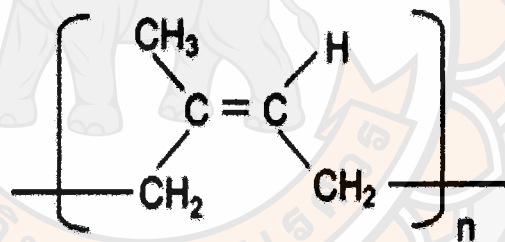
2.1.1.2 ส่วนอ่อน (Soft Segment) มีลักษณะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งคล้ายยาง มีอิสระในการเคลื่อนที่ได้มากกว่าส่วนที่แข็งและมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg) ที่ต่ำทำให้ TPEs มีความยืดหยุ่นคล้ายยาง มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างต่ำส่วนแข็งทำหน้าที่เหมือนจุดเชื่อมโยงทางกายภาพซึ่งจะยึดให้สายโซ่โมเลกุลที่ยืดหยุ่นของส่วนอ่อนคล้ายโครงสร้างร่างแหสามมิติของยางที่มีการเชื่อมโยงด้วยปฏิกิริยาเคมีหรือวัลคาไนเซชัน แต่ส่วนโครงสร้างส่วนแข็งนี้สามารถเปลี่ยนแปลงย้อนกลับไปได้เมื่อให้ความร้อน

2.1.2 ยางธรรมชาติ [24]

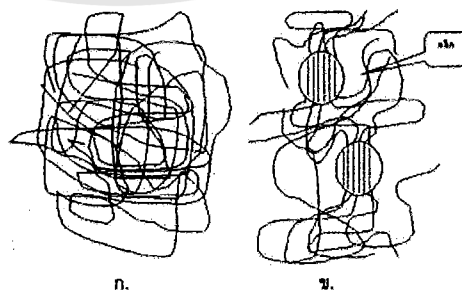
ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) จัดเป็นอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ซึ่งมีสมบัติที่ยืดหยุ่นโดยจะยืดตัวออกมาเมื่อได้รับแรงและสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดให้แรงกระทำ โดยยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางสายพันธุ์ฮีเวียบราซิลลิซิสซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มน้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ โดยน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางจะมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อเยื่อแห้ง (Dry Rubber) ประมาณร้อยละ 30 แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการบ่ม

เหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 ซึ่งจะเรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated Latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้ เก็บไว้ได้นาน

2.1.2.1 โครงสร้างทางเคมี NR [26,29] NR มีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (Cis-1,4-Polyisoprene) ซึ่งกล่าวคือมี Isoprene (C_5H_8) โดยมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 50,000-30,000,000 กรัมโมล เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะ โมเลกุลสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างอย่างมีระเบียบที่มีอุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Crystallization) จะทำให้ยางแข็งแรงมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain Induced Crystallization)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [29]



รูปที่ 2.2 สายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติ; ก) ในสภาวะปกติ ข) ในสภาวะที่ถูกยืด [26]

2.1.2.2 คุณสมบัติทั่วไปของ NR [29]

ก. ความยืดหยุ่นแบบยาง (Rubber Elasticity) สมบัติดังกล่าวจะเป็นลักษณะเด่นของ NR กล่าวคือ NR ที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไปยางจะกลับคืนสู่สภาพเดิม

ข. ความเหนียวติดกัน (Take) NR (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์

ค. ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) เนื่องจากโมเลกุลของ NR มีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ NR สามารถแตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น NR จึงมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย

ง. ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) เนื่องจาก NR สามารถแตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น NR จึงมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงการเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

จ. สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) NR มีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ทางการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ NR ยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (Fatigue Resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

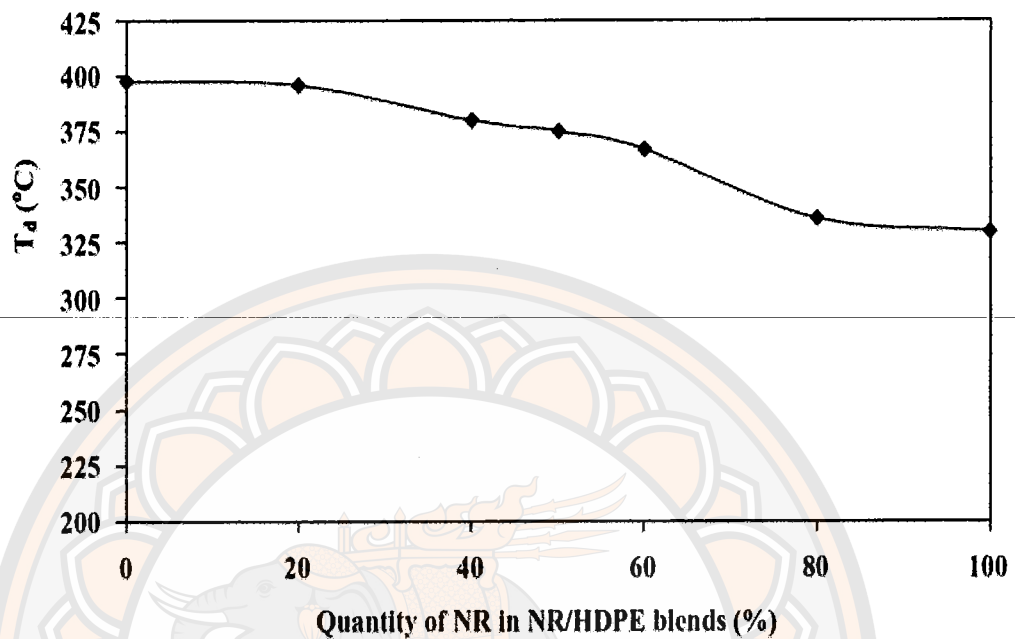
ฉ. ความต้านทานต่อการขีดถู (Abrasion Resistance) NR มีค่าความต้านทานต่อการขีดถูสูง แต่ก็ยังด้อยกว่ายางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-Butadiene Rubber, SBR) เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่า NR มีค่าความต้านทานต่อการขีดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

ช. ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) NR มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมากโดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Resistivity) สูงถึง 10^{15} หรือ 10^{16} โอห์มเซนติเมตร

ซ. ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี เนื่องจากองค์ประกอบของ NR เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน โทลูอีน เป็นต้น

ณ. การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนโอโซนและแสงแดด เนื่องจากโมเลกุลของ NR มีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น NR จึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ NR ยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะ

เมื่อยางถูกดึงยืดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณผิวในทิศทาง การยืดตัวของยาง ซึ่งอุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติจะสามารถแสดงดังรูปที่ 2.3 ดังนี้



รูปที่ 2.3 อุณหภูมิการสลายตัวของยางธรรมชาติที่ผสมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [14]

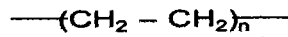
ญ. การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Flexibility) ซึ่งยางธรรมชาติยังคงรักษาสสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมากๆซึ่งยางที่สมบัติที่ดีกว่า NR มีเพียง 2 ชนิดคือ ยางซิลิโคน (Silicon Rubber) ยางบิวตาไดอีน (Butadiene Rubber)

ฎ. การเสีรูปหลังการกดอัด (Compression Set) NR มีค่าการเสีรูปหลังการกดอัดค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตาม ค่าการเสีรูปหลังการกดอัดที่อุณหภูมิต่ำของ NR จะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่าการเสีรูปหลังการกดอัดที่อุณหภูมิสูงของ NR มีค่าสูงขึ้น

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีที่ีเหมาะกับการผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียคือ ยางธรรมชาติเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อนเนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติเป็นพันธะคู่อยู่มากทำให้ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นการผลิตจึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อยืดอายุการใช้งาน

2.1.3 พอลิเอทิลีน [4]

พอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) คือ เทอร์โมพลาสติกที่เกิดจากโมเลกุลของเอทิลีนมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมี ซึ่งในกระบวนการการผลิตสามารถผลิต PE ได้ในปฏิกิริยาที่ใช้ความดันสูง และปฏิกิริยาที่ใช้ความดันต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ได้ชนิดของ PE ที่มีความหลากหลาย ซึ่งชนิดของ PE จะส่งผลให้มีลักษณะทางพฤติกรรมที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน [4]

2.1.3.1 คุณสมบัติของพอลิเอทิลีน

- ก. ความทนทานต่อความชื้น
- ข. ความทนทานต่อตัวทำละลายและสารเคมีต่างๆ
- ค. น้ำหนักเบา มีลักษณะโปร่งแสง เหนียว และเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่น

ตารางที่ 2.1 ชนิดของพอลิเอทิลีนที่จำแนกตามความหนาแน่น [4]

ชนิดของพอลิเอทิลีน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมากๆ (Ultra Low-Density Polyethylene, ULDPE)	0.880-0.915
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-Density Polyethylene, LDPE)	0.910-0.925
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene, MDPE)	0.926-0.940
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE)	0.941-0.965

2.1.3.2 ชนิดของพอลิเอทิลีนและการนำไปใช้งาน [8, 20]

ก. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low-Density Polyethylene, LDPE) เป็นพอลิเอทิลีนที่มีกิ่งยาวและมีจำนวนกิ่งที่มากในสายโซ่โมเลกุล โดยกระบวนการผลิต LDPE ใช้ปฏิกิริยาที่ใช้ความดันสูง ความหนาแน่นของ LDPE เท่ากับ 0.915-0.925 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 4×10^6 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลว (Melting Point, T_m) เท่ากับ 106-112 องศาเซลเซียส อุณหภูมิกลาสแทรนซิชัน (Glass Transition Temperature, T_g) ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง สมบัติโดยทั่วไป เช่น สามารถแปรรูปได้ง่าย มีความเหนียว ลักษณะโปร่งใส พอลิเมอร์ชนิดนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานในที่มีอุณหภูมิสูง ตัวอย่างการนำไปใช้งานได้แก่ ถุงใส่ขนมปัง ถุงใส่แซนวิช ถุงบรรจุอาหารต่างๆ พลาสติกห่อหุ้มอาหาร ของเล่นต่างๆ เป็นต้น

ข. พอลิเอทิลีนชนิดเส้นตรงและมีความหนาแน่นต่ำ (Linear Low-Density Polyethylene, LLDPE) เป็นพอลิเอทิลีนที่มีกิ่งสั้น ๆ หรือหมู่ข้างเคียงขนาดเล็กเกาะบริเวณสายโซ่หลักและมีปริมาณผลึกที่หลากหลายโดยหมู่ข้างเคียงที่เกาะบนสายโซ่หลักนั้นเป็นโคมอนอเมอร์ (Comonomer) ที่เติมลงไปในการบวนการผลิต LLDPE ได้แก่ บิวเทน (Butane) และ ออกเทน (Octane) LLDPE มีน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณ 10,000-100,000 กรัมต่อโมล ความหนาแน่นเท่ากับ 0.905-0.945 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สมบัติโดยทั่วไปเช่น มีความเหนียว ความทนทานต่อตัวทำละลายกรดและอัลดีไฮด์ได้ดีมีความทนทานสูงต่อการแตกหักตามธรรมชาติ (Environmental Stress Crack Resistance, ESCR) ทนทานต่อความร้อน เป็นต้น ตัวอย่างการนำไปใช้งาน ได้แก่ แผ่นฟิล์ม งานเคลือบ ถุงขยะ กล่องบรรจุอาหาร ฝาปิด ถึงรูปทรงกระบอก พลาสติกห่อหุ้มอาหาร เป็นต้น

ค. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene, HDPE) เป็นพอลิเอทิลีนที่มีกิ่งหรือหมู่ข้างเคียงเกาะบริเวณสายโซ่หลักน้อยมากหรือไม่มีเลย ในกระบวนการผลิต HDPE จะใช้ปฏิกิริยาที่ความดันต่ำ HDPE เป็นพอลิเมอร์ที่มีปริมาณผลึกสูง ซึ่งปริมาณผลึกขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล จำนวนโคมอนอเมอร์ และความร้อนที่ให้ โดยทั่วไป ปริมาณผลึกของ HDPE ประมาณร้อยละ 50-80 HDPE มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.960-0.965 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สมบัติทั่วไปเช่น มีความแข็ง ความทนทานต่อการขีดถูมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการแตกหักตามธรรมชาติ มีความยืดหยุ่น ทนต่อสารเคมี เป็นต้น ตัวอย่างการนำไปใช้งานได้แก่ ภาชนะบรรจุอาหาร ทำฝาปิดถังสี ทำฝาปิดน้ำยาขัดพื้น หรือผลิตเป็นแผ่นฟิล์ม เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างสำหรับอุณหภูมิของเฟสทรานซิชันสำหรับเทอร์โมพลาสติก [8]

Resin	Glass temp. T_g (°C)	Flow temp. T_f (°C)	Crystallite melt temp. T_m (°C)	Decomposition T_d (°C)
Amorphous Thermoplastics				
PC	145	240		about 327
PMMA	104	180		226–256
PS	97	160		318–348
PVC	80	175		about 250
Semicrystalline Thermoplastics				
HDPE	–95		130–146	360–390
PA 6	40		220	about 327
PEEK	120		340	
PP	–18		160–208	336–366
PTFE	–20		327	424–513

2.1.4 แกลบ [11, 7]

แกลบ (Rice Husk) คือ เปลือกแข็งของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว เป็นส่วนที่เหลือใช้จากการผลิตข้าวสาร เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปทรงรี เมื่อยาวสี่เหลี่ยมมนน้ำตาล หรือเหลืองนวลแล้วแต่ภูมิภาคประเทศที่มีการปลูกข้าว แกลบไม่ละลายในน้ำ มีความคงตัวทางเคมี ทนทานต่อแรงกระทำ จึงเป็นตัวดูดซับที่ดีในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก การกำจัดโลหะหนักด้วยแกลบสามารถใช้ได้กับแคดเมียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง โคบอลต์ นิกเกิลและเงิน โดยใช้ได้ทั้งในรูปที่ทำและไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี สารเคมีที่นิยมใช้ทำปฏิกิริยากับแกลบเพื่อให้ดูดซับโลหะมากขึ้นคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนตและอีพิคลอโรไฮดริน ซึ่งแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญแสดงตารางดังนี้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบจากข้าวสาร [34]

