



ศึกษาการผสมระหว่างสไตรีน อะครีไลน์ไตรล์โคพอลิเมอร์ออฟเกรดและยางธรรมชาติ

สำนักหอสมุดกลาง



โดย
นางสาวจรีนุช โรจน์เสถียร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ศึกษาการผสมระหว่างสไตรีน อะครีโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์ออฟเกรดและยางธรรมชาติ

สำนักหอสมุดกลาง

โดย

นางสาวจารีนุช โรจน์เสถียร



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

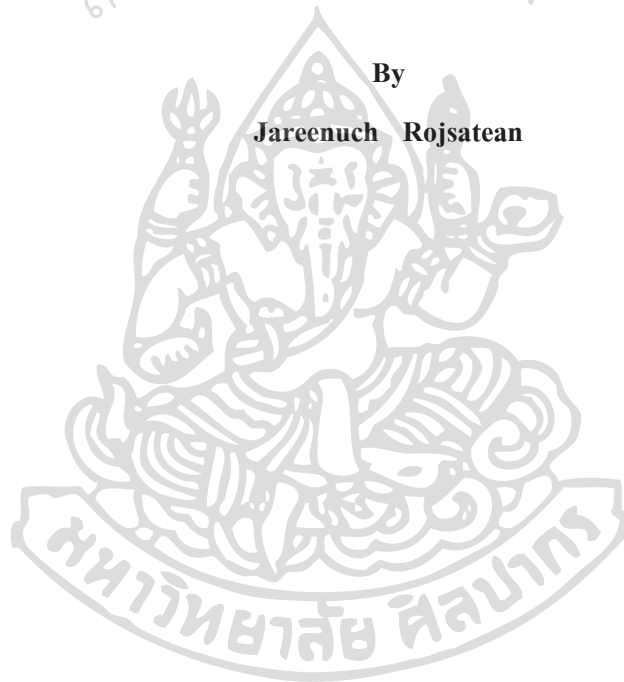
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**STUDY OF STYRENE ACRYLONITRILE COPOLYMER (SAN) OFF-GRADE AND
NATURAL RUBBER (NR) BLENDS**

สำนักหอสมุดกลาง



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ENGINEERING

Department of Materials Science and Engineering

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2011

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ ศึกษาการผสมระหว่าง สไตรีน อะครีโลไนไตรล์โพลีเมอร์ออฟเกรดและยางธรรมชาติ ” เสนอโดย นางสาว จารีนุช โรจน์เสถียร เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารัทสนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. อาจารย์ ดร.ศุภกิจ สุทธิเรืองวงศ์
2. รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส แซ่ค่าน

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สุมนมาลย์ เนียมกลาง)

...../...../.....

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ศุภกิจ สุทธิเรืองวงศ์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มนัส แซ่ค่าน)

...../...../.....

53402202 : สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

คำสำคัญ : สไตรีน อะคริโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์/ยางธรรมชาติ/พอลิเมอร์ผสม/สารช่วยเพิ่มความ
เข้ากันได้/สมบัติเชิงกล

จารีนุช โรจน์เสถียร : ศึกษาการผสมระหว่างสไตรีน อะคริโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์
ออฟเกรดและยางธรรมชาติ. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : อ.ดร.ศุภกิจ สุทธิเรืองวงศ์ และ รศ.
ดร.มนัส แซ่ด่าน. 109 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำสไตรีน อะคริโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์ (SAN) ที่ได้จากการผลิตที่มีสมบัติไม่เป็นไปตามเกรดที่ขายทางการค้า (SAN off grade, SANog) มาใช้ประโยชน์ โดยนำมาผสมกับยางธรรมชาติ (NR) เพื่อเพิ่มสมบัติการรับแรงกระแทกและลดปัญหาในเรื่องสีและสิ่งปนเปื้อนของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ แต่เนื่องจาก SAN และ NR นั้นเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถผสมกันได้ จึงส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ ดังนั้นในกระบวนการผสมจึงมีการนำสารว่องไวปฏิกิริยา (reactive agent) มาช่วยเพิ่มความเข้ากันได้เพื่อให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น ในการศึกษาแบ่งเป็น การศึกษาสารว่องไวปฏิกิริยาสองระบบ ได้แก่สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบของ maleic anhydride (MA), styrene- maleic anhydride copolymer (SMA) และ peroxide และระบบ phenolic resin และใช้ SAN/NR ในสัดส่วน 75/25 โดยผสมในเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 10 นาที จากการศึกษาพบว่า SMA และ MA นั้นมีผลทำให้พอลิเมอร์ SAN/NR ที่ได้นั้นมีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคยางในเฟสของ SAN ที่ละเอียดและมีความสม่ำเสมอกว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ไม่ได้เติมสารว่องไวปฏิกิริยา และยังพบว่าขนาดอนุภาคของยางจะมีความละเอียดและสม่ำเสมอมากขึ้นเมื่อใช้ SMA กับ MA ร่วมกัน และจากผลของสมบัติเชิงกลพบว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ SMA ร่วมกับ MA มีค่า % elongation at break สูงที่สุด แต่มีค่า impact strength ที่ต่ำกว่าการใช้ SMA เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา เพียงอย่างเดียว เมื่อศึกษาผลของกระบวนการที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้นพบว่าการใช้ SMA ร่วมกับ MA ซึ่งให้ผลการผสมที่ดีจากการศึกษาในเครื่องผสมแบบปิดนั้น ไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้ในการเตรียมโดยกระบวนการอัดรีด เนื่องจากเฟสของยางนั้นไม่คงรูปและเกิดการแยกชั้นของ SAN และ NR อย่างชัดเจน ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการทำให้เฟสยางเกิดการเชื่อมขวางในระหว่างกระบวนการผสม ซึ่งจะทำให้เฟสยางมีลักษณะเป็นทรงกลมกระจายตัวอยู่ในเฟสของ SAN ได้ แต่อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้นั้นก็ยังขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในเฟสของ SAN ซึ่งการเกิดการเชื่อมขวาง ที่มากหรือเร็วเกินไป จะส่งผลทำให้อนุภาคยางมีขนาดใหญ่และส่งผลให้เกิดการลดลงของสมบัติเชิงกลได้เช่นกัน และจากการศึกษาเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog นั้นพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดย SANog นั้นจะมีความแข็งแรงและมีความต้านทานแรงกระแทกได้ดีกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN เกรดปกติ

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. 2.

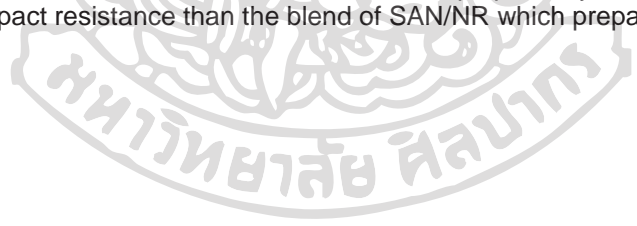
53402202 : MAJOR : POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING

KEY WORD : STYRENE ACRYLONITRILE (SAN)/NATURAL RUBBER (NR)/

COMPATIBILIZER / POLYMER BLEND/MECHANICAL PROPERTIES

JAREENUCH ROJSATEAN: STUDY OF STYRENE ACRYLONITRILE COPOLYMER (SAN) OFF-GRADE AND NATURAL RUBBER (NR) BLENDS. THESIS ADVISORS: SUPAKIJ SUTTIREUNGWONG, Ph.D. AND ASSOC. PROF. MANUS SEADAN, Ph.D. 109 pp.

In this work, the improvement of impact property of poly(styrene-co-acrylonitrile) off-grade (SANog), originally obtained during the start-up of the SAN synthesis process, was interest. Natural rubber (NR) was selected to blend with SANog. It is known that SAN and NR is immiscible and incompatible, Physical blend of these two polymers would cause poor mechanical properties. Therefore, the reactive agents were added to improve compatibility of this system. The potential of various reactive agents in SAN and NR blend was explored. The morphological and mechanical properties were compared. The melt blending of SAN and NR were prepared in an internal mixer at 180 °C for 10 min using two systems of reactive agents, namely the system consisting of maleic anhydride (MA), styrene-maleic anhydride compolymer (SMA) and peroxide and the system consisting of phenolic resin. The results of morphological observations revealed that SAN/NR blend with reactive agent, the mixture of SMA and MA showed the smallest and the most uniform dispersed NR particles. The mechanical properties of the blends revealed that impact strength and elongation at break were increased with addition of reactive agents. SAN/NR blend with the mixture of SMA and MA showed the highest elongation at break but it had lower impact strength than the blend with SMA. The results of the melt blending process for SAN/NR blend revealed that reactive agent, the mixture of SMA and MA which effective for the melt blending in the internal mixer was ineffective for extrusion process. The morphological observations revealed that SAN/NR blend with mixture of SMA and MA show the separation of SAN and NR phase to form the layer and led to poor mechanical properties of the blend. It was due to unstable of NR phase. This problem could be solved by inducing crosslink reaction of NR phase during melt blending process. Crosslinked NR phase could be formed the stable particle during mixing process and dispersed in SAN phase. However, mechanical properties of the blend strongly depended on particle size of NR phase. The large size of NR particle due to the fast crosslinking reaction acted as the defect and led to poor mechanical properties of the blend. The blend of SAN/NR prepared by using SANog showed higher strength and impact resistance than the blend of SAN/NR which prepared by SAN.



Department of Materials Science and Engineering Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2011

Student's signature.....

Thesis Advisors' signature 1. 2.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร.ศุภกิจ สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และ รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส แซ่ด่าน อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้คอยช่วยให้คำปรึกษา รวมถึงชี้แนะวิธีการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทำการวิจัยมาโดยตลอด จนถึงการตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างละเอียดถี่ถ้วน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์ และอาจารย์ ดร.สุมนมาลย์ เนียมกลาง ที่ให้ข้อเสนอแนะและสละเวลาสำหรับการสอบวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงอาจารย์ทุกท่านที่ได้เคยสั่งสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัยและเครื่องมือทดสอบ และ ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนการศึกษาและเงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณบริษัท ไทยเอเปส จำกัด (มหาชน) สำหรับความอนุเคราะห์เรื่องเม็ดพลาสติก พอลิโพรพิลีนอะคริโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ (SAN) ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคุณพินิจ เจียนระลึก นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คุณไพโรจน์ ตั้งสุภะวัช นายช่างเทคนิคประจำภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ สำหรับการอำนวยความสะดวกเรื่องเครื่องมือและเครื่องจักรที่ใช้ในการทำการวิจัยครั้งนี้ รวมไปถึงเจ้าหน้าที่สำนักงานภาควิชาที่อำนวยความสะดวกทางการเงินและเอกสารต่างๆ

ขอขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาเอกและเพื่อนๆปริญญาโท รวมถึงรุ่นน้องปริญญาตรีที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา ตลอดจนมิตรภาพและกำลังใจที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้งานวิจัยนี้จะเกิดขึ้นไม่ได้เลย ถ้าขาดบุคคลสองท่านนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา และ มารดา ที่เสียสละเลือด สั่งสอนและให้กำลังใจผู้ทำวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา ทำให้การศึกษาและการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
	สารบัญตาราง	ณ
	สารบัญภาพ	ด
	บทที่	
1	บทนำ.....	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	ขอบเขตของการวิจัย.....	4
	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
	ประโยชน์ที่ได้รับ	5
2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	6
	สไตรีน อะครีโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ (styrene-acrylonitrile copolymer, SAN).....	6
	ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)	7
	ยางธรรมชาติดัดแปลง (Modified natural rubber).....	11
	พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend).....	12
	สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer).....	14
	รายงานผลงานวิจัยที่ผู้อื่นได้ทำมาแล้ว	18
3	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	23
	วัสดุดิบและสารเคมีในการทำวิจัย	23
	เครื่องมือที่สำคัญในงานวิจัย.....	24
	เครื่องมือวิเคราะห์	25
	ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	25
4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	35
	การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของ SAN เกรดปกติและ SANog.....	35

บทที่	หน้า
การศึกษาการผสมระหว่าง SANog กับ NR โดยการ ปรับเปรียบอัตราส่วนการผสม SANog/NR.....	37
การศึกษาผลของการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA SMA และ peroxide ในเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer)	42
การศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ phenolic resin.....	55
การศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ SMA, MA และ peroxide โดยกระบวนการอัดรีด (extrusion).....	61
การศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้ NR ที่มีการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR โดยกระบวนการ อัดรีด.....	67
การเปรียบเทียบผลของสัดส่วนในการผสมระหว่าง SAN กับยางที่มีการปรับปรุงหมู่ฟังก์ชัน ที่เตรียม โดยกระบวนการอัดรีด	77
การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม ในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 ที่มีอัตราส่วนการผสมเป็น 80/20 ในกระบวนการอัดรีด	81
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	86
สรุปผลการทดลอง	86
ข้อเสนอแนะ.....	87
บรรณานุกรม	88
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก ข้อมูลประกอบการวิจัย.....	92
ประวัติผู้วิจัย	109

สารบัญญัตินี้

ตารางที่		หน้า
1.1	สมบัติของ SAN เกรดปกติและ SAN off-grade	1
3.1	ชื่อสูตรและปริมาณของสารที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วยสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide	28
3.2	ปริมาณของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมยาง NRp1 และ NRp2.....	29
3.3	สูตรและปริมาณของ phenolic resin ที่ใช้ในการเตรียม พอลิเมอร์ผสม SAN/NR	30
3.4	สูตรและปริมาณของสารต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วยสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide สำหรับกระบวนการอัดรีด	31
3.5	สูตรและปริมาณของยางยาง 3MNR 5MNR และ ENR ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR	34
4.1	สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล และสมบัติเชิงความร้อน ของ SAN และ SANog	36
4.2	ชื่อสูตรของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใส่สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ Peroxide	43
4.3	สมบัติทางความร้อน ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ MA, SMA และ Peroxide เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา	54
4.4	สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ phenolic resin	61
4.5	ชื่อสูตรของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR โดยใช้ NR ที่มีการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR	68
4.6	แสดงค่าสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบยาง MNR และ ENR.....	76
4.7	แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20	79
4.8	แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20.....	80

ตารางที่		หน้า
4.9	แสดงสมบัติทางความร้อนของของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20.....	80
4.10	สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70ENR30 ที่เตรียมด้วย SAN และ SANog	82
4.11	แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมในสูตร SAN/3MNR และSAN/3MNR70 ENR30 ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog....	85
ก.1	แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide.....	93
ก.2	แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide	93
ก.3	แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide.....	94
ก.4	แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin	95
ก.5	แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin.....	95
ก.6	แสดง impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin.....	96
ก.7	แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxideซึ่งผสม ในกระบวนการอัดรีด	97
ก.8	แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxideซึ่งผสม ในกระบวนการอัดรีด	97
ก.9	แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN และยางธรรมชาติ คัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR ที่เตรียมโดยกระบวนการอัดรีด	101

ตารางที่		หน้า
ก.10	แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN และยางธรรมชาติ ดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR ที่เตรียมโดยกระบวนการ อัครีต	102
ก.11	แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN และยางธรรมชาติ ดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR ที่เตรียมโดยกระบวนการ อัครีต	102
ก.12	แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR, ENR และ 3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN ต่อ NR ในสัดส่วน 75/25 และ 80/20.....	105
ก.13	แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR, ENR และ 3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN ต่อ NR ในสัดส่วน 75/25 และ 80/20	105
ก.14	แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR, ENR และ 3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN ต่อ NR ในสัดส่วน 75/25 และ 80/20	105
ก.15	แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70ENR30 ที่เตรียมด้วย SAN และ SANog	108

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของ Poly(styrene- <i>co</i> -acrylonitrile) (SAN).....	6
2.2	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	8
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของยาง ENR	11
2.4	กลไกการกราฟต์ของ MA บน โมเลกุลของ NR ที่น่าจะเป็นไปได้ โดยที่กลไก (A) Free radical mechanism (B) Diels-Alder reaction)	12
2.5	แผนภาพแสดงการการใช้บล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer)	14
2.6	แผนภาพแสดงการใช้อนุพันธ์ที่มีความเป็นขั้วอยู่บนสายโซ่โมเลกุล เป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer)	15
2.7	แผนภาพแสดงการใช้อนุพันธ์ที่หมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการ ทำปฏิกิริยาเป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer)	16
2.8	แผนภาพแสดงการเตรียม SAN/NR-g-SAN blends	18
2.9	แสดงปฏิกิริยาของ nitrile group กับ epoxide group.....	19
2.10	Infrared spectra ของ NR และ MNR ที่ใช้ MA10 phr (MNR-10).....	20
2.11	ผลของปริมาณ MA ที่มีผลต่อปริมาณการกราฟต์ติดของ MA และ absorbance ratio	21
2.12	สารละลาย molau test ในกรด formic acid ของพอลิเมอร์ผสม 75/25: a) Polyamide 6/NR และ b) Polyamide 6/(NR 3 wt% MA).....	21
3.1	โครงสร้างโมเลกุลของ MA	23
3.2	โครงสร้างโมเลกุลของ SMA.....	23
3.3	โครงสร้างโมเลกุลของ peroxide (Luperox 101 XL45) จากบริษัท Schenectedy Chemicals	24
3.4	โครงสร้างของ phenolic resin HRJ-1367 (R = t- butyl, n = 1-10).....	24
4.1	ลักษณะทางกายภาพของ (ก) SAN และ SANog (ข) SAN/NR และ SANog/NR.....	35

ภาพที่		หน้า
4.2	แสดงสัณฐานวิทยาพื้นผิวการแตกหักของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ในอัตราส่วนการผสม 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80 ตามลำดับ	38
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กการผสมกับเปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR.....	39
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า tensile strength กับเปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR.....	40
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % elongation at break กับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR	40
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength กับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR.....	41
4.7	กลไกการกราฟต์ของ MA บน โมเลกุลของ NR ที่น่าจะเป็นไปได้ โดยที่กลไก (A) Free radical mechanism (B) Diels-Alder reaction)	42
4.8	สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN/NR ในอัตราส่วน 75/25: (ก) SN (ข) SNM (ค) SNS (ง) SNP (จ) SNSM (ฉ) SNMP (ช) SNSP(ซ) SNSMP	44
4.9	ค่าทอร์ก (torque) ในการหลอมผสมของพอลิเมอร์ผสม SN, SNM และ SNS เป็นเวลา 10 นาที	46
4.10	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กในการผสมกับเวลาของ พอลิเมอร์ผสม SAN/NR และ SAN/NR + Peroxide 0.2 phr	46
4.11	การเกิดเชื่อมขวางของ NR โมเลกุลด้วย MA ภายใต้ความร้อน และแรงเฉือน	47
4.12	แผนภูมิแสดงดัชนีการไหลที่ 220 °C ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ไม่ได้เติมและเติมสารว่องไวปฏิกิริยา	48
4.13	แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide	49

ภาพที่		หน้า
4.14	แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ Peroxide	50
4.15	แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ Peroxide	51
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะยืด จากการทดสอบการ ดึงยืดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ MA, SMA และ peroxide	52
4.17	แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น MA, SMA และ peroxide	53
4.18	กราฟแสดงพฤติกรรมการหลอมของ SAN และ PS ที่มีการเติม phenolic resin 0.5 phr ร่วมกับ SnCl ₂ 0.1 phr	55
4.19	ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่าง SAN และ phenolic resin ซึ่งใช้ SnCl ₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	56
4.20	แผนภูมิแสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไว ปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin	57
4.21	แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไว ปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin	57
4.22	แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin	58
4.23	แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin	59
4.24	แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin.....	60
4.25	ลักษณะวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN/NR ในอัตราส่วน 75/25 (ก) SAN/NRp1 (ข) SAN/NRp2 (ค) SAN/Phe0.1/SnCl ₂ 0.05/NRp1 (ง)SAN/Phe0.05/SnCl ₂ 0.05/NRp1 (จ) SAN/Phe0.1/SnCl ₂ 0.05/NRp2 (ฉ) SAN/Phe0.05/SnCl ₂ 0.05/NRp1 ที่สกัดเฟสออกโดยใช้ n-hexane	60

ภาพที่		หน้า
4.26	แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวแตกหักของ ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25): (ก) SN (ข) SNS (ค) SNSM และ (ง) SNSMP	63
4.27	แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide ที่ได้จาก กระบวนการอัดรีด	64
4.28	แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไว ปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide ที่ได้จาก กระบวนการอัดรีด	65
4.29	แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide ที่ได้จาก กระบวนการอัดรีด	65
4.30	แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไว ปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide ที่ได้จาก กระบวนการอัดรีด	66
4.31	ปฏิกิริยาระหว่างหมู่แอนไฮไดรด์ของยาง MNR กับหมู่อีพอกไซด์ของยาง ENR	67
4.32	กราฟ FTIR ของยาง NR, 3MNR และ 5MNR.....	68
4.33	แผนภูมิแสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัดรีด	69
4.34	แสดงสัณฐานวิทยาพื้นผิวการแตกหักของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) ในระบบของ MNR: (ก) 3MNR (ข) 5MNR (ค) ENR (ง) 3MNR90 ENR10 (จ) 3MNR70 ENR30 (ฉ) 3MNR50 ENR50 (ช) 5MNR90 ENR10 (ฅ) 5MNR70 ENR30 (ฉ) 5MNR50 ENR50	71
4.35	แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัดรีด	72
4.36	แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัดรีด	72

ภาพที่		หน้า
4.37	แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัดรีด	73
4.38	สารละลาย molau test ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ MNR และ ENR.....	74
4.39	แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัดรีด	75
4.40	สัณฐานวิทยาเปรียบเทียบของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20: (ก) SAN/3MNR (ข) SAN/ENR (ค) SAN/3MNR70 ENR30.....	78
4.41	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20.....	79
4.42	เปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ SAN และ SANog: (ก) SAN/3MNR (ข) SANog/3MNR (ค) SAN/3MNR70/ENR30 (ง) SANog/3MNR70ENR30	81
4.43	แผนภูมิแสดงค่าดัชนีการไหลเปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (80/20)	82
4.44	แสดงตาราง One-way ANOVA ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB ของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog.....	83
4.45	แสดงตาราง One-way ANOVA ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB ของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR70 ENR30 ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog.....	83
ก.1	แสดง DSC Thermogram ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไว ปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide.....	94
ก.2	DSC Thermogram ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ phenolic resin	96
ก.3	แสดงกราฟ FTIR ของยาง ENR.....	98
ก.4	แสดงกราฟ FTIR ของยาง NR.....	98

ภาพที่		หน้า
ก.5	แสดงกราฟ FTIR ของยาง 3MNR	99
ก.6	แสดงกราฟ FTIR ของยาง 5MNR	99
ก.7	DSC thermogram ของยาง ENR	100
ก.8	DSC thermogram ของยาง 3MNR	100
ก.9	DSC thermogram ของยาง 5MNR	101
ก.10	แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR, SAN/ENR, SAN/3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20.....	103
ก.11	แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR70 ENR30 ในสัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20	103
ก.12	แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR70 ENR30 ในสัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20.....	104
ก.13	แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR70 ENR30 ในสัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20.....	104
ก.14	แผนภูมิแสดงค่า tensile strength เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20).....	106
ก.15	แผนภูมิแสดงค่า modulus เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20).....	106
ก.16	แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20).....	107
ก.17	แผนภูมิแสดงค่า impact strength เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20).....	107