องค์ประกอบทางเคมี	แกลบ
ความชื้น (%)	7.6-10.2
โปรตีน (%)	1.9-3.7
ไขมัน (%)	0.3-0.8
เส้นใยหยาบ (%)	35.0-46.0
คาร์โบไฮเดรตที่ใช้ประโยชน์ได้ เถ้า (%)	26.5-29.8
เถ้า (%)	13.2-21.0
ซิลิกา (%)	18.8-22.3
แคลเซียม (%)	0.6-1.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของแกลบจากข้าวสาร (ต่อ) [34]

องค์ประกอบทางเคมี	แกลบ
ฟอสฟอรัส (%)	0.3-0.7
เส้นใยอาหาร (สกัดโดยสารฟอกเป็นกลาง) (%)	66-74
เส้นใยอาหาร (สกัดโดยสารฟอกเป็นกรด) (%)	58-62
ลิกนิน (%)	9-20
เซลลูโลส (%)	28-36
เพนโทเซน (%)	21-22
เอมิเซลลูโลส (%)	12
สารอาหารที่ย่อยได้ทั้งหมด (%)	9.4

2.1.5 สารเคมีสำหรับยาง [29]

สารเคมีสำหรับยาง หมายถึง สารเคมีต่างๆ ที่ผสมลงไปในยางเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่คุณสมบัติตามต้องการ ยางที่ผสมสารเคมีแล้วไม่อาจนำไปใช้งานได้ เว้นแต่สารเคมีเหล่านี้จะทำให้ปฏิกิริยากับยางก่อน สามารถเร่งได้ด้วยการให้ความร้อน ซึ่งยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีจะเรียกว่า ยางไม่คงรูป (Green Compound หรือ Uncured Compound) ส่วนยางที่สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับยางแล้วเรียกว่ายางคงรูป (Vulcanised Rubber หรือ Cured Rubber)

2.1.5.1 เหตุผลในการผสมยางกับสารเคมี มี 4 ประการ

- ก. เพื่อแก้ไขข้อเสียของยาง
- ข. เพื่อเป็นตัวช่วยในกระบวนการแปรรูปยาง
- ค. ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น
- ง. เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

2.1.5.2 สารที่ใช้ในการผสมยาง

ก. สารทำให้ยางคงรูป หรือสารวัลคาไนซิ่ง (Vulcanising Agent) เป็นสารที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง (Crosslink) ตรงตำแหน่งที่วงไวต่อปฏิกิริยาซึ่งได้แก่สารกำมะถัน สารที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน สารเพอร์ออกไซด์

ข. สารเร่ง (Accelerator) ได้แก่ สารเร่งการเกิดปฏิกิริยาให้เกิดซ้ำ ปานกลาง หรือเร็วเช่น กัวนีนีน (Guanidine) ไธอาโซล (Thiazole) ซัลฟีนามาไมด์ (Sulphenamide) และไธยู-แรม (Thiuram)

ค. สารกระตุ้น หรือ สารเสริมตัวเร่ง (Activator) เป็นสารที่ช่วยเร่งอัตราการวัล-คาในยางให้เร็วขึ้นโดยการทำให้สารเร่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเพื่อจะให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น เร่งอัตราการวัลคาในยางให้เร็วขึ้น และปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นโดยทำให้ยางมีค่า มอดูลัสสูงขึ้น ได้แก่ กรดสเตียริก (Stearic Acid) และซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)

ง. สารตัวเติม (Filler) เป็นสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปในยาง เพื่อลดต้นทุนใน การผลิตหรือเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น เช่น พวงเขม่าดำ (Carbon Black) แคลเซียม คาร์บอเนต (Calcium Carbonate) และซิลิกา (Silica) เป็นต้น

2.1.6 สารคู่ควบ [33, 30]

สารคู่ควบ (Coupling Agents) คือสารที่ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์กับ สารตัวเติมหรือเส้นใยเสริมแรงโดยการสร้างพันธะที่แข็งแรงกับเฟสทั้งสอง ทำให้มีการยึดเกาะระหว่าง เฟสดีขึ้น

2.1.6.1 ผลที่เกิดจากการใช้สารคู่ควบจะมีความแตกต่างกันไปดังนี้

ก. พันธะโคเวเลนต์ชนิดปฐมภูมิ (Primary Covalent Bonds) เกิดขึ้นจากสารตัว เติมประเภทอินทรีย์ผ่านสารคู่ควบและพอลิเมอร์อินทรีย์ทำให้เกิดการเชื่อมกันทางเคมีที่มีความ แข็งแรงที่สุดผ่านรอยต่อ

ข. แรงดึงดูดทางเคมีชนิดทุติยภูมิ (Secondary Chemical Attraction) เช่น ความมีขั้วและพันธะไฮโดรเจนอาจใช้อธิบายความสำเร็จของสารคู่ควบกับเทอร์โมพลาสติก นอกจากนี้ยังช่วยอธิบายการใช้สารคู่ควบที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา และการใช้สารคู่ควบที่ไม่คาดว่าจะ ทำปฏิกิริยากับเทอร์โมเซตได้อีกด้วย

ค. โครงตาข่ายของพอลิเมอร์จะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุล (Interpenetrating Polymer Networks, IPN) เมื่อสารคู่ควบทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ และซึมผ่านเข้าไปยังเมทริกซ์ ของสารประเภทอินทรีย์และเกิดการพอลิเมอร์ไรซ์อยู่ภายในเกิดการเกี่ยวพันกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ ประเภทสารอินทรีย์นั้น

ง. บริเวณผิวรอยต่อแบบมอดูล (Modulated Interface) ซึ่งจะออกแบบเพื่อใช้ เตรียมทรานซิชันให้เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยผ่านรอยต่อจากสมบัติหนึ่งในสารเติมประเภทอินทรีย์ไปยัง อีกสมบัติหนึ่งในเมทริกซ์ประเภทสารอินทรีย์

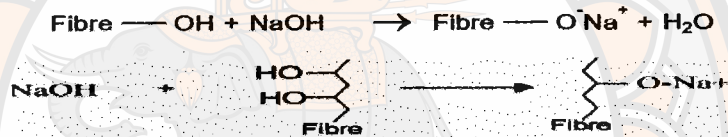
2.1.7 การปรับสภาพผิวสารตัวเติมโดยใช้สารเคมี [9]

เป็นกระบวนการทางเคมีเพื่อปรับสภาพผิวของสารตัวเติมเพื่อให้มีสภาพผิวที่มีความเหมาะสมในการยึดติดกับยาง เช่น เพิ่มพื้นที่ผิวของสารตัวเติมในการยึดติดเพิ่มสภาพความเป็นขี้หรือ เคลือบผิวสารตัวเติมเพื่อให้สามารถยึดติดกับยางได้ดีขึ้น เกิดช่องว่างน้อยลง ชักนำให้สมบัติเชิงกายภาพดีขึ้น Chemical Surface Modificaton ที่นิยมใช้ ได้แก่

2.1.7.1 Alkali Treatment (Mercerization Process) เป็นการใช้สารประกอบที่มีฤทธิ์เป็นด่างในการปรับสภาพผิว (Surface Modified) ของสารตัวเติมเพื่อให้ยึดติดกับโมเลกุลของยางได้ดีขึ้นเช่น การปรับสภาพผิวของเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ NaOH เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงสภาพของ Cellulose ของ Fiber Surface

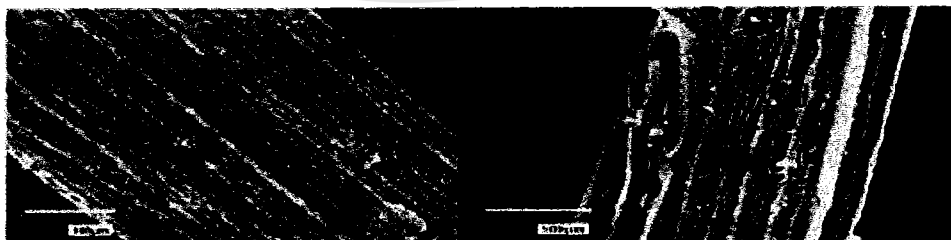
Mercerization Process

ปฏิกิริยาระหว่าง Cellulose ที่มี -OH Group ของ Fiber กับ NaOH



รูปที่ 2.5 สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเส้นใยเมื่อตัดแปรด้วย Alkali [22]

เมื่อผ่านกระบวนการ Mercerization หมู่ปลาย -OH จะเปลี่ยนเป็น $\text{O}^- \text{Na}^+$ ซึ่งจะมีสภาพขี้มากขึ้น อีกทั้งสามารถลดปริมาณกลุ่มไฮดรอกซี ซึ่งเป็นสาเหตุของการบวมพองของพอลิเมอร์ได้เมื่อได้รับความชื้น และกระบวนการนี้ยังสามารถกำจัดความสกปรกและสิ่งเจือปนในเส้นใยได้ และกระตุ้นให้เกิดการแตกตัวของกลุ่มเส้นใย ให้เกิดเป็นเส้นใยขนาดเล็กๆ เพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใยทำให้ความสามารถการยึดติดดีขึ้น



ก)

ข)

รูปที่ 2.6 ลักษณะเส้นใยที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพโดย Alkali (Mercerization Process)

ก) เส้นใยไม่ผ่านกระบวนการตัดแปร ข) ตัดแปรด้วย Alkali [22]

เปรียบเทียบเส้นใยที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการ Mercerization เส้นใยที่ได้มีพื้นที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์จะกระตุ้นให้เกิดการแตกตัวของกลุ่มเส้นใย ทำให้เกิด Microfiber ขนาดเล็กๆ เกิดขึ้นมามากมายมีพื้นที่ผิวมากขึ้นเพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใยที่จะสัมผัสกับยาง และ เพิ่ม Aspect Ratio เปรียบเทียบได้จากรูปประกอบที่ 2.6 ก) และ ข) โดย ข) คือ เส้นใยที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพผิวด้วย NaOH มีลักษณะผิวที่ขรุขระและมีรอยหยักมากขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ยึดเกาะจัดเป็นการเพิ่ม Mechanical Interlock ของเส้นใยกับยางได้โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นสูงมากเช่น ในเส้นใย Kapok (เส้นใยที่มี Wax สูง) เส้นใยจะมีร่องเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่สัมผัสกับเนื้อยางมากขึ้นและสารเคลือบผิว Wax จะลดลง ทำให้การยึดติดดีขึ้นเพราะสามารถลดปริมาณ Wax ที่ผิวเส้นใยได้ทำให้การยึดเกาะดีขึ้น กระบวนการนี้นอกจากปรับผิวของเส้นใยแล้วยังเพิ่มความแข็งแรงแก่เส้นใยขึ้นด้วยจัดเป็นกระบวนการเบื้องต้นในการปรับผิวของสารตัวเดิมจากเส้นใยธรรมชาติ เนื่องจาก NaOH จะรีดิวซ์กลุ่มไฮโดรไลส์ได้หมู่ปลายที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปสามารถนำมาทำการปรับสภาพหมู่ปลายด้วยวิธีอื่นๆ ได้

2.1.8 วัสดุผสม (Composite Materials) [12]

วัสดุผสม คือ วัสดุที่เกิดจากการผสมวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิด หรือมากกว่าเข้าด้วยกันอาจเป็นการผสมหรือการสร้างพันธะเข้าด้วยกัน โดยที่เนื้อของวัสดุผสมจะประกอบด้วยวัสดุต่างชนิดกัน ไม่กลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้คุณสมบัติรวมของวัสดุผสมที่ไม่สามารถหาได้จากวัสดุชนิดเดียวที่มีปัญหา อีกทั้งคงยังสามารถแยกสถานะ (Phase) ของวัสดุแต่ละประเภทในเนื้อวัสดุผสมนั้นได้ วัสดุประกอบด้วยสารพื้น (Matrix Phase) และสารเสริมแรง (Reinforcement Phase) การรวมกันของวัสดุที่เป็นตัวเสริมแรง (เป็นอนุภาคของเส้นใย) กับสารพื้นกับวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งส่วนใหญ่การแบ่งลักษณะของสารเสริมแรงจะแบ่งได้ดังนี้คือ อนุภาค แผ่น เส้นใย



รูปที่ 2.7 แสดงความเป็นไปได้ของรูปร่างในวัสดุคอมโพสิต; (a) เส้นใย (b) อนุภาค (c) แผ่น [31]

อนุภาคและแผ่น สองรูปร่างทั่วไปที่ฝังอยู่ในเฟสเป็นอนุภาคขนาดตั้งแต่สองด้วยกล้องจุลทรรศน์จนถึงการมองด้วยตาเปล่า ส่วนแบบที่เป็นแผ่นคืออนุภาคมีพื้นที่สองมิติ แผ่นจะมีขนาดเล็กแบน สำหรับเส้นใย โดยเส้นใยเสริมแรงปกติจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.0025 มิลลิเมตร ถึงประมาณ 0.13 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับวัสดุ วัสดุผสมสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.8.1 ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous Composites)

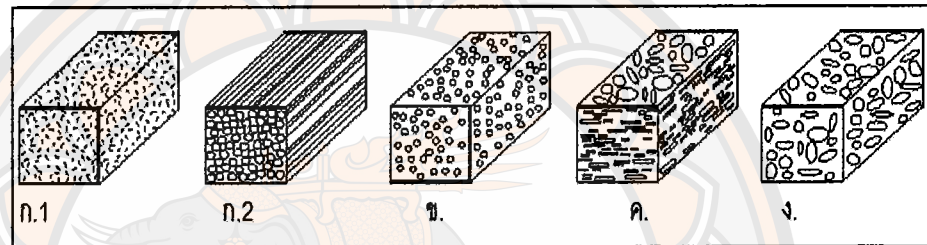
ก. เส้นใยสั้นแบบสุ่ม (Random/Sort Fiber)

ข. เส้นใยยาว/เส้นใยต่อเนื่อง (Continuous/Long Fiber)

ค. ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นอนุภาค (Particulate Composites)

ง. ตัวเสริมแรงมีลักษณะเป็นแผ่นหรือชิ้นเล็กๆ (Flake Composites)

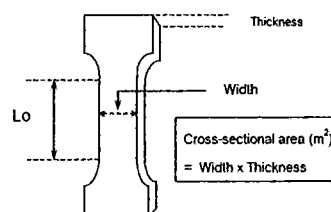
ฉ. ตัวเสริมแรงเป็นสารตัวเติม (Filler Composites)



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงวัสดุผสมตามลักษณะของตัวเสริมแรง [12]

2.1.9 การทดสอบสมบัติเชิงกล [23]

2.1.9.1 ค่าการยืดตัว (Elongation) จากรูปที่ 2.9 แสดงลักษณะทั่วไปของชิ้นงานรูป Dumbbell สำหรับการทดสอบแรงดึง โดยในการคำนวณค่าความเครียด (Strain) จะใช้ค่า ΔL ต่อ L_0 ซึ่งต้องระวังด้วยว่าค่าที่ใช้ต้องเป็นค่าที่มาตรฐานกล่าวคือ ΔL ควรวัดโดยใช้ Extensometer จะแม่นยำกว่าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีวัสดุทดสอบเป็นยางที่จะยืดตัวได้มากจนเข้าสู่บริเวณรอยคอดของชิ้นงาน อย่างไรก็ตามกรณีที่เป็นพลาสติกแข็งอาจจะอนุโลมให้ใช้ระยะเดินทางของมือจับ (Grip) เป็น ΔL แทนได้ เนื่องจากพลาสติกแข็ง มักจะยืดตัวได้น้อยและนิกชาตก่อนจะเกิดการยืดบริเวณรอยคอด

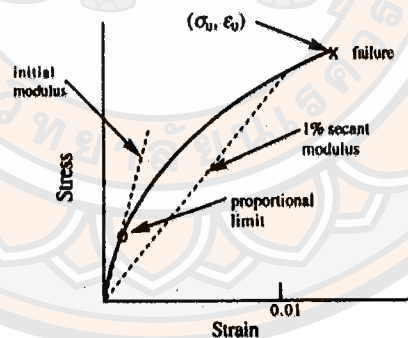


รูปที่ 2.9 ตัวอย่างขนาดและรูปทรงชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึง [23]

ส่วนค่า L_0 นั้นต้องดูตามมาตรฐานของ Standard Method ที่ใช้ทดสอบ ASTM ซึ่งแต่ละมาตรฐานจะมีขนาดชิ้นงานไม่เท่ากัน และมีระยะ Gauge ไม่เท่ากัน และที่สำคัญต้องไม่เข้าใจผิดว่า L_0 คือระยะระหว่าง Grip หรือ ระยะระหว่างรอยคอด ซึ่งถ้าใช้ค่า L_0 ในการคำนวณ Strain ไม่ถูกต้องจะทำให้ค่า Strain และ Modulus ที่ได้คลาดเคลื่อน และอาจมีปัญหาในการนำไปใช้อ้างอิงกับตัวอย่างข้างนอก

2.1.9.2 ค่าการทนแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งในบางครั้งอาจจะรายงานผลการทดสอบค่าการทนแรงดึงเป็นรูปของค่า Tensile Strength ซึ่งโดยปกติจะหมายถึงค่า Maximum Tensile Stress นอกจากนั้นบางกรณีอาจจะรายงานผลค่า Tensile Strength ที่จุดใด ๆ ก็ได้ เช่น ที่จุดคราก (Yield Point) จะได้ Tensile Strength at Yield หรือที่จุดขาดจะได้ Tensile Strength Break ส่วนคำว่า Ultimate Tensile Stress (หรือ Strength) จะหมายถึงค่า Strength หรือ Stress ที่จุดสูงสุดของกราฟ ซึ่งอาจจะเป็นที่ Break Point หรือ Yield Point ก็ได้

2.1.9.3 ค่าโมดูลัส (Young's Modulus) ค่าโมดูลัสที่กล่าวถึงข้างต้นนี้ จะได้จากการคิดคำนวณได้จากกราฟในช่วง Linear หรือช่วงที่ยังมีพฤติกรรมเป็นแบบอีลาสติก (ช่วงการยืดตัวหรือ Strain น้อยๆ) และบางครั้งจะเรียกค่าโมดูลัสในแบบดังกล่าวว่า Young's Modulus หรือ Initial Modulus นอกจากนั้นยังมีค่าโมดูลัสอีกลักษณะหนึ่งคือ Secant Modulus ซึ่งได้จากอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดที่วัดจากช่วงต่างๆ ในเส้นกราฟดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การหาค่ามอดูลัสในแบบต่างๆ [23]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dahlan Hj.Mohd และคณะ [6] ศึกษาความเข้ากันได้ของ LENRA ในยางธรรมชาติผสมพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงโดยผสมที่อัตราส่วน 60:40 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และความเร็รรอบ 55 รอบต่อนาที ผสมเป็นเวลา 15 นาที เมื่อเข้ากันได้แล้วเติม LENRA โดยมีการเติมเปรียบเทียบในร้อยละอัตราส่วนต่างๆ ได้แก่ 0, 10 และ 20 ลงไปผสมจนเข้ากันได้ อัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วทดสอบคุณสมบัติพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพทางความร้อนดีขึ้นและมีความเข้ากันได้ของ LENRA

RAHMADINI SYAFRI และคณะ [17] ได้ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยแก้วก่อนผสมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยล้างเคลือบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ร้อยละ 5 เพื่อกำจัดไขมัน (Natural Fat) และแว็กซ์ (Wax) ออกจากเส้นใยแก้ว หลังจากนั้นก็เคลือบเส้นใยแก้วด้วยยางธรรมชาติเหลวอีพอกไซด์ (LENR) ที่มีความเข้มข้น 5, 10 และ 20 %wt ในสารละลายทุโลอินก่อน จากการทดสอบพบว่า ที่พอลิเมอร์เมทริกซ์และคอมโพสิตผสมที่ได้จากยางธรรมชาติร้อยละ 60 และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงร้อยละ 40 เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่การเคลือบเส้นใยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของสารละลาย LENR มีการเชื่อมต่อระหว่างผิวหน้าเส้นใยและเมทริกซ์สูงสุดทำให้คุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีขึ้นด้วย

Pongdhorn Sae-Oui และคณะ [15] ได้ศึกษาคุณสมบัติและความสามารถในการรีไซเคิลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ โดยเตรียมจากผงยางธรรมชาติ (NRP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ได้จากเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ อัตราส่วนการผสมของ NRP:HDPE แตกต่างกันคือ 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ส่วนการทดสอบคุณสมบัติและความสามารถในการรีไซเคิลของ TPNRs พบว่า เนื่องจากข้อจำกัดของการไหลของการเชื่อมขวาง NRP ความหนืดของ TPNR เพิ่มขึ้นทำให้คุณสมบัติของ TPNR มีลักษณะเหมือนยางมาก สังเกตได้อย่างชัดเจนจากลักษณะเส้นโค้งความเค้นความเครียด การลดลงในโมดูลัสและความแข็ง และความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการเพิ่มขึ้นของ NRP นอกจากนี้ยังพบว่า การรีไซเคิลมีอิทธิพลต่อความเสียหายอย่างเห็นได้ชัดในสมบัติส่วนใหญ่ของ TPNR เช่น ความต้านทานแรงดึงฉีกขาด ความแข็งและกำหนดแรงดึง ซึ่งคิดว่าจะเป็นผลจากการย่อยสลายทางความร้อนของ NRP ในระหว่างกระบวนการรีไซเคิล

Razif Nordin และคณะ [19] ได้ศึกษาผลของสารคู่ควบซิลเลน (Si69) ในลักษณะการสุกตัวและคุณสมบัติเชิงกลของผงแก้ว โดยผงแก้วที่เติมลงในยางธรรมชาติโดยกำหนดอัตราส่วนในการศึกษาดังตารางนี้

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนของผงแกลบที่เติมลงในยางธรรมชาติ

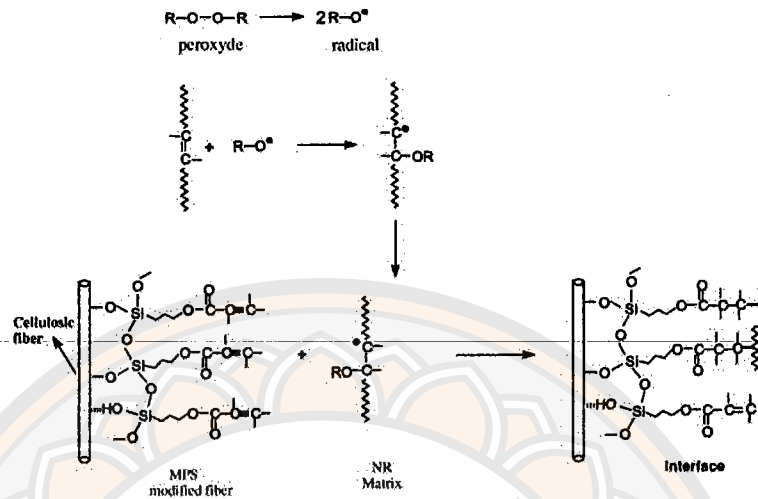
Ingredients	phr								
	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Natural Rubber	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Rice husk powder	0	10	20	30	50	10	20	30	50
Silane coupling agent Si69	-	-	-	-	-	2.5	2.5	2.5	2.5

จากการทดสอบลักษณะการสุกตัวพบว่า การรวมตัวของสารคู่ควบไซเลน (Si69) มีการปรับปรุงอัตรา การสุกตัว (Cure Rate) และแรงบิดต่ำสุดของผงแกลบเติมในยางคอมปาวด์ที่คล้ายกับการเติมสารตัว เติม ยางคอมปาวด์ด้วยสารคู่ควบไซเลน (Si69) แสดง Cure Time และ Scorch Time ระยะสั้นและ แรงบิดต่ำกว่ายางคอมปาวด์ที่ไม่เติมสารคู่ควบไซเลน (Si69) และจากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง แรงดึงโมดูลัสและความแข็ง ถูกปรับปรุงโดยการรวมสารคู่ควบไซเลน เนื่องจากในการปรับปรุงคุณสมบัตินี้สารคู่ควบไซเลนมีความสามารถในการเสริมสร้างความหนาแน่น ของการเชื่อมขวางและการปรับปรุงการกระจายตัวของผงแกลบและปฏิสัมพันธ์ระหว่างยางกับสารตัว เติมในยางคอมปาวด์

Ishak Ahmad และคณะ [10] ได้ศึกษาโดยใช้ผงแกลบเป็นสารตัวเติมเสริมแรงในการผสม ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง พร้อมทั้งปรับปรุงพื้นผิวของผงแกลบโดย จะล้างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ก่อนที่จะเคลือบด้วยยางธรรมชาติเหลว (LNR) และเสริมแรงด้วย กระบวนการฉายรังสีอิเล็กตรอน (Electronbeam (EB) Irradiation) ผลของปริมาณรังสีในแกลบที่ เคลือบยางธรรมชาติเหลว (RHr) พบว่าเป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิต ซึ่งสมบัติเชิงกลจะเพิ่มขึ้นด้วย ปริมาณของรังสีบนแกลบ (RHr) จะอยู่ในช่วง 20-30 kGy และค่าโมดูลัสสะสมสูงสุด (Storage Modulus (E')) และค่าแทนเดลต่ำ ($\tan \delta$) ประมาณรังสีเท่ากับ 30 kGy เมื่อศึกษาพื้นผิวรอย แฉกจากแรงดึงพบว่าผงแกลบ (RHr) มีการเชื่อมต่อกับเมทริกซ์เกิดขึ้นในผงแกลบ (RH) และที่ปริมาณ รังสีเท่ากับ 20 kGy การปรับปรุงความแข็งแรงพันธะของแกลบในเมทริกซ์และแรงยึดเกาะกับเม- ทริกซ์ทำได้โดยการเคลือบผงแกลบและการบ่มเคลือบยางโดยการฉายรังสีอิเล็กตรอน

M.Abdelmouleh และคณะ [2] ได้ศึกษาผลของสารคู่ควบไซเลนมีด้วยกันทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ MPS, MRPS และ HDS และปริมาณการเติมเส้นใยธรรมชาติสั้น 4 ชนิด ได้แก่ Namely Avicel Technical, Alfa Pulps และ Pine Fibres ซึ่งทำการศึกษาโดยนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาล้างโดย โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อรักษาเส้นใยแล้วผสมพอลิเมอร์ในเครื่องผสมให้เข้ากันได้ดี จากการทดลอง พบว่าสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มความยาวเส้นใยเฉลี่ยและเส้นใยเซลลูโลสที่รักษา ด้วย MPS และ MRPS แสดงผลทางกลที่ดีกว่า HDS จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนี้ได้แสดงลักษณะ

ปฏิกิริยาการรวมตัวกันของยางธรรมชาติกับเส้นใย ที่เคลือบด้วยสารคู่ควบไซเลนซึ่งจากปฏิกิริยานี้สามารถนำไปสู่แนวทางการคิดของการทำโครงการนี้ได้