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในกระบวนการผลิตสไตรีน อะครีโลไนไตรล์โคพอลิเมอร์ (styrene – acrylonitrile copolymer, SAN) ของบริษัท Thai ABS ในช่วงเริ่มกระบวนการผลิตนั้นส่งผลทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ SAN ที่มีคุณภาพไม่เป็นไปตามความต้องการ (SAN off-grade, SANog) ซึ่งปริมาณของ SANog ที่เกิดขึ้นนี้จะมีประมาณ 100 ตันต่อปี ซึ่งปกติทางบริษัทสามารถขาย SANog ได้ในราคา 65% ของราคาขายในเกรดปกติ [1] ซึ่งสมบัติต่างๆ ของ SANog เมื่อเปรียบเทียบกับ SAN เกรดปกติแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1.1 สมบัติของ SAN เกรดปกติและ SAN off-grade [1]

	SAN	SANog
Molecular weight	50,000 – 90,000	70,000 – 90,000
Yellow index	< 5	16.3 - 62.7
ACN content (%)	22.5 - 26.5	24.2 - 25.4
MFI (g/10 min)	2.4 - 3.0	2.3 - 6.1
TGA data		
On set temperature of degradation (°C)	403.94 - 404.05	406.48 - 409.50
Mid-point temperature of degradation (°C)	424.03 - 415.21	423.64 - 424.96
Contaminate (%)	-	>50

หมายเหตุ; % contamination ของ SANog มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์หมายถึง SANog 1 kg นั้นประกอบไปด้วย SAN ปกติน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และ SAN ที่มีสีน้ำตาลอยู่มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์

จากสมบัติของ SAN ทั้งสองเกรดในตารางที่ 1 จะพบว่าสมบัติที่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนคือค่า Yellow index โดย SANog นั้นมีค่า Yellow index สูงกว่า SAN เกรดปกติมาก และยังมีค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน (contaminate) มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลให้ SANog นั้นมีสีเหลืองออกไปทางน้ำตาล ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว SAN นิยมนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้แทนพอลิสไตรีนเมื่อต้องการความใสและความแข็งแรงมากขึ้น เช่นทำเป็นของใช้ในบ้านจำพวก แก้วน้ำ เข็ยอกน้ำ เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ใบบัดพัดลม ไฟแช็ก หรือทำเป็นบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น [2] ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมานั้นต้องการคุณสมบัติด้านความใสของ SAN แต่เนื่องจากสมบัติที่ด้อยกว่าของ SANog โดยเฉพาะเรื่องของความใส เป็นผลทำให้ไม่สามารถที่จะใช้ SANog นี้ไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความใสได้ จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางเพื่อศึกษาการใช้งานที่เป็นไปได้ของ SANog คือ การนำ SANog ไปผสมกับยางเพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติเชิงกลโดยเฉพาะสมบัติด้านความทนทานต่อการรับแรงกระแทก

โดยทั่วไปแล้ว SAN จัดเป็นโคพอลิเมอร์ที่มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานต่อความร้อนและสารเคมีที่ดี แต่มีความต้านทานต่อการรับแรงกระแทกที่ต่ำ อย่างไรก็ตามความสามารถในการรับแรงกระแทกของ SAN นั้นสามารถเพิ่มได้โดยการนำ SAN ไปผสมกับพอลิเมอร์ในกลุ่มของ ยาง (elastomeric material) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจที่จะนำยางธรรมชาติมาผสมกับ SAN

ยางธรรมชาติ (NR) นั้นเป็นพอลิเมอร์ที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งจัดเป็นทรัพยากรหมุนเวียน (renewable resource) นิยมนำมาใช้ผสมเพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับพอลิเมอร์ที่มีความแข็งเปราะอย่างเช่น PET [3] PLA [4] และ polyamide 6 [5, 6] เป็นต้น

อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้ว SAN กับ NR นั้นไม่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ เนื่องจาก SAN นั้นจัดเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วส่วน NR นั้นไม่มีขั้ว ซึ่งความไม่เข้ากันของ SAN และ NR นั้นจะส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ เนื่องจากไม่มีทั้งการยึดเหนี่ยวทางกลและการยึดเหนี่ยวทางเคมีข้ามขวางระหว่างเฟส [7] แต่อย่างไรก็ตามการยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมนั้นสามารถเพิ่มได้โดยการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) หรือ interfacial agent ซึ่งการเติมสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้เพียงเล็กน้อยก็สามารถช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้อย่างมาก [8]

การใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ นั้นนั้นสามารถทำได้ทั้งเตรียมขึ้นมาก่อนแล้วจึงนำไปผสมกับพอลิเมอร์ผสม หรือทำให้เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผสม [9] ซึ่งในวิธีแรกนั้นมีข้อดีก็คือ สามารถควบคุมโครงสร้างของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ได้ ส่วนวิธีที่สองนั้นมักถูกเรียกว่ากระบวนการ reactive blending หรือ reactive compatibilization ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้

จะทำให้เกิดสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเฟสในระหว่างกระบวนการผสม โดยการใช้สารที่มีความว่องไวปฏิกิริยา (reactive agent) ร่วมในขณะทำการผสม

ดังนั้นในการผสม SAN กับ NR จึงจำเป็นต้องมีการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้เพื่อให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ดีขึ้นและเกิดความเสถียร ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยก็พบว่าผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการผสมระหว่าง SAN กับ NR โดยการใช้สารเพิ่มความเข้ากันได้ที่เตรียมได้จากการนำเอา NR มาทำการกราฟต์กับ SAN ซึ่งจะได้เป็น NR-g-SAN จากนั้นก็ทำการหลอมผสม SAN กับ NR-g-SAN ที่อุณหภูมิ 170 °C ซึ่งจากงานวิจัยนี้ก็พบว่าก็มีความเป็นไปได้ที่จะทำการผสม SAN กับ NR และอีกทั้งยังทำให้สมบัติด้านการทนทานต่อการรับแรงกระแทกและเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเพิ่มขึ้นอีกด้วย [10] อย่างไรก็ตามกระบวนการเตรียมสารเพิ่มความเข้ากันได้โดยการกราฟต์ SAN บน NR ก่อนจะนำมาหลอมผสม นั้นเป็นกระบวนการมีขั้นตอนในการทำค่อนข้างมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN กับ NR โดยกระบวนการ reactive blending โดยใช้ สารว่องไวปฏิกิริยา ร่วมในการหลอมผสม SAN กับ NR เพื่อให้เกิดสารเพิ่มความเข้ากันได้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผสมระหว่าง SANog และ NR โดยทำการศึกษาผลของสัดส่วนการผสมเพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมของการผสมของพอลิเมอร์ทั้งสองตัว จากนั้นจึงทำการศึกษาอิทธิพลของชนิดของ สารว่องไวปฏิกิริยา และอิทธิพลของกระบวนการเตรียมและขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมที่มีต่อ สันฐานวิทยา สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วยกระบวนการหลอมผสม จากนั้นทำการเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่เตรียมด้วย SAN และ SANog

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เข้าใจการผสมระหว่าง SANog และ NR

1.2.2 ศึกษาอิทธิพลของชนิดของ สารว่องไวปฏิกิริยา ที่มีต่อสันฐานวิทยา สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อน ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN กับ NR

1.2.3 ศึกษาอิทธิพลของกระบวนการในการเตรียมและขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่มีต่อสันฐานวิทยาและสมบัติเชิงกล

1.2.4 ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาการผสมระหว่าง SANog และ NR โดยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนการผสม SANog/NR เป็น 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80

1.3.2 ในการศึกษาอิทธิพลของชนิดของ สารว่องไวปฏิกิริยา ที่มีต่อสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้น จะใช้ SAN เกรดปกติ ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม เพื่อเป็นการควบคุมตัวแปรในเรื่องของสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ใน SANog ที่อาจส่งผลต่อปฏิกิริยาในระหว่างกระบวนการผสม และทำให้วิเคราะห์ผลของสารว่องไวปฏิกิริยา ได้ยาก ส่วนสารว่องไวปฏิกิริยาที่เลือกใช้ได้แก่ MA, SMA, peroxide, phenolic resin

1.3.3 กระบวนการผสมและขึ้นรูปที่ทำการศึกษานั้นประกอบไปด้วย กระบวนการผสมในเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer) แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป (compression molding) และกระบวนการผสมแบบอัดรีดในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ แล้วขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป

1.3.4 การศึกษาเปรียบเทียบผลของใช้ SAN และ SANog ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้นจะทำโดยการเลือกสูตรผสมที่ผ่านการศึกษาก่อนหน้ามา 1 สูตรเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบงานวิจัยและวางแผนการวิจัย

1.4.3 จัดหาอุปกรณ์ วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.4 ดำเนินงานวิจัย

1.4.4.1 ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SANog และ NR ไม่มีการเติม สารว่องไวปฏิกิริยา ในอัตราส่วน 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80 ด้วยเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 180 °C โดย สารว่องไวปฏิกิริยา ทั้งสามชนิดนั้นจะใช้แบบชนิดเดียว และแบบ สารว่องไวปฏิกิริยา ร่วม จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการ compression molding วิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ทดสอบสมบัติการดึงยืด สมบัติการรับแรงกระแทก

1.4.4.2 ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้ maleic anhydride (MA), styrene maleic anhydride copolymer (SMA), peroxide และ phenolic resin เป็น สารว่องไวปฏิกิริยา ด้วยเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 180 °C โดย สารว่องไวปฏิกิริยา ทั้งสาม

ชนิดนั้นจะใช้แบบชนิดเดี่ยวและแบบ สารว่องไวปฏิกิริยา ร่วม จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ทดสอบสมบัติการดึงยืด สมบัติการรับแรงกระแทก และวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

1.4.4.3 ทำการเลือกสูตรของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในข้อ 1.4.4.1 ที่ให้ผลของสมบัติเชิงกลดีที่สุดไปทำการศึกษาการผสมด้วยกระบวนการอัดรีด แล้วขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปจากนั้นนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ทดสอบสมบัติการดึงยืด สมบัติการรับแรงกระแทก และวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC

1.4.4.4 ทำการศึกษาการผสมของ SAN/NR (75/25) ด้วยกระบวนการอัดรีด แล้วขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโดย NR ที่ใช้จะเป็น NR ที่มีการปรับปรุงให้มีหมู่ฟังก์ชัน 2 ชนิดคือ maleated natural rubber (MNR) และ epoxide natural rubber (ENR) และทำการศึกษาผลของสัดส่วนของยาง MNR และยาง ENR ที่ใช้ในการผสมที่มีต่อสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อน

1.4.4.5 เลือกสูตรการผสมมา 1 สูตรเพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ SAN และ SANog

1.4.5 วิเคราะห์ผลการวิจัยที่ได้

1.4.6 สรุปผลงานวิจัย

1.4.7 รายงานผลงานวิจัย

1.4.8 เสนอผลงานวิจัย

1.4.8.1 สอบโครงการวิจัย

1.4.8.2 บทความวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

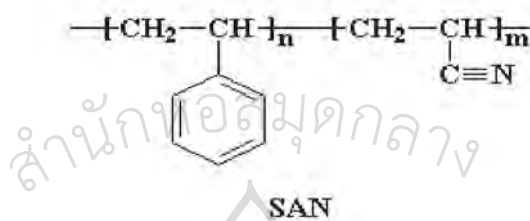
1.5.1 สามารถหาชนิดของ สารว่องไวปฏิกิริยา และสภาวะที่ใช้ในเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SANog กับ NR ที่สามารถทำให้สมบัติในการรับแรงกระแทกของ SAN เพิ่มขึ้น