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยเคลือบด้วยสารคู่ควบกับยาง

Wayakron และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาการเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยเถ้าแกลบข้าวดำ (Black Rice Husk Ash; BRHA) โดยการผสมโดยตรงและการปรับสภาพผิวก่อนการผสม จากการทดลองพบว่า BRHA ที่ทำการปรับสภาพผิวที่ปริมาณ 10 ส่วนในร้อยส่วนของยางธรรมชาติ ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด โดยปริมาณที่เติมมีข้อจำกัดอาจเนื่องมาจากผลของสัดส่วนของซิลิกาที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ BRHA ที่ใช้ และเมื่อทำการปรับสภาพผิว BRHA ด้วยสาร 2 ชนิด คือ ไซเลนและยางธรรมชาติเหลวตัดแปรร (LENR) พบว่าในปริมาณของสารที่เท่ากัน การใช้ LENR ที่มีการวัลคาไนซ์ร่วมกับ BRHA แสดงประสิทธิภาพในการเข้ากันได้กับยางธรรมชาติดีกว่าการใช้ไซเลน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก LENR นอกจากช่วยให้ซิลิกาที่มีข้อจำกัดกับยางธรรมชาติที่ไม่มีข้อได้มากขึ้นแล้ว LENR ยังสามารถวัลคาไนซ์ร่วมกับยางธรรมชาติได้อีกด้วย

Poolsawat และคณะ [16] ได้ศึกษาอิทธิพลของความหนืดของยางธรรมชาติ (NR) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ผสมในอัตราส่วน 60:40 (โดยน้ำหนัก) ที่มีต่อสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติก (TPNR) โดยทำการเตรียมยางคอมพาวด์ผสมกับ LDPE และทำให้เกิดการเชื่อมโยงบางส่วนแบบพลวัตโดยใช้การ ผสมในระบบปิด โดยใช้สารเชื่อมโยงไดควิมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) ปริมาณ 0.5 ส่วนในร้อยส่วนของยางธรรมชาติ ความหนืดมูนิของยางคอมพาวด์ที่ศึกษาคือ 5, 10 และ 20 (ML(1+4)100 องศาเซลเซียส) และค่าดัชนีการไหล (MFI) ของ LDPE ที่ศึกษาคือ 2, 7 และ 30 กรัมต่อ10 นาที จากการศึกษาพบว่า TPNR ที่เตรียมจาก LDPE MFI 2 กรัมต่อ10 นาที ให้ค่ายังมอดุลัสและความต้านทานต่อการสึกหรอสูงสุด ส่วนในกรณีศึกษาเมื่อค่าความหนืดมูนิของยางคอมพาวด์ลดลง หรือจำนวนครั้งในการรีไซเคิลเพิ่มขึ้น พบว่าทั้งสองกรณีสมบัติ

เชิงกลของ TPNR ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่ส่งผลต่อสัมพันธภาพของ TPNR คือทำให้ ภูมิภาค LDPE มีการกระจายตัวดีขึ้นและมีขนาดเล็กลง

Chanchampa [5] ได้ศึกษาการใช้เถ้าแกลบดำ (Black Rice Husk Ash, BRHA) จาก โรงไฟฟ้าพลังชีวมวลเป็นสารตัวเติม (Filler) ในยาง โดยเน้นศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติ ของยาง ได้แก่ ผลของปริมาณการเติม (40 – 100 ส่วนในร้อยส่วนของยางธรรมชาติ) ผลของการใช้ สารคู่ควบเมอร์แคปโทไซเลน (Si-69) ผลของการเคลือบผิวเถ้าแกลบดำด้วย PEG และผลของขนาด อนุภาค ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ยางธรรมชาติ (RSS-3) เป็นตัวแทนยาง เตรียมตัวอย่างโดยการผสมยาง ธรรมชาติกับเถ้าแกลบดำอัตราส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) แล้วหาความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) และลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristics) แล้วเตรียมแผ่นยางตัวอย่างด้วยการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) เพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล และศึกษาสัมพันธภาพด้วยเทคนิค SEM จากการทดลองพบว่าการใช้ PEG และสารคู่ควบไซเลน Si-69 ไม่ส่งผลอย่างมีนัยต่อลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล พบว่าขนาดอนุภาคของ BRHA ช่วงต่าง ๆ (ใหญ่กว่า 100, 100-150, 150-200, 200-250, และ เล็กกว่า 250 Mesh) มีผลเพียง เล็กน้อยต่อสมบัติของยาง เมื่อเพิ่มปริมาณการใส่ BRHA (40-100 ส่วนในร้อยส่วนของยางธรรมชาติ) พบว่า BRHA แสดงสมบัติเป็นสารเพิ่มเนื้อชนิดไม่เสริมแรง (Non-Reinforcing Filler) กล่าวคือความ แข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง และความแข็งกดและมอดูลัสของยางเพิ่มขึ้น จากการศึกษาลักษณะด้วย SEM พบว่า BRHA มีการกระจายตัวที่ดีและมีการยึดเกาะที่ดีกับยาง ธรรมชาติ

จากข้อมูลทางทฤษฎีและผลงานวิจัยที่ผ่านมาคณะวิจัยได้สังเกตเห็นถึงศักยภาพและความ เป็นไปได้ในการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแกลบที่เติมลงในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เพื่อทำให้ เป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ และทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอีลาส- โตเมอร์จากยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ จึงทำให้คณะวิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการศึกษาต่อไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารตัวเติมและสารคู่ควบที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงซึ่งการศึกษารวบรวมข้อมูลจะเป็นการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการทั้งหมดโดยแหล่งข้อมูลจะได้จากหนังสือ งานวิจัยและปริญญานิพนธ์อื่นๆ เป็นหลัก

3.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1.1 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene; HDPE)

3.1.1.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR)

3.1.1.3 แกลบ (Rice Husk; RH)

3.1.1.4 สารคู่ควบ (Coupling Agent)

3.1.1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.1.1.6 กรดสเตียริก (Stearic Acid)

3.1.1.7 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

3.1.1.8 ซัลเฟอร์ (Sulphur)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

3.1.2.2 ตู้อบไล่ความชื้น

3.1.2.3 เครื่องชั่งสาร (ความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง)

3.1.2.4 ปีกเกอร์

3.1.2.5 ตะแกรงร่อน

3.1.2.6 เครื่องกวนสารเคมี (Magnetic Stirrer)

3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.1.3.1 การเตรียมอนุภาคแกลบ

เตรียมจากการนำแกลบอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบความชื้นและบดจากนั้นคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนให้มีขนาดอนุภาค 300 ไมโครเมตร



ก)

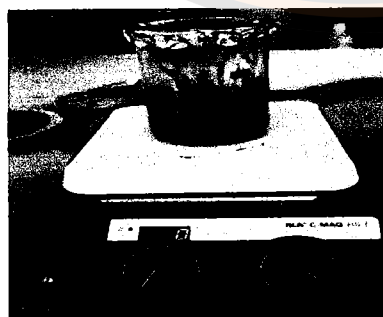


ข)

รูปที่ 3.1 ก) ร่อนแกลบที่ผ่านการบด ข) อนุภาคแกลบผ่านการร่อนมีขนาด 300 ไมโครเมตร

3.1.3.2 การเตรียมบำบัดอนุภาคแกลบ

โดยการแช่อนุภาคแกลบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง กรองแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



ก)



ข)

รูปที่ 3.2 ก) แช่และกวนอนุภาคแกลบในโซเดียมไฮดรอกไซด์ ข) ล้างและกรองผงแกลบ

3.1.3.3 การเตรียมเคลือบอนุภาคแกลบ

เคลือบอนุภาคแกลบที่ผ่านการบำบัดด้วยสารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane) โดยมีปริมาณในช่วง 0-15 %wt/v เตรียมโดยนำอนุภาคแกลบที่ผ่านการบำบัดใส่ในสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำในอัตราส่วน 60:40 แล้วเติมสารคู่ควบปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 3-4 กวนผสมเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งพร้อมกรอง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 อนุภาคแกลบที่ผ่านการเคลือบด้วยสารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน พร้อมอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

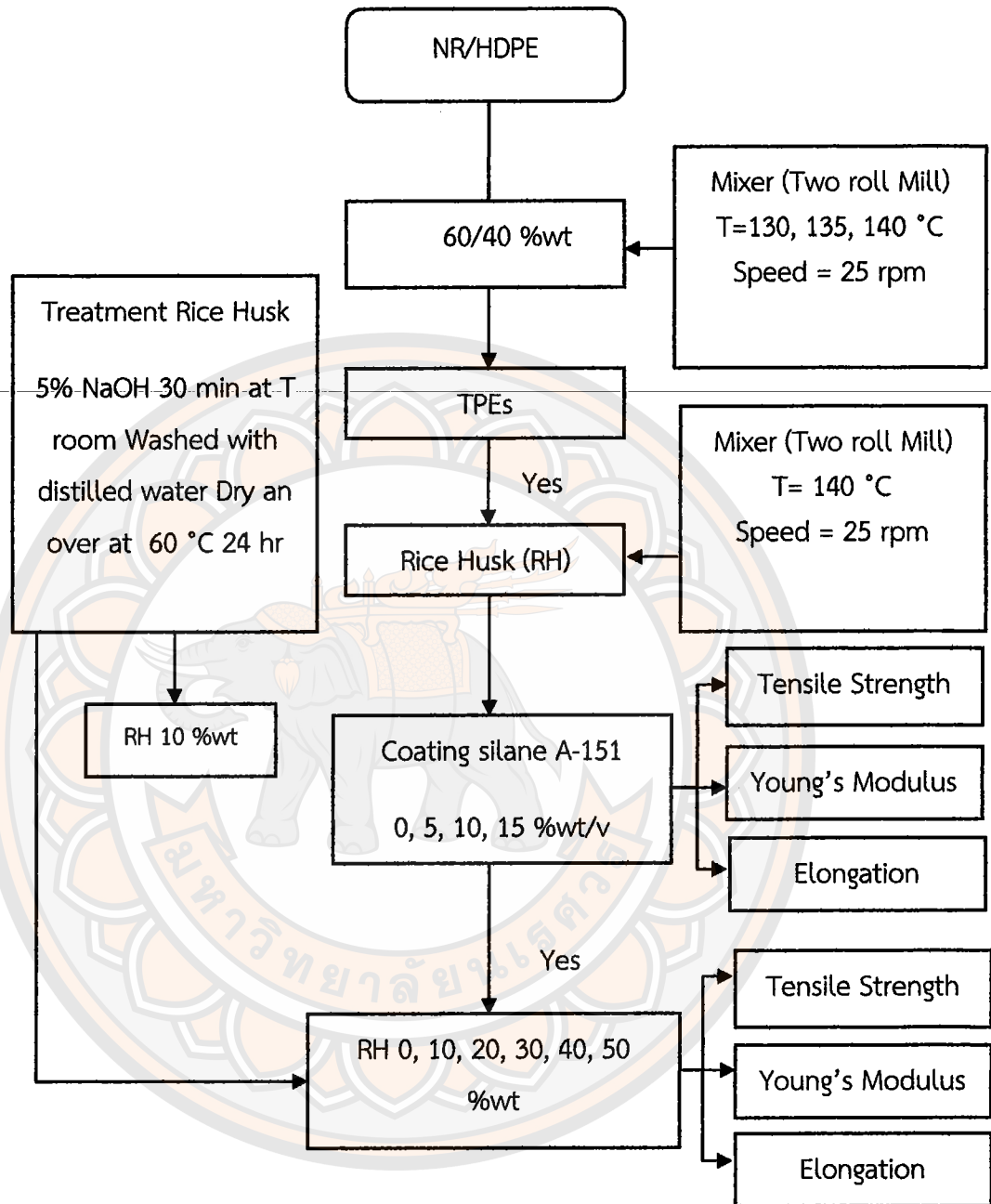
3.1.3.4 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (NR:HDPE)

บดยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งเติมกรดสเตียริก (Stearic Acid) แล้วเติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่อัตราส่วน 60:40 %wt/v บดผสมให้เข้ากัน ซึ่งกำหนดอุณหภูมิอยู่ในช่วง 130-140 องศาเซลเซียส โดยปรับความเร็วรอบในการผสมประมาณ 25 รอบต่อนาที ผสมให้เข้ากัน เติมสารเติมแต่งลงไปดังนี้ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซัลเฟอร์ (Sulphur) ตามลำดับ

3.1.3.5 การผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์กับอนุภาคแกลบ (TPEs:RH)

เติมอนุภาคแกลบลงในเทอร์โมพลาสติกโกลาสโตเมอร์ในปริมาณตั้งแต่ช่วง 0-30 %wt/v ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง

3.1.4 แผนการทดลอง



รูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการทดลอง

18 ก.ค. 2555
1631854X



ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการผสม (phr)

Name	HDPE content	NR content	RH content	Si A-151 content
TPNR	60	40	0	0
RHi	60	40	10	0
RHiNa	60	40	10	0
RHiNaSi5	60	40	10	5
RHiNaSi10	60	40	10	10
RHiNaSi15	60	40	10	15

สำนักพิมพ์

๗ ๗๕
๗๕๐
๗๕๐
๗๕๐

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนที่ใช้ในการคอมโพสิต (phr)

Name	HDPE content	NR content	RH content	Si content
TPNR	60	40	0	0
TPRHiNa10	60	40	10	10
TPRHiNa20	60	40	20	10

3.2 กระบวนการอัดขึ้นรูป

อัดขึ้นรูปโดยการนำไปเข้าเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)



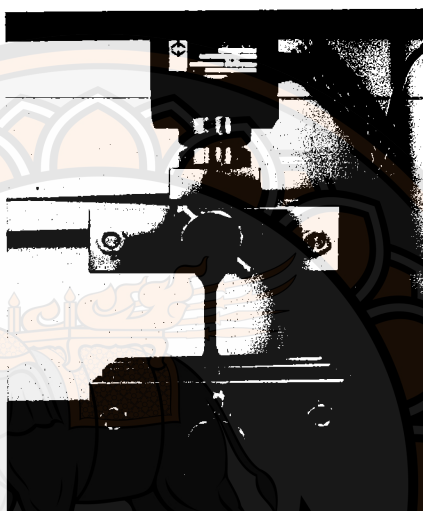
รูปที่ 3.5 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