1.5.2 เข้าใจการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN กับ NR

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 สไตรีน อะคริโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ (styrene-acrylonitrile copolymer, SAN)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของ Poly(styrene-co-acrylonitrile) (SAN)

สไตรีน อะคริโลไนไตรล์ โคพอลิเมอร์ (styrene-acrylonitrile copolymer, SAN) [11] เป็นโคพอลิเมอร์ ซึ่งมีอะคริโลไนไตรล์เป็นองค์ประกอบประมาณ 20-30% และเนื่องจากธรรมชาติความเป็นขั้วในโมเลกุลของอะคริโลไนไตรล์ จึงทำให้โคพอลิเมอร์นี้มีความต้านทานต่อสารเคมีจำพวกไฮโดรคาร์บอนและน้ำมันได้ดี นอกจากนี้โคพอลิเมอร์ยังมีจุดอ่อนตัว (softening point) ความแข็งแรงต่อการกระแทก (impact strength) และความต้านทานต่อการเกิด stress cracking และ crazing ดีกว่าพอลิสไตรีน เม็ดพลาสติกของ SAN มีลักษณะเป็นเม็ดพลาสติกที่มีความใส มีความแข็งแรง และเหนียว นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติการทนความร้อน ทนต่อสารเคมีได้ดี ยิ่งถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของ อะคริโลไนไตรล์ เพิ่มขึ้นก็จะยิ่งทนความร้อนได้สูงขึ้น รวมทั้งต้านสารเคมีได้ดีขึ้น แต่มักจะมีสีออกเหลืองๆและการขึ้นรูปก็จะยากขึ้นไปด้วย สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ใช้แทนพอลิสไตรีนเมื่อต้องการความแข็งแรงมากขึ้น เช่นทำเป็นของใช้ในบ้านจำพวก แก้วน้ำ เข็ยน้ำ เครื่องปั่นน้ำผลไม้ ชิ้นงานประเภทสุขภัณฑ์ ไขว่พัดพัดลม ไฟแช็ก หรือทำเป็นบรรจุภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โดยตรงแล้ว SAN ก็ยังนิยมนำไปผสมกับสารจำพวก impact modifier เพื่อทำการปรับปรุงสมบัติในการรับแรงกระแทก ซึ่งพอลิเมอร์ผสมของ SAN ที่รู้จักกันดีและนิยมนำไปใช้มากที่สุดได้แก่ acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) วิธีการเตรียม ABS ในอุตสาหกรรมที่นิยมจะมีอยู่ 2 วิธีคือ วิธีการ blending โดยการนำเอา SAN กับ acrylonitrile-butadiene rubber มาผสมกัน อีกวิธีหนึ่งคือการกราฟต์ (grafting) ซึ่งจะดีกว่าวิธีแรก ซึ่งจะทำโดยการนำเอา acrylonitrile และ styrene มาทำการ polymerization ใน butadiene latex ซึ่ง

การใช้งาน ABS ก็จะเป็นการนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนพลาสติก แผงเครื่องปรับอากาศ ส่วนประกอบตู้เย็น เป็นต้น

2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [12]

2.2.1 รูปแบบของยางธรรมชาติดิบ ยางธรรมชาติหรือยางพาราได้จากน้ำยางจากต้นยางพาราสายพันธุ์ Hevea Brasiliensis น้ำยางพาราที่กรีดยุติจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น และมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ประมาณ 30% (โดยน้ำหนัก) แฉวนลอยอยู่ในน้ำ ปริมาณของเนื้อยางแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล โดยทั่วไปยางธรรมชาติดิบสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่

2.2.1.1 น้ำยาง เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีดยุติจากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดจนได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนัก เรียกน้ำยางที่ได้นี้ว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) แต่เนื่องจากในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน และ ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อยซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถย่อยสลายได้ด้วย เชื้อจุลินทรีย์หรือเชื้อแบคทีเรียได้เป็นก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน หรือ สารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้น น้ำยางจึงสามารถบูดเน่าและส่กกลิ่นเหม็นได้ จึงต้องมีการเติมสารแอมโมเนียเข้าไปหรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อช่วยรักษา สภาพของน้ำยางข้นให้เก็บรักษาไว้ได้นาน

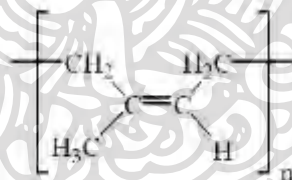
2.2.1.2 ยางแห้ง ยางได้จากการนำยางสดที่กรีดยุติมาเติมกรด (นิยมใช้ กรดอะซิติก หรือกรดฟอร์มิค) เพื่อให้อนุภาคของน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็ทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ยางแห้งมีทั้งแบบอัดรีดและ ตากแห้ง

2.2.1.3 ยางแผ่น (Rubber Sheet) ยางแผ่นได้จากการนำน้ำยางสดมาไล่ ตะก จากนั้นก็ทำการเจือจางด้วยน้ำ และเติมกรด ยางจะเกิดการจับตัวกัน จากนั้นจึงนำยางที่ได้ไป ทำการรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด 2 ลูกกลิ้ง นำไปล้างน้ำ แล้วจึงทำให้ยางแห้ง โดยสามารถทำได้ สองวิธี คือนำไปตากแดดหรือผึ่งในอากาศร้อนเพื่อไล่ความชื้นยางที่ได้จะเรียกว่ายางแผ่นอบแห้ง หรือ Air Dried Sheet (ADS) อีกวิธีหนึ่งคือการนำยางแผ่นไปอบรมควันที่อุณหภูมิ 60-70 °C เป็น เวลาประมาณ 2-3 วัน ยางที่ได้จะเรียกว่ายางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS)

2.2.1.4 ยางเครฟ (Crepe Rubber) ยางเครฟส่วนใหญ่เป็นยางที่ได้จากการนำเศษยาง ไปรีดในเครื่องเครฟ (creping machine) พร้อมทั้งใช้น้ำทำความสะอาดเอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออกไปจากยางระหว่างการรีด จากนั้นจึงนำไปฝั่งลมให้แห้ง

2.2.1.5 ยางแท่ง (Technically Classified Rubber) ได้มาจากการนำยางแผ่นตากแห้งมาดเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วอัดเป็นแท่ง ดังนั้นยางแท่ง จึงเป็นยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นและยางเครฟ ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ การจัดชั้นของยางแท่งจะพิจารณาจากสิ่งสกปรกเป็นสำคัญ

2.2.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) กล่าวคือในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ประมาณ -72°C นั้นหมายความว่าหากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72°C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว



ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

จากภาพที่ 2.2 จะเห็นว่าในหนึ่งหน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้น พันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน อย่างไรก็ตาม พันธะคู่นี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจน หรือโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ หรืออาจทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนคลอไรด์หรือไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยาง (ที่ตำแหน่งพันธะคู่) กับสารเคมีต่างๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ที่อุณหภูมิต่ำ โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (crystalline) ได้

การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรือที่เรียกว่า “low temperature crystallization” จะพบในกรณีที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็วในการตกผลึกสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -26 °C การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำยางไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเติมอื่นๆ ได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลายยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ ประเทศในเมืองหนาวจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 50-70 °C เพื่อให้ยางอ่อนตัวก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ยางธรรมชาติยังสามารถเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “strain-induced crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องมาจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขีดข่วน สูงกว่ายางสังเคราะห์

2.2.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ความยืดหยุ่น (elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติกล่าวคือยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์แล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว ความเหนียวติดกัน (tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

ความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกดึงยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย (~ 20 MPa หรือสูงกว่านั้น) การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ซึ่งส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

สมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

สมบัติความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) ของธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังคงต่ำกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (insulation) ของธรรมชาติมีค่าความเป็นฉนวนสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (specific resistivity) สูงถึง 10^{15} หรือ 10^{16} ohm.cm

ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงเมื่อเกิดการวัลคาไนซ์เนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติในยางวัลคาไนซ์ในยางจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางวัลคาไนซ์จึงเพียงแต่เกิดการบวมในตัวทำละลายเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังทนกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนกรดในกรดและกรดกำมะถันเข้มข้น

การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด เนื่องจากยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน (เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อถูกยึดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยึดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (anti-degradant) และไข (wax)) เพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature flexibility) ของธรรมชาติยังคงรักษาสสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมาก

Compression set ของธรรมชาติมีค่า compression set ก่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่า compression set ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติ compression set ด้อยลง

การกระเด้ง (rebound resilience) ของธรรมชาติมีสมบัติการกระเด้งสูง (สูงกว่ายางชนิดอื่นๆ ทั้งหมด ยกเว้นยาง BR) และในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานใน

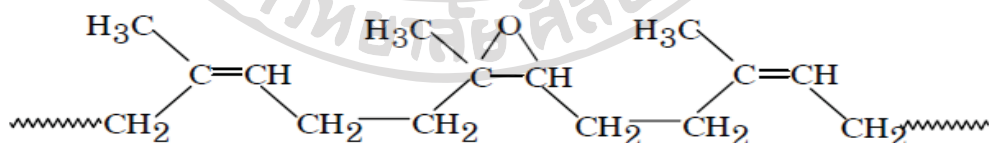
รูปของความร้อนน้อย (มี hysteresis ต่ำ) ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัตยางชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางรถบรรทุกหรือยางล้อเครื่องบิน เพราะหากใช้ยางที่มีความร้อนสะสมสูงก็อาจทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ง่าย

อุณหภูมิของการใช้งาน (service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55°C จนถึง 70°C อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะต้องลดลงเนื่องจากความร้อนทำให้ยางเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลง) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90°C หรืออาจสูงถึง 100°C (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วงๆ เท่านั้น)

2.3 ยางธรรมชาติดัดแปลง (Modified natural rubber)

2.3.1 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (epoxidized natural rubber, ENR)

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (ENR) เป็นยางธรรมชาติที่เปลี่ยนโครงสร้างโดยใช้สารประเภทกรดเปอร์ออกซี (peroxy acid) ซึ่งได้จากการใช้กรดร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ยกตัวอย่างเช่น การใช้ formic acid ร่วมกับ H_2O_2 จะได้เป็น performic acid โดยยาง ENR ที่ได้จะมีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุลทำให้ยางธรรมชาติมีความเป็นขี้ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังในภาพที่ 2.3



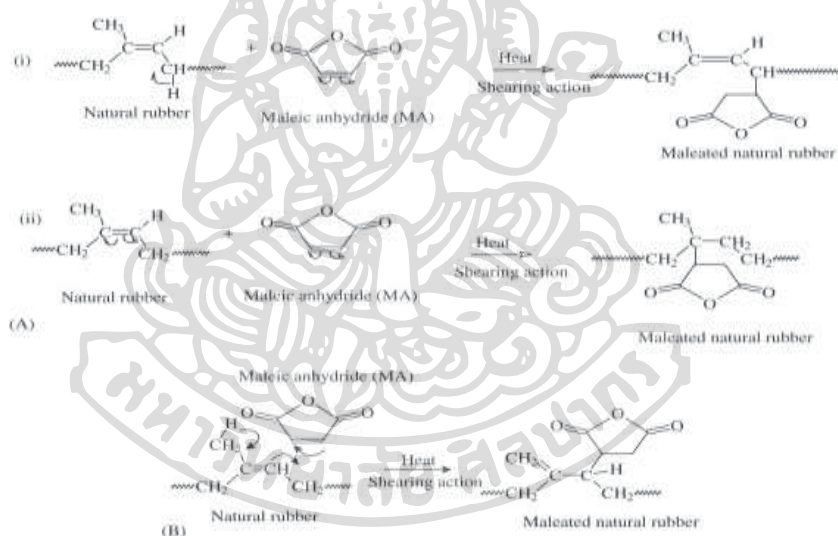
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของยาง ENR

ยาง ENR เป็นยางที่ได้จากการเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของยาง ตรงบริเวณพันธะคู่เกิดเป็นวงแหวนอีพอกไซด์โดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation) โดยมีร้อยละโดยโมลอีพอกไซด์ตั้งแต่ร้อยละ 10-50 ยาง ENR ที่ได้จึงมีความเป็นขี้สูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไป ยาง ENR นั้นจะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้มกว่ายางธรรมชาติปกติ ซึ่งสามารถเตรียมได้จากน้ำยางและยางแห้ง โดยมีการผลิตขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติให้ดีขึ้น เช่น ทำให้ยางมีความเป็นขี้มากขึ้น สามารถทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ได้ดีขึ้น สามารถทนต่อ

ไอโซน และการซึมผ่านของอากาศได้ดี เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณน้อยลง อย่างไรก็ตามก็จะมีสมบัติบางประการที่ด้อยกว่ายางธรรมชาติ เช่น มีความยืดหยุ่นต่ำลง และหากนำไปวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันยางจะไม่ทนต่อความร้อน ยาง ENR มักใช้ในอุตสาหกรรมกาว หรือ สารยึดติด รองเท้า สี และยางรถยนต์ เป็นต้น

2.3.2 ยางธรรมชาติมาเลียด (maleated natural rubber, MNR) [13]

กราฟต์โคพอลิเมอร์ของ MA กับ NR นั้นได้รับการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ซึ่งผลิตภัณฑ์ของโคพอลิเมอร์ที่ได้นั้นนิยมนำไปเป็นองค์ประกอบหลักในการเตรียม reactive blend หรือใช้เป็น blend compatibilizer การทำให้เกิดการกราฟต์ของ MA ลงบนโมเลกุลของ NR นั้นสามารถทำได้ทั้งในสถานะหลอมเหลวและสารละลาย ซึ่งการเริ่มต้นปฏิกิริยาการกราฟต์นั้น สามารถใช้ peroxide เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา (initiator) [14] หรือแรง shear สถานะหลอมเหลวของยางในเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิสูง [5, 13] ซึ่งกลไกของปฏิกิริยาการกราฟต์ของ MA บน NR ที่น่าจะเกิดขึ้นภายใต้แรง shear และอุณหภูมิสูงนั้นแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กลไกการกราฟต์ของ MA บนโมเลกุลของ NR ที่น่าจะเป็นไปได้ [15] โดยที่กลไก (A)

Free radical mechanism (B) Diels-Alder reaction [15]

2.4 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) [16]

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (solution) หรือสารหลอมเหลว (molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิด

กันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่ละลายเข้ากันอย่างแท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องมีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (defects) ของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ต่ำกว่าพอลิเมอร์บริสุทธิ์ที่นำมาใช้ผสม ดังนั้นในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม จึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (compatibility)

2.4.1 ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ (Miscibility of polymers) [17] ในการพิจารณาการเข้ากันได้ของการผสมนั้นจะพิจารณาจากสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamic) สำหรับพอลิเมอร์ที่สามารถผสมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียวกันนั้นจะต้องมีค่า Gibbs free energy ของการผสม (ΔG_{mic}) เป็นลบ ซึ่งค่า ΔG_{mic} นั้นหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\Delta G_{mic} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix}$$

อย่างไรก็ตามในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูงนั้นจะมีค่าเอนโทรปี (entropy, ΔS_{mix}) น้อยมาก ดังนั้นถ้าค่า ΔG_{mic} จะมีค่าเป็นลบได้ สามารถเกิดขึ้นได้กรณีเดียวคือจะต้องมีค่าเอนทัลปี (enthalpy, ΔH_{mix}) ของการผสมเป็นลบ นั่นแสดงว่ากระบวนการผสมจะต้องเป็นกระบวนการคายความร้อน (exothermic) ซึ่งการผสมจะต้องเกิด interaction ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน โดย interaction นั้นอาจจะเป็นได้ทั้ง strongly ionic interaction และ nonbonding interaction อย่างเช่น hydrogen bonding, ion – dipole, dipole – dipole และ donor acceptor interaction ซึ่งจะยกเว้น Van der Waals interaction

2.4.2 ชนิดของพอลิเมอร์ผสม (Types of polymer blends) [17] พอลิเมอร์ผสมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ

2.4.1.1 ผสมกันได้อย่างสมบูรณ์ (completely miscible blend) พอลิเมอร์ ที่ผสมกันได้อย่างสมบูรณ์นั้นจะมีค่า $\Delta H_{mix} < 0$ เนื่องจากเกิด interaction ที่จำเพาะขึ้น

ซึ่งสำนักงานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมนี้มีความเป็นเนื้อเดียวกันในระดับนาโนเมตร แต่ไม่ถึงในระดับโมเลกุล ซึ่งตัวอย่างของพอลิเมอร์ผสมที่ผสมกันได้อย่างสมบูรณ์ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างและทุกสัดส่วนการผสม ได้แก่ PS/PPO ซึ่งทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีสมบัติร่วมกัน ทั้งความต้านทานต่อความร้อน ไม่เกิดการลุดคิดไฟ ซึ่งเป็นคุณสมบัติของ PPO และสามารถ process ได้ง่ายแบบ PS พอลิเมอร์ที่ผสมกันได้อย่างสมบูรณ์นั้นจะมี glass transition temperature (T_g) เพียงค่าเดียว ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่าง T_g ของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ผสมแต่ละตัว

2.4.1.2 ผสมกันได้บางส่วน (partially miscible blends) โดยพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันนั้นจะมีส่วนหนึ่งที่สามารถละลายกับพอลิเมอร์อีกตัวหนึ่งได้ ซึ่งจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสถานะวิทยาที่ความละเอียดและมีสมบัติที่ยอมรับได้ ซึ่งมักจะเรียกพอลิเมอร์ผสมชนิดนี้ว่า “*compatible polymer blend*” ซึ่งพอลิเมอร์ผสมที่ได้ จะมีค่า T_g ของพอลิเมอร์แต่ละตัวปรากฏอยู่ แต่ T_g นั้นจะเกิดการ shift จากค่า T_g ของ pure polymer แต่ละตัวเข้ามาหากัน โดยตัวอย่างของพอลิเมอร์ผสมแบบนี้ได้แก่ PC/ABS

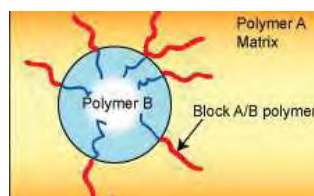
2.4.1.3 ผสมกันไม่ได้ (fully immiscible) พอลิเมอร์ผสมชนิดนี้จะมีสถานะวิทยาที่หยาบ มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสที่ไม่ดี ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นแย่มาก และไม่สามารถใช้งานได้ แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถเพิ่มความเข้ากันได้ (compatible) ให้กับพอลิเมอร์ผสมชนิดนี้ได้ด้วยการใช้ สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer)

2.5 สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) [16]

สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) คือ พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ ที่นิยมใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถเข้ากันได้เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติของพอลิเมอร์ผสม หรือใช้เพื่อให้เกิดการกระจายตัวของสารตัวเติม (fillers) ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักคือ

2.5.1 บล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ (Block or Graft Copolymers)

การใช้บล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ ในการทำให้เกิดการเข้ากันได้ นั้น จะมีกระบวนการคือ โคพอลิเมอร์นี้จะเข้าไปบริเวณพื้นผิวของพอลิเมอร์เพื่อลดแรงตึงผิว ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าโคพอลิเมอร์สีแดงจะเป็นส่วนที่เข้ากับพอลิเมอร์ A (เฟสต่อเนื่อง) ส่วนโคพอลิเมอร์สีฟ้าจะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ B (เฟสที่กระจายตัว) เป็นผลให้แรงตึงผิวของพอลิเมอร์ลดลง ทำให้เกิดการยึดติดที่พื้นผิวและเกิดการกระจายตัวของพอลิเมอร์ B ได้ดีขึ้น

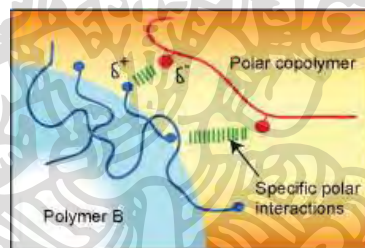


ภาพที่ 2.5 แผนภาพแสดงการใช้บล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) [16]

การเติมบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการผสม เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ บล็อกโคพอลิเมอร์จะได้รับความนิยมมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์ โดยเฉพาะบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกของพอลิเมอร์ที่เหมือนกันกับพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน โดยโคพอลิเมอร์ที่ใช้ต้องมีโครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่จะไปอยู่ระหว่างเฟสของ พอลิเมอร์แต่ละชนิด โครงสร้างทางเคมีและน้ำหนักโมเลกุลของโคพอลิเมอร์จะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของการเป็นสารช่วยผสม จากการตรวจสอบประสิทธิภาพของสารช่วยผสม โดยการทดสอบสมบัติความทนแรงดึงสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- บล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่ากราฟต์โคพอลิเมอร์
- ไคบล็อกโคพอลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าไตรบล็อกโคพอลิเมอร์
- ไคบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวลดหลั่นลงมามีประสิทธิภาพสูงกว่าไคบล็อกโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยบล็อกที่มีความยาวเท่ากัน

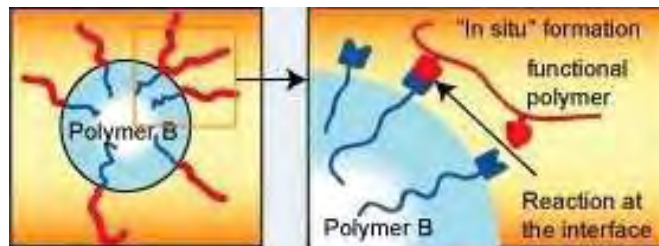
2.5.2 พอลิเมอร์ที่มีความเป็นขั้วแต่ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Nonreactive polymers containing polar groups)



ภาพที่ 2.6 แผนภาพแสดงการใช้พอลิเมอร์ที่มีความเป็นขั้วอยู่บนสายโซ่โมเลกุลเป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) [16]

ซึ่งหลักการทำงานของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) ชนิดนี้จะเกิดขึ้นโดยโคพอลิเมอร์ที่มีความเป็นขั้วอยู่บนโมเลกุลจะเกิดอันตรกิริยากับพอลิเมอร์ ซึ่งอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างเช่น hydrogen bonding และถ้าอันตรกิริยานี้เกิดขึ้นมากจะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างพอลิเมอร์กับโคพอลิเมอร์นี้มีความแข็งแรงมาก และส่งผลให้เกิดความเข้ากันได้ดีและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้วสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) นั้นจะต้องเข้ากันได้กับหนึ่งเฟส (ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นเฟสที่ไม่มีขั้ว) และจะต้องทำให้เกิดอันตรกิริยากับเฟสอื่นที่อยู่ในระบบ

2.5.3 พอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Functional/ Reactive Polymers)



ภาพที่ 2.7 แผนภาพแสดงการใช้พอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหรือส่วนที่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาเป็นสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) [16]

หลักการทำงานของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) ชนิดนี้ก็จะเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ที่ต่างกัน โดยตัวของสารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) จะเป็นโคพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันซึ่งจะสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ที่เป็นเฟสต่อเนื่องส่วนหมู่ฟังก์ชันของโคพอลิเมอร์นั้นจะสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของเฟสที่กระจายตัวได้ ซึ่งสารในกลุ่มนี้จะประกอบด้วยส่วนของโมเลกุลที่มีความเป็นขั้วแต่ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาและหมู่ที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งหมู่ที่มีความว่องไวที่นิยมใช้กันนั้นได้แก่ Maleic anhydride (MAH) และ glycidyl methacrylate (GMA) เป็นต้น

การเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยผสม บ่อยครั้งเป็นการนำพอลิเมอร์ชนิดใดชนิดหนึ่งที่จะทำการผสมมาดัดแปรให้มีหมู่ฟังก์ชัน หรือส่วนที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวต้องสามารถเกิดปฏิกิริยา หรือมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เช่น พันธะไอออนิก กับพอลิเมอร์ชนิดที่สองได้กระบวนการดัดแปรพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันสามารถทำได้ในเครื่องปฏิกรณ์หรือโดยผ่านกระบวนการอัดรีด ตัวอย่างเช่น Maleic anhydride ที่กราฟต์บนสายโซ่ของพอลิโอฟีนีส โดยหมู่คาร์บอกซิลิกของ Maleic anhydride มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีกับหมู่อะมิโนของพอลิเอไมด์ได้ ทั้งนี้พอลิโอฟีนีสกราฟต์ Maleic anhydride จัดเป็นสารช่วยผสม ที่ได้รับความนิยมในทางการค้าและมีราคาไม่แพงนัก

2.5.4 การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม (In-situ Grafting Polymerization) [16] การทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ไรเซชันในระหว่างการผสม หรือ reactive blending เป็นวิธีใหม่ที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ให้เข้ากันได้ โดยต่างจากวิธีอื่นๆ คือองค์ประกอบที่ทำการผสมจะถูกนำมาดัดแปรเพื่อให้สามารถ

เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ โดยไม่จำเป็นต้องเติมสารช่วยผสม ตัวอย่างเช่น การผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตกับพอลิเอสเทอร์ แม้ว่าในบางครั้งการผสมแบบไม่ต่อเนื่องสามารถนำมาใช้กับการผสมแบบ reactive blending ได้ แต่การใช้กระบวนการผสมแบบต่อเนื่องเช่น การอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (single-screw extruder) และการอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin-screw extruder) ก็ได้รับความนิยมเช่นกัน เพราะกระบวนการดังกล่าวสามารถควบคุมอุณหภูมิ และสิ่งที่ไม่ต้องการจากดำเนินไปของปฏิกิริยาได้ดีกว่า กลไกในการเกิดปฏิกิริยาในการผสม อาจมีได้ดังนี้

2.5.4.1 เกิดกราฟต์หรือบล็อกโคพอลิเมอร์ จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างหมู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมีในพอลิเมอร์ ซึ่งอาจกระตุ้นได้โดยการเติมตัวริเริ่ม (initiator) ในระหว่างการผสม

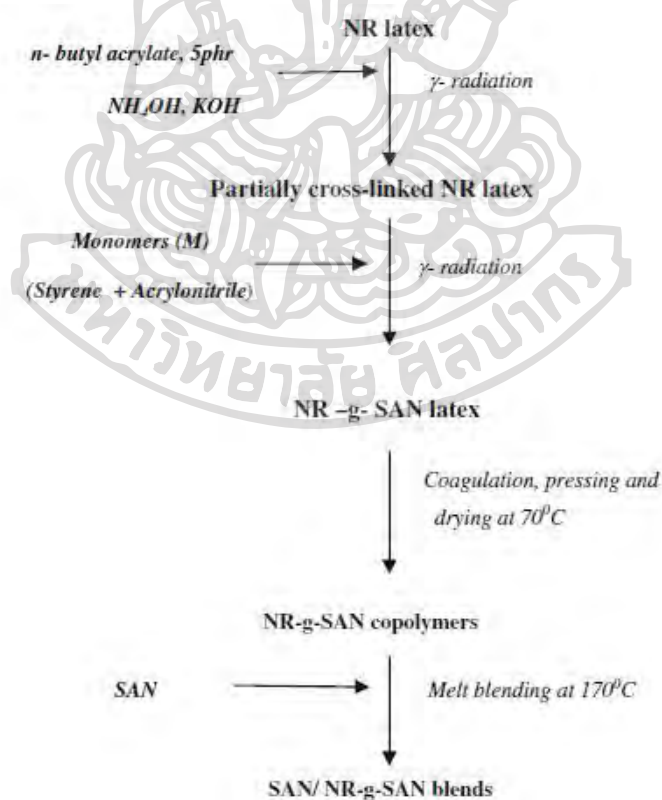
2.5.4.2 เกิดบล็อกโคพอลิเมอร์จากปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยน (interchange reaction) ที่สายโซ่โมเลกุลหลักของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับพอลิเมอร์ชนิดควบแน่น

2.5.4.3 เกิดการขาดและรวมกันใหม่ของแต่ละโมเลกุล เพื่อสร้างบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดภายใต้ภาวะที่แรงเฉือนสูงส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาโดยการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

2.6 รายงานผลงานวิจัยที่ผู้อื่นได้ทำมาแล้ว

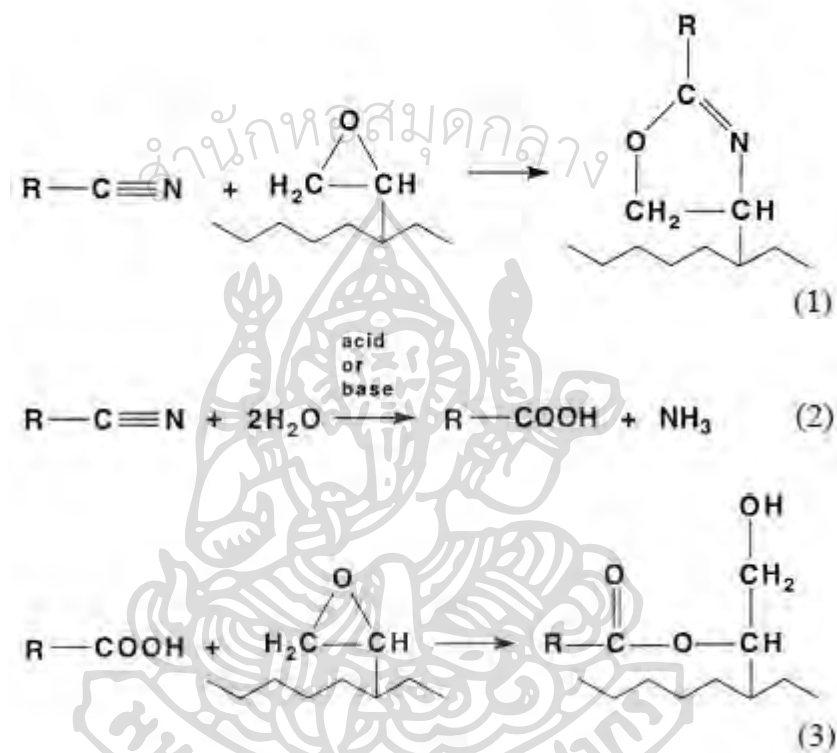
M. Schneider, T. Pith and M. Lambla [18] ได้ทำการศึกษาการผสมระหว่าง poly(styrene-co-acrylonitrile)(SAN) กับอนุภาคของยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ซึ่งทำหน้าที่เป็น reinforcement โดยอนุภาคยางที่ใช้จะถูกเคลือบด้วย poly(methyl methacrylate) (PMMA) ซึ่งจากนั้นก็ทำการผสม SAN กับ อนุภาคยางที่เคลือบ PMMA ซึ่งอยู่ในรูปของ latex ลงไปในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่โดยพร้อมกัน ซึ่งจากการผสมพบว่าอนุภาคของยางสามารถกระจายตัวได้ดีใน SAN และจากการทดลองยังพบพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ SAN และ SAN ที่ผสมกับยางที่ไม่ได้เคลือบด้วย PMMA

George, S. Maiti และ I. Varma [10] ได้ทำการเตรียม SAN ผสมกับ NR แต่ NR ที่ใช้นั้นจะถูกนำไปเปลี่ยนเป็น NR-g-SAN โดยวิธีการเตรียมดังภาพที่ 2.8 จากการทดลองผู้วิจัยพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้นั้นมีค่า impact strength ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับ SAN และจากการศึกษาผลของปริมาณ rubber content นั้นพบว่าเมื่อปริมาณ rubber content เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า elongation at break เพิ่มขึ้น แต่ค่า flexural strength, Tensile strength ลดลง



ภาพที่ 2.8 แผนภาพแสดงการเตรียม SAN/NR-g-SAN blends [10]

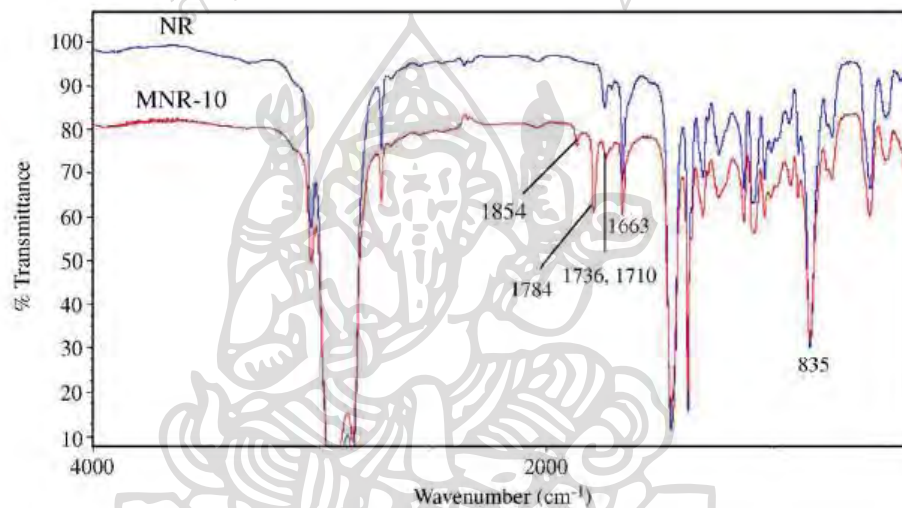
W. Hale, H. Keskkula และ D. R. Paul [19] ได้ทำการศึกษาการผสม poly(butylene terephthalate), (PBT) กับ acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer (ABS) พบว่าความต้านทานของพอลิเมอร์ผสมนี้เพิ่มขึ้นเมื่อเติม methyl methacrylate, glycidyl methacrylate, ethyl acrylate terpolymers (MGE) ซึ่งทำหน้าที่เป็น reactive compatibilizer ทั้งนี้เนื่องจาก MGE นั้นสามารถเข้าได้ดีกับทั้ง PBT และ ABS โดยหมู่เอพอกไซด์ของ MGE สามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ carboxyl ที่ปลายสายโซ่ของ PBT และหมู่ nitrile ของ ABS ได้เมื่อมีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แสดงปฏิกิริยาของ nitrile group กับ epoxide group [19]

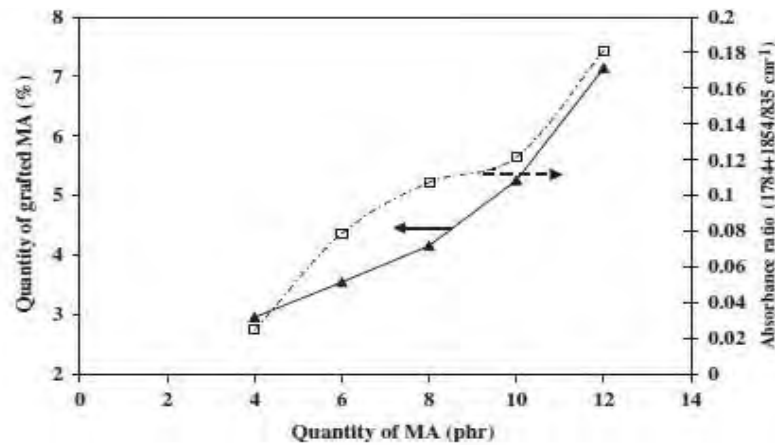
N. Kitayama, H. Keskkula และ D.R. Paul [20] ได้ทำการศึกษาการผสม Nylon 6 กับ SAN โดยใช้ imidized acrylic polymer (IA, EXL4140 Rohm & Haas) ซึ่งประกอบด้วย 55% methyl gluarimide 56% methy methacrylate 21% methacrylic acid และ 1.08% glutaric anhydride และ styrene/acrylonitrile/maleic terpolymer (SANMA) ซึ่งมี MA อยู่ 1.3% เป็น compatibilizer โดยจากผลการทดลองพบว่า การกลับเฟสในกรณีที่ใช้ IA จะเลื่อนไปทาง Nylon 6 สูงขึ้นเนื่องจากเกิดการกราฟต์ขึ้นระหว่างกระบวนการผสมทำให้ Nylon 6 มีความหนืดสูงขึ้น ส่วน SANMA นั้นมีผลต่อการกลับเฟสน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ IA เพียง 3% นั้นมีผลต่อการลดขนาดของอนุภาคในพอลิเมอร์ผสม และความเสถียรของสัณฐานวิทยา