3.3 การทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างชิ้นงาน

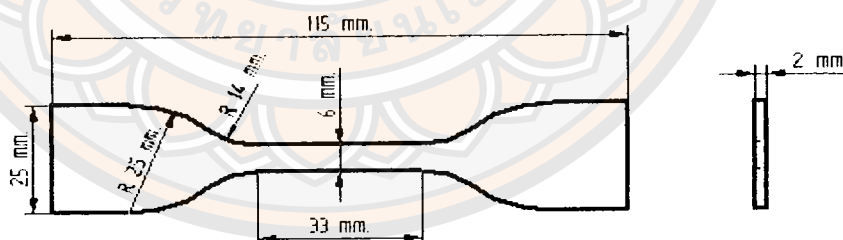
ในการทดสอบคุณสมบัติตัวอย่างชิ้นงานในโครงการนี้แบ่งเป็นการทดสอบ 2 ลักษณะ คือ

3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

3.3.1.1 สมบัติค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งจะทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D 412



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine)



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างของขนาดชิ้นงานที่จะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 412 [12]

ซึ่งมีวิธีการทดสอบสมบัติการทนแรงดึงดังนี้

ก. ตัดชิ้นงานให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งชิ้นทดสอบจะเป็นรูปดัมเบลจำนวน

5 ชิ้น

ข. โดยต่อหัวที่ใช้ในการดึงขนาด 5 กิโลนิวตัน

ค. กำหนดค่าความเร็วในการดึงชิ้นงานโดยความเร็วที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการยึดตัว สภาวะที่ใช้ในการทดสอบซึ่งจะกำหนดที่อัตราการดึงคงที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที

ง. ใส่ชิ้นงานที่ต้องการทดสอบกับตัวเครื่องกำหนดค่าความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นงานที่ใช้ลงในโปรแกรมตั้งค่าเริ่มต้นของระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge Length) เท่ากับศูนย์ จากนั้นเริ่มทำการทดสอบชิ้นงาน

3.3.1.2 สมบัติร้อยละการยืดของชิ้นทดสอบ ณ จุดขาด (Elongation at Break)

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D 412 โดยการใช้ตัวจับขนาด 5 กิโลนิวตัน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วในการดึงคงที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที

3.3.1.3 สมบัติค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus)

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D 412 โดยการใช้ตัวจับขนาด 5 กิโลนิวตัน โดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วในการดึงคงที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน ตอนที่หนึ่ง คือ การหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ตอนที่สอง คือ การหาปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคกลบที่เหมาะสม ส่วนตอนที่สาม คือ การหาปริมาณการเติมอนุภาคกลบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต หลังจากที่ได้ทำการวิจัยตั้งแต่เก็บข้อมูล เตรียมส่วนผสม ขึ้นรูปขึ้นทดสอบ และทำการทดสอบสมบัติเชิงกล 3 ค่า คือ ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ซึ่งขึ้นทดสอบที่ทดสอบสมบัติเชิงกลนี้จะทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D 412 โดยการใช้ตัวจับขนาดเท่ากับ 5 กิโลนิวตัน มีการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ความเร็วในการดึงคงที่เท่ากับ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ซึ่งตัวอย่างขึ้นทดสอบเป็นดังนี้



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างขึ้นทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D 412

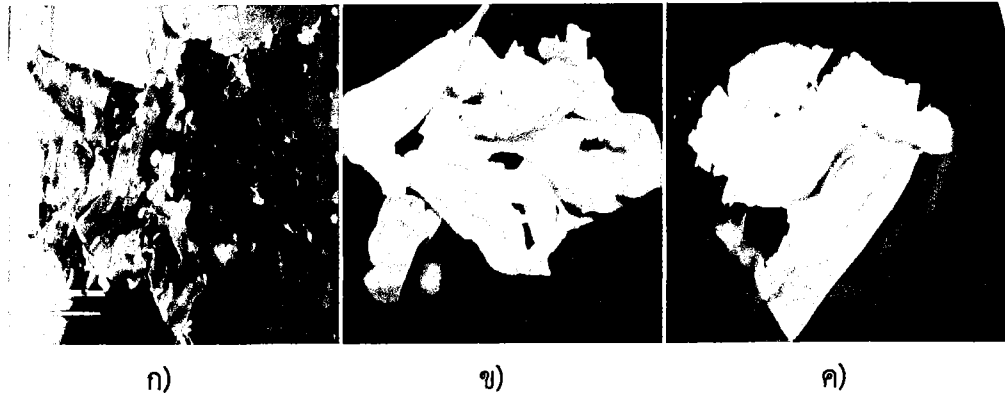
หลังจากการขึ้นรูปขึ้นทดสอบแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลดังกล่าวทำให้ได้ผลการทดสอบพร้อมกับการนำมาวิเคราะห์ดังนี้

4.1 ผลของอุณหภูมิในการผสมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์

การหาสภาวะอุณหภูมิของความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPNR)

4.1.1 การพิจารณาสังเกตด้วยตาเปล่า

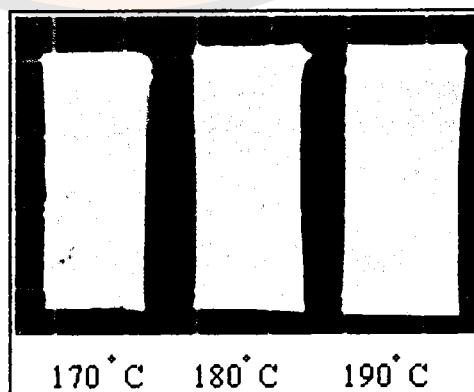
การพิจารณาความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ด้วยตาเปล่าโดยการส่องแสงผ่านขึ้นทดสอบทั้งสามดังนี้



รูปที่ 4.2 แสดงความเข้ากันได้ของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์โดยสังเกตด้วยตาเปล่า
 ก) ความเข้ากันได้ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ข) ความเข้ากันได้ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส และ ค) ความเข้ากันได้ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

จากการทดลองผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (TPNR) ในอัตราส่วนที่ 60:40 เพื่อหาภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมของความเข้ากันได้ของ TPNR ซึ่งพิจารณาสังเกตด้วยตาเปล่าโดยการให้แสงส่องผ่านในรูปที่ 4.2 ก) TPNR ผสมที่อุณหภูมิที่ 130 องศาเซลเซียส พบว่า HDPE มีการแทรกตัวและกระจายตัวในเมทริกซ์ แต่ HDPE บางส่วนไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ส่วนรูป ข) เป็นการผสมที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส พบว่า TPNR มีความเป็นเนื้อเดียวกันเมื่อแสงส่องผ่านได้อย่างชัดเจน ส่วนรูป ค) เป็นการผสมที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส พบว่า TPNR มีความเป็นเนื้อเดียวกันเช่นกัน ซึ่งจากการสังเกตด้วยตาเปล่าโดยแสงส่องผ่าน จึงเลือกอุณหภูมิของความเข้ากันได้ที่ 135 และ 140 องศาเซลเซียส ซึ่งนำไปวิเคราะห์โดยการทดสอบสมบัติเชิงกลลำดับต่อไป

4.1.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นทดสอบในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิเท่ากับ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติเชิงกลของการผสม HDPE:NR ที่อุณหภูมิ 135 และ 140 องศาเซลเซียส

สมบัติ อุณหภูมิ (°C)	ค่าเฉลี่ย		
	ค่าทนต่อแรงดึง (MPa)	โมดูลัสของความ ยืดหยุ่น (MPa)	ร้อยละการยืด ณ จุดขาด
135	4.32	17.40	385.19
140	5.31	25.10	420.95

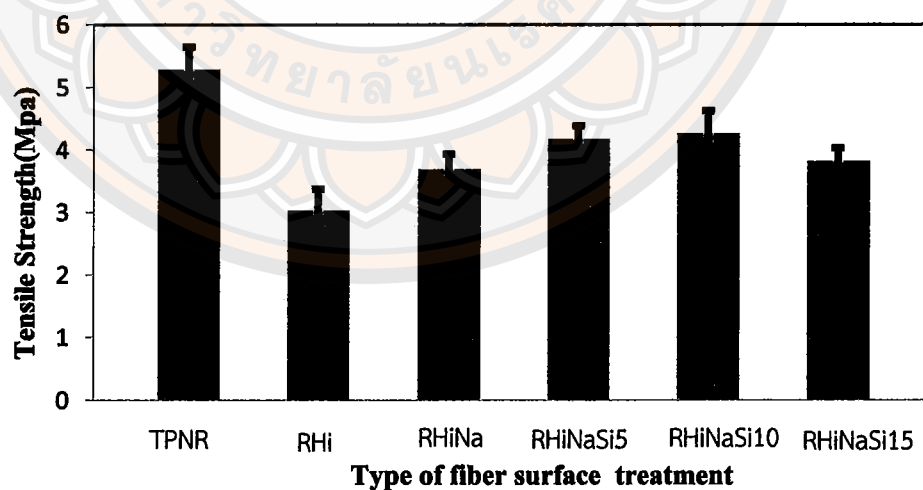
ขึ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่าง NR:HDPE ในอัตราส่วน 60:40 ผสมที่เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิเท่ากับ 135 องศาเซลเซียส นำไปขึ้นรูปทดสอบด้วยเครื่อง Compression Molding ที่อุณหภูมิ 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที โดยขึ้นทดสอบมีลักษณะดังรูปที่ 4.3 พบว่าขึ้นทดสอบที่อุณหภูมิเท่า 170 และ 180 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่หลอมเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ต่ำกว่าอุณหภูมิของยางธรรมชาติ [28] และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง [8] พบว่าขึ้นทดสอบสามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ระหว่าง NR:HDPE ในอัตราส่วน 60:40 ที่อุณหภูมิ 135 และ 140 องศาเซลเซียส ในการผสมโดยใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูป 190 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Compression Molding เป็นเวลา 6 นาที เมื่อนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลจะพบว่ามีค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.32 และ 5.31 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 17.40 และ 25.10 เมกะปาสคาล ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) โดยเฉลี่ยเท่ากับ 385.19 และ 420.95 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เนื่องจากขึ้นทดสอบสามารถรับแรงได้ดีและมีการยึดของขึ้นทดสอบมากเพราะในเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์มีอัตราส่วนของ HDPE เป็นองค์ประกอบซึ่งมีสมบัติทนต่อแรงดึงที่สูง [4] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเลือกอุณหภูมิที่ 140 องศาเซลเซียส ไปใช้ในการผสมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ต่อไปเนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ดีและระยะเวลาในการผสมเข้ากันได้เร็วกว่าอุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส

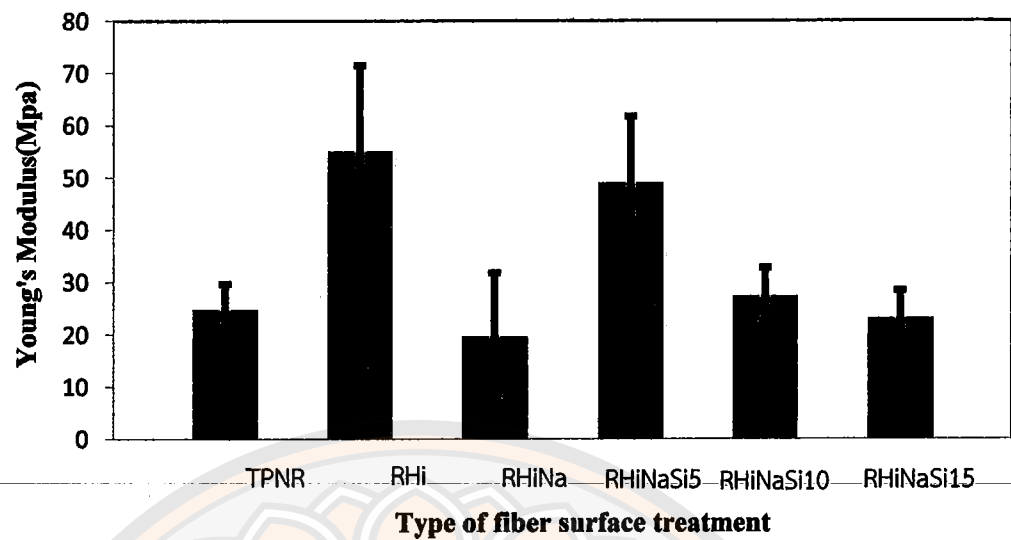
4.2 ผลของปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคเกลบที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติเชิงกลของการผสม TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ RHiNasi15

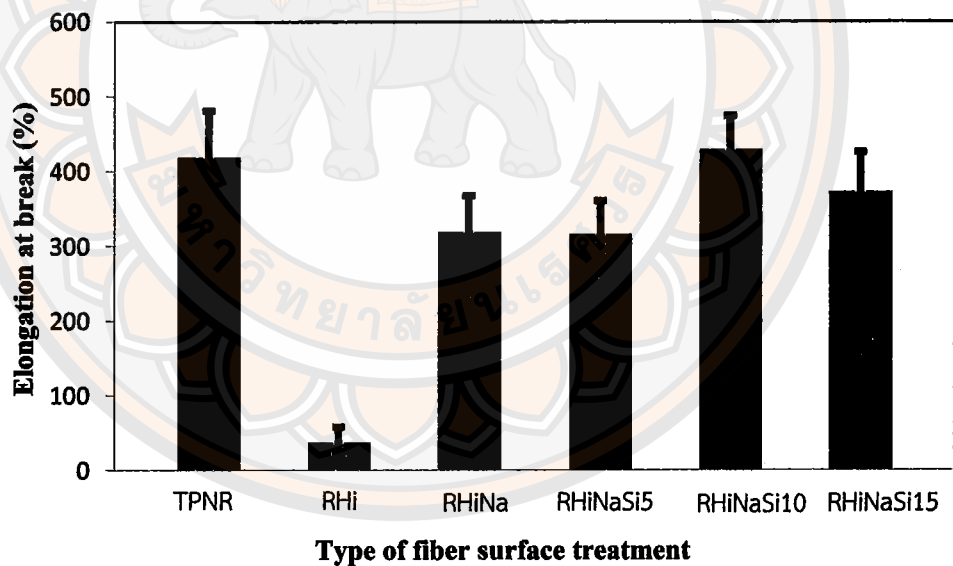
สูตร	ค่าเฉลี่ย		
	ค่าทนต่อแรงดึง (MPa)	โมดูลัสของความ ยืดหยุ่น (MPa)	ร้อยละการยืด ณ จุดขาด
NR	0.27	-	116.76
HDPE	24.14	693.18	9.68
TPNR	5.31	25.10	420.95
RHi	3.06	55.39	39.22
RHiNa	3.76	14.68	320.99
RHiNaSi5	4.20	49.31	318.16
RHiNaSi10	4.29	27.65	431.31
RHiNaSi15	3.84	23.43	374.67



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของ TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ RHiNasi15



รูปที่ 4.5 แสดงค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ของ TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ RHiNaSi15



รูปที่ 4.6 แสดงร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) โดยเฉลี่ยของ TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi10 และ RHiNaSi15

จากรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 แสดงการทดสอบสมบัติทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (TPNR) ระหว่าง NR:HDPE ในอัตราส่วน 60:40 %wt เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์คอมโพสิตด้วยอนุภาคแคลสที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว (RHi) และ

อนุภาคกลบที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว (RHINa) ในอัตราส่วน 90:10 %wt และอนุภาคกลบที่ทำการเคลือบด้วยสารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลนหรือไซเลน A-151 ที่ 5, 10 และ 15 %wt (RHINaSi5, RHINaSi10 และ RHINaSi15)

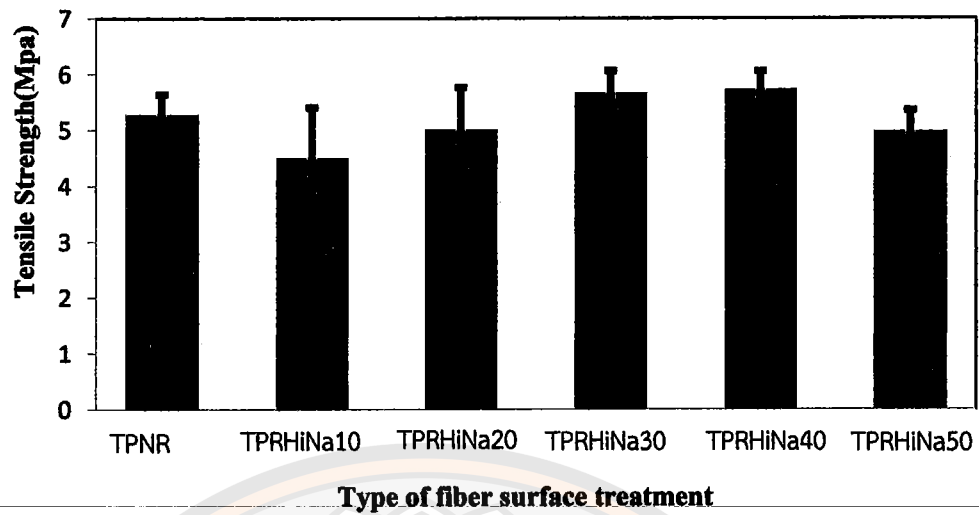
จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของ TPNR พบว่ามีค่าทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ย 5.31 เมกะปาสคาล เนื่องจาก TPNR มี NR และ HDPE เป็นส่วนประกอบซึ่งมีค่าทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ย 0.27 และ 24.14 เมกะปาสคาล ซึ่งจะรวมสมบัติทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกและยางธรรมชาติเข้าด้วยกัน คือ มีสมบัติคล้ายยางแต่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย [29] และจะพบว่า TPNR มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นโดยเฉลี่ย 25.10 เมกะปาสคาล เนื่องจากร้อยละการยืด ณ จุดขาดมีค่ามากถึง 420.95 ซึ่งจากเฟสของ NR ที่อยู่ใน TPNR ทำให้ขึ้นทดสอบมีความยืดหยุ่นมากด้วย จากนั้นได้ทำการศึกษาการทดสอบสมบัติเชิงกลของ TPNR หลังจากทำการเติมอนุภาคกลบที่ 10 %wt ที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว จะพบว่ามีความทนต่อแรงดึงลดลงเท่ากับ 3.06 เมกะปาสคาล ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นสูงขึ้นโดยเฉลี่ยถึง 55.39 เมกะปาสคาล เนื่องจากอนุภาคกลบจะเข้าไปแทรกกระหว่างเฟสของ HDPE กับ NR ซึ่งทำให้ขึ้นทดสอบมีความแข็งมากขึ้นเพราะอนุภาคกลบมีสมบัติแข็งและเปราะ [7] ทำให้ลดความสามารถการยืดตัวของขึ้นทดสอบจึงมีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 39.22 ซึ่งสมบัติเชิงกลที่ได้นั้นมีค่าต่ำกว่าสมบัติเชิงกลของ TPNR ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคกลบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 5 %wt เติมลงในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (RHINa) เพื่อต้องการให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น พบว่าสมบัติเชิงกลของขึ้นทดสอบมีค่าทนต่อแรงดึงสูงขึ้นโดยเฉลี่ย 3.76 เมกะปาสคาล และค่าร้อยละการยืดหยุ่น ณ จุดขาดเพิ่มมากขึ้นถึง 320.99 เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเข้าไปกำจัดไขมัน (Natural Fat) และแว็กซ์ (Wax) ออกจากอนุภาคกลบส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเกิดหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ทำให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างรอยต่อของเฟสได้มากขึ้น [9] เมื่อให้แรงกับขึ้นทดสอบสามารถรับแรงได้มากส่งผลให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของขึ้นทดสอบลดลงเท่ากับ 14.68 เมกะปาสคาล จะเห็นได้ว่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากการเติมอนุภาคกลบที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวมีสมบัติเชิงกลโดยเฉลี่ยดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เติมอนุภาคกลบที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวลงในพอลิเมอร์ผสม (RHi) นอกจากนี้ได้ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคกลบด้วยสารคู่ควบไซเลน ที่เติมลงในยางคอมพาวด์ จากตัวอย่างงานวิจัย Razif Nordin และคณะ พบว่าสารคู่ควบไซเลนมีความสามารถในการเสริมสร้างการเชื่อมขวางระหว่างยางกับสารตัวเติม [19] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงคิดที่จะนำสารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน หรือ ไซเลน A-151 มาช่วยในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคกลบโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่ 5, 10 และ 15 %wt/v เติมลงไปในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (RHINaSi5, RHINaSi10, RHINaSi15) มีค่าทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 , 4.29 และ 3.84 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 49.31, 27.65 และ 23.43 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และมีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 318, 431.31 และ 374.67 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีมากกว่าเมื่อเทียบกับกับกลบ

ที่ไม่ได้รับการปรับปรุง (RHi) และแกลบที่ได้รับการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (RHiNa) เนื่องจากสารคู่ควบทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์ผสมกับอนุภาคแกลบ ทำให้การยึดเกาะกันระหว่างเฟสดีขึ้น [33] และเมื่อเทียบกับกับ TPNR จะพบว่าซึ่งจะพบว่าสารคู่ควบไซเลน A-151 ที่ 5 และ 10 %wt/v มีสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกับ TPNR มากนัก แต่พบว่าสารคู่ควบไซเลน A-151 ที่ 5 %wt/v จะมีค่าโมดูลัสเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของ TPNR และจะพบว่าสารคู่ควบไซเลน A-151 ที่ 15 %wt/v มีสมบัติเชิงกลต่ำกว่า TPNR ดังนั้นปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวที่ 5 %wt/v เหมาะที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวแกลบทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ได้มีสมบัติเชิงกลไม่ด้อยกว่า TPNR

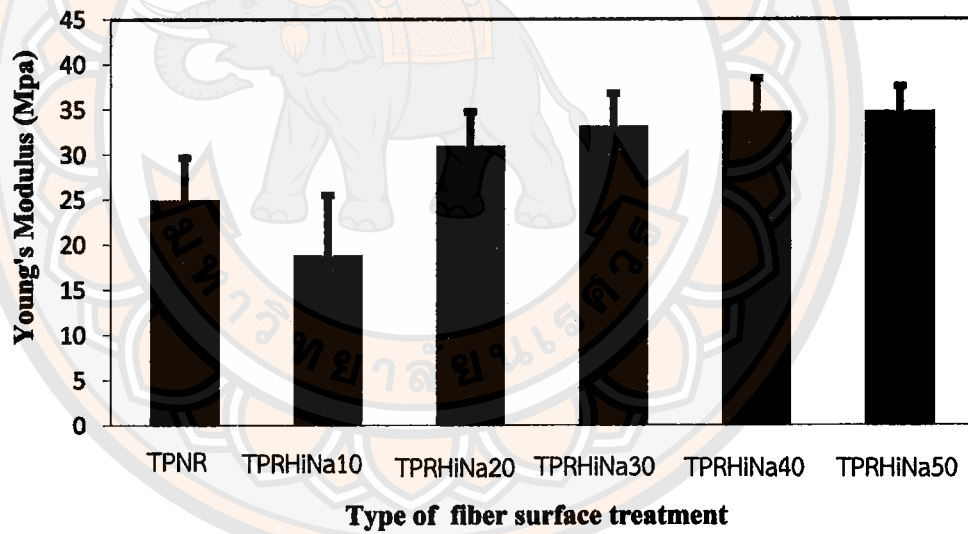
4.3 ผลของปริมาณการเติมอนุภาคแกลบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติเชิงกลที่ทำการเคลือบด้วย Si A-151 ที่ 10 %wt/v ของ TPNR, TPRHi10, TPRHi20, TPRHi30, TPRHi40 และ TPRHi50

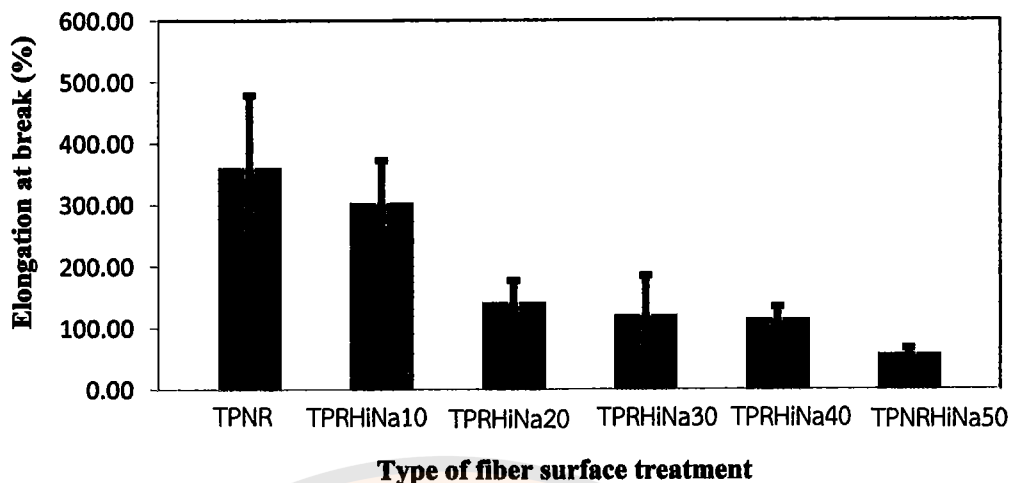
สูตร	ค่าเฉลี่ย		
	ค่าทนต่อแรงดึง (MPa)	โมดูลัสของความยืดหยุ่น (MPa)	ร้อยละการยืดของ ณ จุดขาด
NR	0.27	-	116.76
HDPE	24.14	693.18	9.68
TPNR	5.31	25.10	420.95
TPRHiNa10	4.53	19.00	306.20
TPRHiNa20	5.04	31.11	144.07
TPRHiNa30	5.69	33.27	123.11
TPRHiNa40	5.76	34.88	117.67
TPRHiNa50	5.00	34.95	59.534



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของ TPNR, TPRHiNa10, TPRHiNa20, TPRHiNa30, TPRHiNa40 และ TPRHiNa50



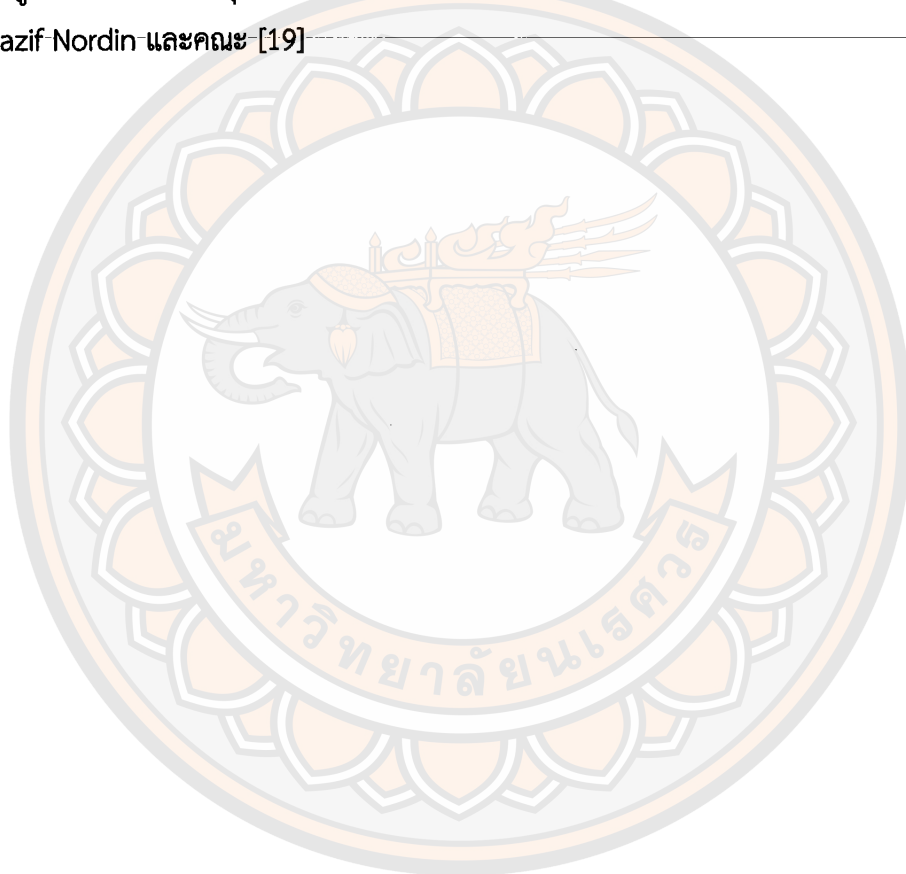
รูปที่ 4.8 แสดงค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ของ TPNR, TPRHiNa10, TPRHiNa20, TPRHiNa30, TPRHiNa40 และ TPRHiNa50