C. Nakason, S. Saiwaree, S. Tatun และ A. Kaesaman [15] ได้ทำการศึกษาสมบัติทาง rheological สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยาของ maleated natural rubber (MNR) และพอลิเมอร์ของ PMMA กับ MNR ซึ่งในการวิจัยผู้วิจัยได้ทำการเตรียมยาง MNR ในสภาวะหลอม โดยไม่ใช้สารเคมีอื่นในการริเริ่มปฏิกิริยา แต่จะใช้เพียงแรง shear ในระหว่างกระบวนการผสมเพื่อทำให้เกิด active site สำหรับปฏิกิริยาการกราฟต์ โดย MNR นั้นจะเตรียมในเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 135 °C ความเร็วในการหมุนของ rotor เท่ากับ 60 rpm เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งปริมาณของ MA ที่ใช้เตรียม MNR นั้นจะถูกปรับเปลี่ยนเป็น 4, 6, 8, 10 และ 12 phr ซึ่งผลที่ได้พบว่ากระบวนการเตรียมดังกล่าวนี้สามารถทำให้เกิดการกราฟต์ของ MA บนโมเลกุลของ NR ได้จริง ซึ่งเห็นได้จากผลของ FTIR ในภาพที่ 2.10



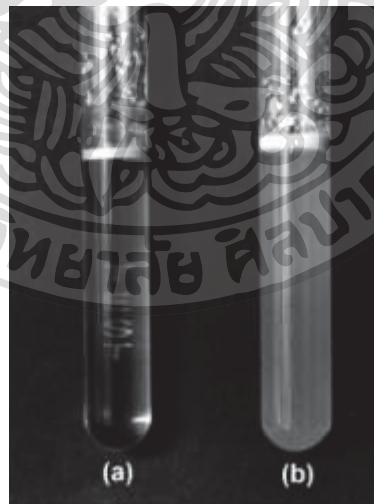
ภาพที่ 2.10 Infrared spectra ของ NR และ MNR ที่ใช้ MA10 phr (MNR-10) [15]

ซึ่งจากภาพที่ 2.10 นั้นจะเห็นว่า MNR-10 นั้นมี peak ที่สำคัญเกิดขึ้นเมื่อเทียบกับ NR ซึ่งคือ peak ที่ชัดเจนที่ 1784 cm^{-1} และ peak ที่ 1854 cm^{-1} ซึ่ง peak ที่เกิดขึ้นนี้แสดงถึงการสั่นแบบยืดของ C=O ของ succinic anhydride ring ที่กราฟต์อยู่บน NR นอกจากนี้ยังเกิด peak ที่ 1710 cm^{-1} ขึ้นซึ่งบ่งบอกถึง carbonyl groups ที่เกิดเนื่องจากปฏิกิริยาของหมู่ anhydride กับความชื้น นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาปริมาณการกราฟต์ของ MA บน NR นั้นก็พบว่าปริมาณการกราฟต์จะเพิ่มเมื่อปริมาณของ MA เพิ่มมากขึ้นดังภาพที่ 2.11 ซึ่งจากผลการทดลองนั้นก็พบว่าปริมาณการกราฟต์นั้นเพิ่มขึ้น เมื่อ MA มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น [15]



ภาพที่ 2.11 ผลของปริมาณ MA ที่มีผลต่อปริมาณการกราฟต์ติดของ MA และ absorbance ratio [15]

E. Carone Jr, U. Kopcak, M.C. Goncalves และ S.P. Nunes [5] ได้ทำการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง polyamide 6 กับยาง NR โดยใช้ MA เป็น สารว่องไวปฏิกิริยา โดยจะใช้กระบวนการทำให้เกิดปฏิกิริยา compatibilization ในระหว่างกระบวนการผสม ซึ่งผลการทดลองได้พบว่า การใช้ MA ในกระบวนการผสมนั้นจะทำให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่าง polyamide 6 และ NR ซึ่งยืนยันได้จากผลของการทำ molau test ดังในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 สารละลาย molau test ในกรด formic acid ของพอลิเมอร์ผสม 75/25: a) Polyamide 6/NR และ b) Polyamide 6/(NR 3 wt% MA) [5]

โดยที่จะเห็นได้ว่าการใช้ MA เป็น สารว่องไวปฏิกิริยา นั้นจะช่วยทำให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้น ซึ่งกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นนั้นจะทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ช่วย

ทำให้อนุภาคของยาง เกิดการแขวนลอยจึงทำให้เกิดเป็นสารละลาย molau test ที่มีสีขาวขุ่น และเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่เติม MA นั้นจะพบว่าสารละลาย molau test จะเป็นสารละลายใส เนื่องจากไม่มีกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ จึงไม่เกิดการแขวนลอย นอกจากนี้พอลิเมอร์ผสมของ polyamide 6 /NR ที่มีการใช้ MA ด้วยนั้นจะมีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กกว่าการใช้ polyamide 6 ผสมกับ NR เพียงอย่างเดียว



บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีในการทำวิจัย

3.1.1 Poly(styrene-co-acrylonitrile) (SAN) เกรดชนิดขึ้นรูป 120PC บริษัท Integrate Refinery Petrochemical Complex (IRPC)

3.1.2 Styrene-acrylonitrile copolymer off grade (SANog) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปิดเครื่องเพื่อผลิต SAN ของบริษัท Integrate Refinery Petrochemical Complex (IRPC)

3.1.3 ยางแผ่นตากแห้ง (Air dry sheet natural rubber) (NR)

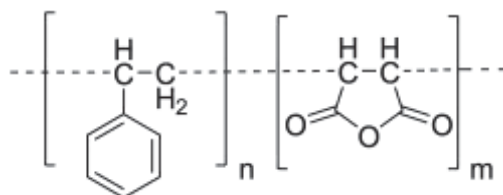
3.1.4 ยางธรรมชาติปรับปรุงด้วยหมู่เอพอกไซด์ (epoxide natural rubber) (ENR) ซึ่งมีปริมาณของ epoxide 13 เปอร์เซ็นต์โดยโมล

3.1.5 Maleic anhydride (MA) ความบริสุทธิ์ 99.9% บริษัท Scharlab ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลดังภาพที่ 3.1



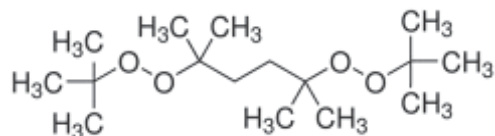
ภาพที่ 3.1 โครงสร้างโมเลกุลของ MA

3.1.6 Styrene-maleic anhydride copolymer (SMA) เกรด 1000P บริษัท Chemical innovation ประเทศไทย ซึ่งมีโครงสร้าง ($n = 1, m = 1$) และน้ำหนักโมเลกุล ($M_w = 5500$)



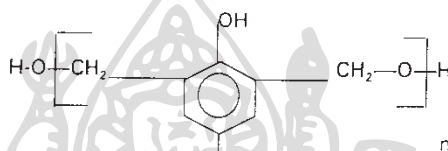
ภาพที่ 3.2 โครงสร้างโมเลกุลของ SMA

3.1.7 Peroxide, 2,5-Bis(*tert*-butylperoxy)-2,5-dimethylhexane, ผสมกับ calcium carbonate and silica มีความเข้มข้นของ peroxide 45 %wt. ชื่อทางการค้า Luperox เกรด 101 XL45



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างโมเลกุลของ peroxide (Luperox 101 XL45) จากบริษัท Schenectedy Chemicals

3.1.8 Phenolic resin (HRJ-1367)



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างของ Phenolic resin HRJ-1367 (R = *t*-butyl, n = 1-10)

3.1.9 Stannous chloride (SnCl_2) ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของ Phenolic resin

3.1.10 สารเคมีสำหรับขาง

3.1.10.1 Stearic acid

3.1.10.2 Zinc oxide (ZnO)

3.1.10.3 Ethylene wax

3.1.11 Toluene

3.1.12 n-hexane

3.1.13 Dimethylformamide (DMF) เกรด analytical จากบริษัท Ajex Finechem Pty

Ltd

3.2 เครื่องมือที่สำคัญในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) (BRABENDER, Germany)

3.2.2 เครื่องบดพลาสติก (Plastic Grinder) (Bosco, Thailand)

3.2.3 เครื่องขึ้นรูปแบบอัด (Compression molding) (Labtech, Thailand)

3.2.4 เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (co-rotating twin screw extruder) (HRJ-25, China)

3.2.5 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding) (Batterfied model, Germany)

3.2.6 เครื่องผสมแบบเปิด (Two roll mill)

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์

3.3.1 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยลำแสงอิเล็กตรอนแบบส่องกราด scanning electron microscopy (SEM) รุ่น CAMSCAN mx200 ประเทศอังกฤษ

3.3.2 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุ universal tensile machine (UTM) รุ่น 5969 บริษัท Instron

3.3.3 เครื่องมือทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการรับแรงกระแทก (impact tester) รุ่น Zwick, B5102.202

3.3.4 เครื่องทดสอบดัชนีการไหล (melt flow index equipment)

3.3.5 เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพโดยใช้ความแตกต่างของความร้อน (differential scanning calorimeter (DSC) รุ่น DSC1 บริษัท Mettler Toledo

3.3.6 เครื่องวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อน thermogravimetric analyzer (TGA) รุ่น TGA/DSC1 บริษัท Mettler Toledo

3.3.7 เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด fourier transform infrared spectrometer (FTIR) รุ่น Vertex 70 บริษัท Bruker

3.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของ SAN และ SANog

3.4.1.1 นำ SAN และ SANog ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.1.2 นำ SAN และ SANog ที่ผ่านการอบแล้วไปทำการฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป เป็นชิ้นงานรูปทรง dumbbell สำหรับทดสอบการดึงยึด (tensile) และชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก (impact)

3.4.1.3 นำชิ้นงานรูปทรง dumbbell ของ SAN และ SANog ที่ฉีดได้ไปทดสอบสมบัติการดึงยึดโดยใช้เครื่อง universal tensile machine ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I โดยใช้ load cell 5 kN และอัตราเร็วในการดึง 50 mm/min

3.4.1.4 นำชิ้นงานของ SAN และ SANog ที่ฉีดได้ไปทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกโดยใช้เครื่องทดสอบการรับแรงกระแทกซึ่งใช้การทดสอบแบบ notched-izod impact testing

3.4.1.5 นำ SAN และ SANog ไปหาค่าดัชนีการไหล (melt flow index) โดยใช้เครื่องวัดดัชนีการไหลที่อุณหภูมิ 220 °C และใช้น้ำหนักกดขนาด 2.16 kg.