รูปที่ 4.9 แสดงค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ของ TPNR, TPRHiNa10, TPRHiNa20, TPRHiNa30, TPRHiNa40 และ TPRHiNa50

จากรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติ (NR) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในอัตราส่วน 60:40 %wt ซึ่งเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์คอมโพสิตด้วยอนุภาคแคลบที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ 5 %wt แล้วเคลือบด้วยสารคู่ควบไวนิลไทเอทอกซีไซเลน หรือไซเลน A-151 ที่ 10 %wt/v โดยมีการปรับเปลี่ยนการเติมอนุภาคแคลบลงในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPNR) ดังนี้ 10, 20, 30, 40 และ 50 %wt (TPRHiNa10, TPRHiNa20, TPRHiNa30, TPRHiNa40 และ TPRHiNa50 ตามลำดับ) เมื่อพิจารณาค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) โดยเฉลี่ยของ TPNR มีค่าเท่ากับ 5.31 เมกะปาสคาล เนื่องจาก TPNR มีส่วนประกอบระหว่าง HDPE กับ NR ซึ่ง HDPE มีค่าความทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยที่สูงถึง 24.14 เมกะปาสคาล และ NR มีค่าความทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยเพียง 0.27 เมกะปาสคาล ซึ่งจะรวมสมบัติทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกเข้าด้วยกัน คือ จะมีสมบัติคล้ายยางแต่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย [29] มีผลทำให้ TPNR มีสมบัติทนต่อแรงดึงที่สูงไปด้วย ส่วนค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Young's Modulus) โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 25.10 เมกะปาสคาล และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 420 เพราะมี NR เป็นองค์ประกอบที่มากจึงทำให้ชิ้นทดสอบมีความยืดหยุ่นมากด้วย แต่เมื่อเติมอนุภาคแคลบที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวแล้วเคลือบด้วยสารคู่ควบในปริมาณ 10 %wt ทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 4.53 เมกะปาสคาล และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดโดยเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 306.20 ส่งผลให้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยลดลงตามไปด้วยซึ่งเท่ากับ 19.00 เมกะปาสคาล และเมื่อเพิ่มการเติมปริมาณของอนุภาคแคลบเท่ากับ 20, 30 และ 40 %wt พบว่าค่าทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยสูงขึ้นเท่ากับ 5.04, 5.69 และ 5.76

เมกะปาสคาล ตามลำดับ เนื่องจากอนุภาคเกลบที่แทรกอยู่ในพอลิเมอร์คอมโพสิต สามารถรับแรงจากภายนอกได้ดี ทำให้ขึ้นทดสอบสามารถทนต่อแรงดึงได้มากขึ้น สำหรับค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดโดยเฉลี่ยมีค่าลดลงเท่ากับ 144.07, 123.11 และ 117.67 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้โมดูลัสของความยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 31.11, 33.27 และ 34.88 เมกะปาสคาลตามไปด้วย แต่เมื่อทำการเติมปริมาณเกลบเท่ากับ 50 %wt ค่าความทนต่อแรงดึงโดยเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 5.00 เมกะปาสคาล ซึ่งอาจเป็นผลจากการเติมอนุภาคเกลบในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้การกระจายตัวของอนุภาคเกลบใน TPNR จับตัวเป็นกลุ่มก้อนกระจายตัวได้ไม่ดี ทำให้สมบัติทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่า ร้อยละการยืด ณ จุดขาดโดยเฉลี่ยมีค่าลดลงเท่ากับ 59.534 ส่งผลให้ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 34.95 เมกะปาสคาล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Razif Nordin และคณะ [19]



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

จากงานวิจัยศึกษาโดยนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมาเติมอนุภาคแคลบเพื่อให้เป็นวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งอนุภาคแคลบมีการปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไวนิลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane) เพื่อให้ได้คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ซึ่งจากวิเคราะห์ผลการทดลองทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 ศึกษาผลของปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลบที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบจากสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

ปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลบที่เหมาะสม คือ การปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคแคลบเมื่อพิจารณาจากค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นพบว่า การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่ 5 %wt/v มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาค่าทนต่อแรงดึงของปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ในการเคลือบอนุภาคแคลบที่ 10 %wt/v จะมีค่าสูงกว่าการเคลือบด้วยสารคู่ควบคู่ควบที่ 5%wt/v เพียงเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPNR) จะพบว่าสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์การเคลือบด้วยสารคู่ควบที่ 5 และ 10 %wt/v (RHINaSi5, RHINaSi5) จะมีสมบัติที่ไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นควรเลือกปริมาณสารคู่ควบที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวแคลบที่ปริมาณน้อยโดยเลือกที่ 5 %wt/v

5.1.2 ศึกษาผลของปริมาณการเติมอนุภาคแคลบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของการเติมอนุภาคแคลบลงใน TPNR ด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังนี้ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 %wt ทดสอบชิ้นงานด้วยการพิจารณาสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อเติมอนุภาคแคลบลงใน TPNR มากขึ้นทำให้ค่าทนต่อแรงดึงและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เติมอนุภาคแคลบปริมาณ 40 %wt มีค่าทนต่อแรงดึงมากที่สุด และที่ 50 %wt จะมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นโดยเฉลี่ยมากที่สุด ในทางตรงกันข้ามการเติมอนุภาคแคลบลงใน TPNR มากขึ้นจะผลทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดโดยเฉลี่ยลดลงตามปริมาณแคลบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีดังนี้

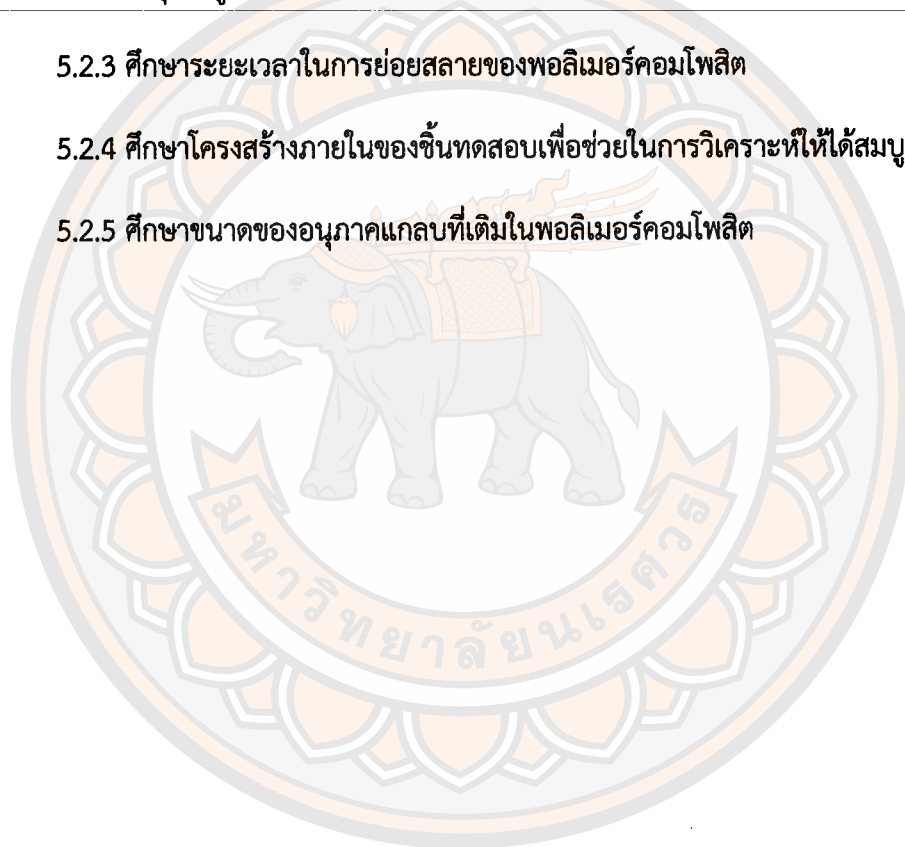
5.2.1 ในการศึกษาปริมาณการเติมอนุภาคแกลบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตควรใช้ปริมาณสารคู่ควบที่ 5 %wt/v ในการปรับปรุงเนื่องจากสารคู่ควบที่ 5 %wt/v จะให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด และทำให้สามารถลดปริมาณการใช้สารคู่ควบได้ด้วย

5.2.2 ควรนำพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและยางธรรมชาติไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analyser (TGA) เป็นการวิเคราะห์น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของวัสดุตัวอย่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่มีการเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับความร้อน

5.2.3 ศึกษาระยะเวลาในการย่อยสลายของพอลิเมอร์คอมโพสิต

5.2.4 ศึกษาโครงสร้างภายในของชิ้นทดสอบเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ให้ได้สมบูรณ์ขึ้น

5.2.5 ศึกษาขนาดของอนุภาคแกลบที่เติมในพอลิเมอร์คอมโพสิต



เอกสารอ้างอิง

- [1] A.Nag and Sukanya. (2010). Thermoplastic elastomers from waste polyethylene and reclaim rubber blends and their composites with fly ash. **Process Safety and Environmental Protection.**, (88), 131-141.
- [2] M.Abdelmouleh, S.Boufi, M.N.Belgacem, A.Dufresne. (2007). Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites : Effect of silane coupling agents and fibres loading. **Composites Science and Technology.**, (67), 1627-1638.
- [3] M.Casale, L.Avella, R.Dellerba, B.Focher, E.Martuscelli. and A.MarzettiA. (1998). Broom fibres as reinforcing materials for polypropylene-based composites. **Journal of Applied Polymer Science.**, (68), 1077-89.
- [4] M.L.Berin. (1991). **Plastic engineering handbook of the society of the plastic Industry** (5th ed.,p. 51-53). Van Nostrand Reinhold, New York.
- [5] R.Chanchampa, I.Jangchud. (2005). **Study of Black Rice Husk Ash (BRHA) as Rubber Filler.** Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok.
- [6] H.M.Dahlan, M.Mahathir. (2006). Leara as compatibilizer in NR/HDPE blends. **Journal of Nuclear and Related Technologies.**, (3), 9-8.
- [7] M. Fange, L.Yang, G.Chen, Z.Shi. (2004). Experimental study on rice huskm combustion in a circulating fluidized bed. **Fuel Processing Tecnology.**, (85), 1273-1282.
- [8] C.A.Harper. (2002). **Handbook of plastics, elestomers and composites.** (4th ed, p. 38-40). Mcgraw-Hill: United states of America.
- [9] P.E. Imoisili, B.A.Olunlande and W.B.Tomori. (2012). Effect of Silane Coupling Agent on the Tensile Properties of Rice Flour (RHF) Polyester Composite, Pacific. **Journal of Science and Technology.**, 13(1), 457-462.

- [10] A.Ishak, E.L.Chong, M.Dahlan and A.Ibrahim. (2012). Electron-beam-irradiated rich husk powder as reinforcing filler in natural rubber/high-density polyethylene (NR/HDPE) composites. **Composites., Part B.**
- [11] H.Ismail, J.M.Nizam and H.P.S.Abdul Khali. (2001). The effect of a compatibilizer on the mechanical properties and mass swell of white rich husk ask led natural rubber/linear low density polyethylene blends. **Polymer Testing.,** (20), 125-33.
- [12] F.L.Matthews and R.D.Rawlings. (1994). **composite Materials : Engineering and Science.,** London : Chaman and Hall. 287-320.
- [13] L.Y.Mwaikambo and M.P.Ansell. (1999). Die Angewandte Makromolekularee, **Chemie.,** (272), 108-24.
- [14] C.Nakason, K.Nuansomsri, A.Kaesaman, S.Kiatkamjornwong. (2006). Dynamic vulcanization of natural rubber/high-density polyethylene blends: Effect of compatibilization, blend ratio and curing system, **Polymer Test.,** (25), 782-796.
- [15] S.O.Pongdhon, S.Chakrit, S.Promsak, T.Puchong. (2010). Properties Recyclability of thermoplastic elastomer prepared from natural rubber powder (NRP) and high density polyethylene (HDPE), **Polymer Testing.,** (29), 346-351.
- [16] K.Poolawat, I.Jangchud, C.Ritvirulh and P.Pinyocheep. (2011). Effects of Viscosity on Properties of Thermoplastic Natural Rubber (TPNR) Prepared from Natural Rubber (NR) and Low Density Polyethylene (LDPE)., Bangkok : Mahidol University.
- [17] R.Rahmadini, A.Ishak, and A.Ibrahim. (2011). Effect of Rice Husk Surface Modification by LENR the on Mechanical Properties of NR/HDPE Reinforced Rice Husk Composite. **Sains Malaysiana.,** 40(7), 749-756.
- [18] C.Rasima, and J.Ittipol. (2010). Study of Rice Husk Ash (BRHA) as Rubber Filler, **Department of Chemistry.,** Faculty of Science, Bangkok : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.

- [19] N.Razif, C.S.Said, H.Ismail, (2006). **The effect of filler loading and silane coupling agent on cure characteristics and mechanical Properties of rice husk powder filled natural rubber compounds.**, Thailand : Khon Kaen University.
- [20] I.I.Rubin. (1990). **Handbook of plastic material and technology.** New Your : John Wiley and Sons., pp. 310-354.
- [21] C.Wayakron, S.Ploypardup and P.Tepkit. (2008). **Effects of Modified Liquid Natural Rubber in Black Rice Husk Ash Filled Natural Rubber Compound.** *NU Science Journal*, 5(1), 92 – 107.
- [22] M.S.Sreekala, M.G.Kumaran and S.Thomas. (2003). **Effect of Fibre Surface Modification on Water-Sorption Characteristics of Oil Plam Fibre.** *Composites Science and Technology*, (63),861-869.
- [23] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. (2554). **การทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์.** กรุงเทพฯ : คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [24] บัญชา ธนบุญสมบัติและคณะ. (2546). **ความรู้เบื้องต้นด้านวัสดุ.** กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [25] ประกาศ เอื่อนทซ์. (2555). **พระราชบัญญัติการยางแห่งประเทศไทยในอินเทอร์เน็ต เว็บไซต์** สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2555, จาก <http://www.thainr.com/th/detail main>.
- [26] พงษ์ธร แซ่อูย. (2548). **ยาง : ชนิด สมบัติ และ การใช้งาน.** กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- [27] พงษ์ธร แซ่อูย. (2548). **เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติผง.** กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC).
- [28] C. Nakason, S. Jamjinno, A. kaesaman and S. kiatkamjornwong. (2008). **Thermoplastic elastomer basednon high-density polyethylene/natural rubber blands: rheological, thermal, and morphological propretical.** *Polymers for Advanced Technologies*, (19), 85-95.
- [29] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2554). **พอลิเมอร์. เอกสารประกอบการสอนรายวิชาเคมีประยุกต์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

- [30] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2547). สารปรับแต่งพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ : บุ๊คเน็ต.
- [31] ศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล. (2550). พอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยจากมะพร้าว. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [32] อารีย์ โสมวดี. (2555). ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรไตรมาส 1 ปี 2555 และแนวโน้มปี 2555. สืบค้นเมื่อ 1 กรกฎาคม 2555, จาก <http://www.oae.go.th>.
- [33] อรอุษา สรวาร. (2546). สารเติมแต่งพอลิเมอร์เล่ม 1. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [34] อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.



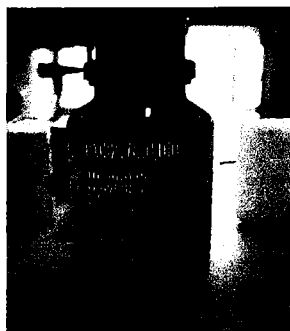


ภาคผนวก ก

ข้อมูลสารเคมีที่ใช้ในการทำงานวิจัย

มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารคู่ควบไซเลน



รูปที่ ก.1 สารคู่ควบไวโนลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane)

ชื่อทางเคมี	ไวโนลไตรเอทอกซีไซเลน (Vinyltriethoxysilane)
ชื่อทางการค้า	silane A-151
สูตรโครงสร้าง	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$
น้ำหนักโมเลกุล	190.3 g/mol
ลักษณะ	ของเหลวใส ไม่มีสี
ความบริสุทธิ์	95%ขึ้นไป
ความหนาแน่น	0.908-0.910 g/cm ³
จุดเดือด	161 องศาเซลเซียส
จุดวาบไฟ	59 องศาเซลเซียส
การละลาย	แอลกอฮอล์ อีเทอร์ เอสเทอร์ เบนซีน บางครั้งละลายในน้ำ
การใช้งาน	พอลิเอทิลีน พอลิพรอพริลีน พอลิเอสเทอร์
พื้นที่ผิวที่ปกคลุม	411 ตารางเมตรต่อกรัม
ข้อแนะนำ	เก็บห่างไป ความร้อนและแสงแดด เก็บไว้ได้นาน 1 ปี
ราคา	1000 บาท/100 มิลลิลิตร



ผลจากการทดลอง

จากมาตรฐาน ASTM D 412 กำหนดมาตรฐานในการทดสอบดังนี้ ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อนาที ขนาดของดัมเบล ความยาวของระยะทดสอบเริ่มต้น (Gauge Length; L0) 33 มิลลิเมตร กว้าง 6 มิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร พื้นที่ 12 ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหา Tensile Strength, Elongation at Break และ Young's Modulus ของการผสม HDPE:NR ที่อุณหภูมิ 135 และ 140 องศาเซลเซียส

Name	Area (mm ²)	Gauge Length (mm)	Load at Maximum Load (kN)	Machine Extension at Maximum Load (mm)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Brake (%)	Young's Modulus (MPa)
TPNR135	12	33	0.05	126.57	4.51	383.53	15.49
TPNR135	12	33	0.06	146.79	4.76	444.80	11.88
TPNR135	12	33	0.06	86.62	4.78	262.47	18.29
TPNR135	12	33	0.05	101.91	3.93	308.81	24.45
TPNR135	12	33	0.06	160.05	4.67	484.99	12.97
Mean	12	33	0.05	124.38	4.53	376.92	16.61
SD	-	-	-	-	0.31	82.54	4.50
TPNR140	12	33	0.06	54.03	5.33	163.74	32.38
TPNR140	12	33	0.06	130.01	5.27	394.00	28.17
TPNR140	12	33	0.07	136.34	5.99	413.15	25.58
TPNR140	12	33	0.06	169.50	5.16	332.13	31.28
TPNR140	12	33	0.10	159.13	5.04	513.63	17.99
Mean	12	33	0.06	122.34	5.36	363.33	27.08
SD	-	-	-	-	0.37	115.60	5.74

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหา Tensile Strength, Elongation at Break และ

Young's Modulus ของ HDPE และ NR ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

Name	Area (mm ²)	Gauge Length (mm)	Load at Maximum Load (kN)	Machine Extension at Maximum Load (mm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Elongation at Brake(%)
NR	12	33	0.0031	37.39	0.25	-	113.30
NR	12	33	0.0030	37.68	0.25	-	114.18
NR	12	33	0.0026	36.34	0.21	-	110.11
NR	12	33	0.0038	46.14	0.31	-	139.83
NR	12	33	0.0036	35.11	0.30	-	106.39
Mean	12	33	0.0032	38.53	0.27	-	116.76
SD	-	-	-	-	0.04	-	11.85
HDPE	12	33	0.31	3.14	26.12	738.04	9.52
HDPE	12	33	0.29	3.40	24.39	709.47	10.32
HDPE	12	33	0.27	3.06	22.52	686.60	9.29
HDPE	12	33	0.27	3.18	22.73	588.47	9.65
HDPE	12	33	0.30	3.18	24.93	743.31	9.64
Mean	12	33	0.13	22.47	24.14	693.18	9.68
SD	-	-	-	-	1.36	56.21	0.34

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหา Tensile Strength, Elongation at Brake และ

Young's Modulus ของ RHi, RHiNa, RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ

RHiNaSi15 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

Name	Area (mm ²)	Gauge Length (mm)	Load at Maximum Load (kN)	Machine Extension at Maximum Load (mm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Elongation at Brake (%)
RHi	12	33	0.03	8.19	2.68	46.87	24.81
RHi	12	33	0.04	8.44	3.15	79.05	25.58
RHi	12	33	0.04	25.02	3.28	42.02	75.81
RHi	12	33	0.03	10.42	2.69	39.03	31.57
RHi	12	33	0.04	12.65	3.48	69.99	38.33
Mean	12	33	0.04	12.94	3.06	55.39	39.22
SD	-	-	-	-	0.32	16.08	18.93
RHiNa	12	33	0.04	111.49	3.70	34.03	337.84
RHiNa	12	33	0.04	106.63	3.31	4.71	323.13
RHiNa	12	33	0.05	130.71	3.93	7.57	396.10
RHiNa	12	33	0.04	95.13	3.71	29.60	288.28
RHiNa	12	33	0.05	85.68	3.91	23.94	259.62
Mean	12	33	0.04	55.21	3.71	19.97	320.99
SD	-	-	-	-	0.22	11.77	46.40
RHiNaSi5	12	33	0.05	111.88	4.42	30.62	339.04
RHiNaSi5	12	33	0.05	113.87	4.36	45.41	345.06
RHiNaSi5	12	33	0.05	81.61	3.90	69.35	247.29
RHiNaSi5	12	33	0.05	120.35	4.19	50.73	364.69
RHiNaSi5	12	33	0.05	97.25	4.12	50.47	294.71
Mean	12	33	0.04	69.85	4.20	49.31	318.16
SD	-	-	-	-	0.18	12.40	42.18
RHiNaSi10	12	33	0.05	150.53	4.19	36.40	456.14
RHiNaSi10	12	33	0.06	165.37	4.86	30.80	501.12
RHiNaSi10	12	33	0.05	125.72	3.80	19.64	380.98
RHiNaSi10	12	33	0.05	134.13	4.34	23.69	406.46
RHiNaSi10	12	33	0.05	135.91	4.25	27.74	411.84
Mean	12	33	0.05	85.61	4.29	27.65	431.31
SD	-	-	-	-	0.34	5.77	42.47

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหา Tensile Strength, Elongation at Brake และ

Young's Modulus ของ RHi, RHiNa, RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ

RHiNaSi15 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Name	Area (mm ²)	Gauge Length (mm)	Load at Maximum Load (kN)	Machine Extension at Maximum Load (mm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Elongation at Brake (%)
RHiNaSi15	12	33	0.04	128.18	3.55	25.71	388.41
RHiNaSi15	12	33	0.05	143.88	4.05	26.77	435.99
RHiNaSi15	12	33	0.04	101.16	3.35	38.78	306.55
RHiNaSi15	12	33	0.05	137.87	4.05	29.34	417.80
RHiNaSi15	12	33	0.05	107.20	3.80	15.09	324.84
Mean	12	33	0.05	123.66	3.84	23.43	374.72
SD	-	-	-	-	0.19	5.12	50.92

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหา Tensile Strength, Elongation at Brake และ

Young's Modulus ของ TPRHiNa10, TPRHiNa20, TPRHiNa30

TPRHiNa40 และ TPRHiNa50 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

Name	Area (mm ²)	Gauge Length (mm)	Load at Maximum Load (kN)	Machine Extension at Maximum Load (mm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Elongation at Brake (%)
TPRHiNa10	12	33	0.051	78.18	4.27	22.65	236.91
TPRHiNa10	12	33	0.065	118.02	5.43	24.69	357.66
TPRHiNa10	12	33	0.044	99.96	3.69	6.33	302.90
TPRHiNa10	12	33	0.068	132.73	5.68	21.28	402.22
TPRHiNa10	12	33	0.043	76.33	3.58	20.07	231.29
Mean	12	33	0.054	101.05	4.53	19.00	306.20
SD	-	-	-	-	0.87	6.52	66.77
TPRHiNa20	12	33	0.028	40.72	4.68	30.44	123.40
TPRHiNa20	12	33	0.025	46.72	4.13	35.21	139.84
TPRHiNa20	12	33	0.027	32.23	4.60	26.56	97.65
TPRHiNa20	12	33	0.035	62.89	5.79	28.02	190.57
TPRHiNa20	12	33	0.036	55.74	6.00	35.31	168.91
Mean	12	33	0.030	47.54	5.04	31.11	144.07
SD	-	-	-	-	0.72	3.16	32.80
TPRHiNa30	12	33	0.036	32.28	5.98	37.51	97.82
TPRHiNa30	12	33	0.035	16.29	5.91	36.82	49.36
TPRHiNa30	12	33	0.032	25.26	5.28	26.83	76.55
TPRHiNa30	12	33	0.036	64.33	6.08	33.93	194.94
TPRHiNa30	12	33	0.031	56.07	5.22	31.26	169.90
Mean	12	33	0.034	38.85	5.69	33.27	144.07
SD	-	-	-	-	0.37	3.91	61.40
TPRHiNa40	12	33	0.035	42.34	5.78	31.29	128.31
TPRHiNa40	12	33	0.037	33.15	6.20	35.62	100.44
TPRHiNa40	12	33	0.036	46.54	5.94	38.56	141.04
TPRHiNa40	12	33	0.033	32.14	5.49	38.64	97.38
TPRHiNa40	12	33	0.032	40.001	5.37	30.28	121.23
Mean	12	33	0.035	38.84	5.76	34.88	117.68
SD	-	-	-	-	0.30	3.53	16.63

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหา Tensile Strength, Elongation at Brake และ

Young's Modulus ของ TPRHiNa10, TPRHiNa20, TPRHiNa30

TPRHiNa40 และ TPRHiNa50 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Name	Area (mm ²)	Gauge Length (mm)	Load at Maximum Load (kN)	Machine Extension at Maximum Load (mm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	Elongation at Brake (%)
TPRHiNa50	12	33	0.033	18.21	5.45	38.60	55.19
TPRHiNa50	12	33	0.032	23.80	5.39	37.34	72.12
TPRHiNa50	12	33	0.028	20.23	4.60	33.56	61.31
TPRHiNa50	12	33	0.029	19.06	4.84	31.78	57.75
TPRHiNa50	12	33	0.028	16.93	4.74	33.46	51.30
Mean	12	33	0.030	19.65	5.00	34.95	59.54
SD	-	-	-	-	0.35	2.58	7.09



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างขั้นตอนสอบสมบัติเชิงกล



รูปที่ ค.1 แสดงขั้นตอนทดสอบสมบัติเชิงกลของการผสม TPNR, RHi, RHiNa, RHiNaSi5, RHiNaSi10 และ RHiNasi15



รูปที่ ค.2 แสดงขั้นตอนทดสอบสมบัติเชิงกลที่ทำการเคลือบด้วย Si A-151 ที่ 10 %wt ของ TPNR, TPRHi10, TPRHi20, TPRHi30, TPRHi40 และ TPRHi50