3.4.1.6 นำ SAN และ SANog ไปทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC โดยใช้ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบ 50-150 °C ด้วยอัตราในการให้ความร้อน 10 °C/min ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

3.4.1.7 นำ SAN และ SANog ไปทดสอบการเสถียรทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA โดยใช้ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบ 50-700 °C ด้วยอัตราในการให้ความร้อน 10 °C/min ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

3.4.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SANog/NR

3.4.2.1 นำ SAN ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.2.2 ทำการเตรียมยางสำหรับการผสม โดยการนำยางแผ่นตากแห้ง (NR) ไปทำการบดเพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลบนเครื่อง two roll mill เป็นเวลา 45 นาที

3.4.2.3 เตรียม SANog และ NR ที่ใช้สำหรับการผสม โดยสัดส่วนของ SANog/NR ที่ศึกษาจะประกอบด้วย 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70, 20/80

3.4.2.4 เตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 180 °C ด้วยความเร็วรอบในการหมุน rotor 60 rpm เป็นเวลา 10 นาที โดยมีขั้นตอนในการผสมคือ เริ่มจากการใส่ SANog ลงไปก่อนเพื่อให้เกิดการหลอมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นใส่ NR ที่ผ่านการบดลดน้ำหนักโมเลกุลและตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กลงไปผสมกับ SANog ลงไปผสมจนครบ 10 นาที เมื่อครบ 10 นาทีแล้วนำเอา SAN/NR blend ที่ได้ออกจากเครื่องผสมและทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.4.2.5 นำพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ที่เตรียมได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกให้กลายเป็นเม็ดขนาดเล็ก และแบ่งพอลิเมอร์ผสมบางส่วนไว้สำหรับทดสอบ SEM

3.4.2.6 พอลิเมอร์ผสม SANog/NR ที่บดแล้วจะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำพอลิเมอร์ผสมที่อบแล้วไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน micro dumbbell และชิ้นงานสำหรับทดสอบการกระแทกโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 °C ความดันในการกดอัด 80 bar

3.4.2.7 นำชิ้นงาน micro dumbbell ที่ขึ้นรูปแล้วไปทดสอบทดสอบสมบัติการดึงยึดโดยใช้เครื่อง universal tensile machine ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type V โดยใช้ load cell 5 kN และอัตราเร็วในการดึง 1 mm/min

3.4.2.8 นำชิ้นงานสำหรับทดสอบการกระแทกที่ขึ้นรูปได้ไปทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก ซึ่งใช้การทดสอบแบบ notched-izod impact testing

3.4.2.9 ทำการหาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR โดยใช้เครื่องวัดดัชนีการไหลที่อุณหภูมิ 220 °C และใช้น้ำหนักกดขนาด 2.16 kg.

3.4.2.10 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR โดยเทคนิค SEM นั้นจะต้องมีการเตรียมชิ้นงานก่อนทดสอบ โดยเริ่มจากการนำพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ที่เตรียมได้ไปแช่ในไนโตรเจนเหลว แล้วทุบให้เกิดผิวหน้าแตกหัก จากนั้นจึงนำไปแช่ใน n-hexane เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเพื่อสกัดเฟสยางออก ซึ่งวัตถุประสงค์ที่ต้องทำการสกัดเฟสยางนั้นก็เพื่อที่จะช่วยให้เห็นว่าเฟสของยางนั้นมีลักษณะการกระจายตัวอยู่ในเฟสของ SANog อย่างไรและมีขนาดเท่าใดได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เมื่อสกัดเฟสยางออกครบ 1 ชั่วโมงแล้วจึงนำเอาชิ้นงานออกมาล้างด้วย n-hexane อีกครั้ง จากนั้นจึงนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อระเหย n-hexane ออก

3.4.3 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA SMA และ peroxide ในเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer)

3.4.3.1 นำ SAN ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.3.2 ทำการเตรียมยางสำหรับใช้ในการผสม โดยการนำยางแผ่นตากแห้ง (NR) ไปทำการบดเพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลบนเครื่อง two roll mill เป็นเวลา 45 นาที

3.4.3.3 เตรียมสารสำหรับใช้ในการผสม โดยสัดส่วนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR คงที่เท่ากับ 75/25 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และ สารว่องไวปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ MA, SMA และ peroxide โดยสารและปริมาณของสารที่ใช้ในแต่ละสูตรนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

3.4.3.4 เตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 180 °C ด้วยความเร็วรอบในการหมุน rotor 60 rpm เป็นเวลา 10 นาที โดยมีขั้นตอนในการผสมคือ เริ่มจากการใส่ SAN ลงไปก่อนเพื่อให้เกิดการหลอมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นใส่ NR ที่ผ่านการบดลดน้ำหนักโมเลกุลและตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กลงไปผสมกับ SAN อีก 2 นาที จากนั้นใส่ สารว่องไวปฏิกิริยา ของสูตรต่างๆ ตามปริมาณที่แสดงในตารางที่ 3.1 ลงไป และผสมต่อเนื่องไปจนครบ 10 นาที เมื่อครบ 10 นาทีแล้วนำพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ได้ออกจากเครื่องเครื่องผสมและทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.1 ชื่อสูตรและปริมาณของสารที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วย สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide

Formulations	ปริมาณ				
	SAN [%]	NR [%]	SMA [phr]	MA [phr]	Peroxide [phr]
SAN/NR (SN)	75	25	-	-	-
SAN/NR/MA (SNM)	75	25	-	0.5	-
SAN/NR/SMA (SNS)	75	25	0.5	-	-
SAN/NR/SMA/MA (SNSM)	75	25	0.5	0.5	-
SAN/NR/MA/peroxide (SNMP)	75	25	-	0.5	0.2
SAN/NR/SMA/peroxide (SNSP)	75	25	0.5	-	0.2
SAN/NR/SMA/MA/peroxide (SNSMP)	75	25	0.5	0.5	0.2

3.4.3.5 นำพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่เตรียมได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกให้กลายเป็นเม็ดขนาดเล็ก และแบ่งพอลิเมอร์ผสมบางส่วนไว้สำหรับทดสอบ SEM

3.4.3.6 ทำการขึ้นรูปและวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ ที่เตรียมได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.4.2.6 - 3.4.2.10

3.4.3.7 ทดสอบสมบัติทางความร้อนของ พอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบ -80-150 °C ด้วยอัตราในการให้ความร้อน 10 °C/min ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

3.4.4 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ phenolic resin ในเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer)

3.4.4.1 นำ SAN ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.4.2 ทำการเตรียมยางสำหรับใช้ในการผสม โดยการนำยางแผ่นตากแห้ง (NR) ไปทำการบดเพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลบนเครื่อง two roll mill พร้อมกับทำการผสมสารเคมียางและ phenolic resin ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางร่วมกับ SnCl₂ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการทำงานของ phenolic resin โดยยางในระบบการเชื่อมขวางด้วย phenolic นี้เตรียมขึ้นมา 2 สูตร คือ NRp1 และ NRp2 โดยยางทั้งสองชนิดนั้นจะมีการใช้ปริมาณของสารเคมียางและ phenolic resin เท่ากัน แต่มีปริมาณของ SnCl₂ แตกต่างกัน โดย NRp2 มีปริมาณของ SnCl₂ น้อยกว่า NRp1 เนื่องจาก

ต้องการให้เกิดการเชื่อมขวางได้น้อยกว่าและช้ากว่านั่นเอง ซึ่งปริมาณของสารเคมีต่างๆ และลำดับการเติมสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมยาง NRp1 และ NRp2 นั้นแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมยาง NRp1 และ NRp2

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)	
	NRp1	NRp2
NR	100	100
Stearic acid	1	1
ZnO	5	5
Ethylene wax	1	1
Phenolic resin	0.5	0.5
SnCl ₂	0.26	0.05

3.4.4.3 เตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ซึ่งมีอัตราส่วนของ SAN/NR คงที่ 75/25 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ในเครื่องผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ 180 °C ด้วยความเร็วรอบในการหมุน rotor 60 rpm เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งขั้นตอนในการผสมนั้น จะเริ่มจากการใส่ SAN ลงไปก่อนเพื่อให้เกิดการหลอมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นใส่ NRp1 (หรือ NRp2) ที่ตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กลงไปผสมกับ SAN ต่อเนื่องไปจนครบ 10 นาที เมื่อครบ 10 นาทีแล้วจึงนำเอาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ได้ออกจากเครื่องผสมแบบปิดและทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3.4.4.4 ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ซึ่งมีอัตราส่วนของ SAN/NR คงที่ที่ 75/25 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ในเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 180 °C ด้วยความเร็วรอบในการหมุน rotor 60 rpm เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งขั้นตอนในการผสมนั้น จะเริ่มจากการใส่ SAN ลงไปก่อนเพื่อให้เกิดการหลอมเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นใส่ NRp1 (หรือ NRp2) ที่ตัดเป็นชิ้นขนาดเล็กลงไปผสมกับ SAN ต่ออีก 2 นาที จากนั้นเติม phenolic resin และ SnCl₂ ตามลำดับ (ปริมาณการเติมดูที่ตารางที่ 3.3) พร้อมกับผสมต่อเนื่องไปจนครบ 10 นาที เมื่อครบ 10 นาทีแล้วจึงนำเอาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ได้ออกจากเครื่องผสมแบบปิดและทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.3 สูตรและปริมาณของ phenolic resin ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR

สูตร	ปริมาณ				
	SAN [%]	NRp1 [%]	NRp2 [%]	Phenolic resin [phr]	SnCl ₂ [phr]
SAN /Phe0.1/SnCl20.05/NRp1	75	25	-	0.1	0.05
SAN/Phe0.05/SnCl20.05/NRp1	75	25	-	0.05	0.05
SAN /Phe0.1/SnCl20.05/NRp2	75	-	25	0.1	0.05
SAN /Phe0.05/SnCl20.05/NRp2	75	-	25	0.05	0.05

3.4.4.5 นำพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในสูตรต่างๆ ที่เตรียมได้ไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกให้กลายเป็นเม็ดขนาดเล็ก และแบ่งพอลิเมอร์ผสมบางส่วนไว้สำหรับทดสอบ SEM

3.4.4.6 ทำการขึ้นรูปและวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ ที่เตรียมได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.4.2.6 - 3.4.2.10

3.4.4.7 ทดสอบสมบัติทางความร้อนของ พอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบ -80-150 °C ด้วยอัตราในการให้ความร้อน 10 °C/min ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

จากการศึกษาชนิดของ สารว่องไวปฏิกิริยา ที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วยเครื่องผสมแบบปิดในหัวข้อที่ 3.4.2 และ 3.4.3 นั้นพบว่าการใช้ SMA และ SMA ร่วมกับ MA เป็น สารว่องไวปฏิกิริยา ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้นให้ผลทางด้านสัญญาณวิทยาและสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า สารว่องไวปฏิกิริยา อื่นๆ ดังนั้นจึงได้ทำการเลือก สารว่องไวปฏิกิริยา ดังกล่าวมาทำการผสมกับ SAN/NR ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ เพื่อศึกษาต่อไป

3.4.5 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) กับ สารว่องไวปฏิกิริยา SMA และ MA ร่วมกับ SMA ด้วยกระบวนการอัดรีด

3.4.5.1 นำ SAN ไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.5.2 ทำการเตรียมยางสำหรับใช้ในการผสม โดยการนำยางแผ่นตากแห้ง (NR) ไปทำการบดเพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลบนเครื่อง two roll mill เป็นเวลา 45 นาที

3.4.5.3 เตรียมสารสำหรับใช้ในการผสม โดยสัดส่วนของ SAN/NR คงที่เท่ากับ 75/25 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ สารว่องไวปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่ MA, SMA และ peroxide โดยสารและปริมาณของสารที่ใช้ในแต่ละสูตรนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 สูตรและปริมาณของสารต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ด้วยสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide สำหรับกระบวนการอัดรีด

สูตร	ปริมาณ				
	SAN [%]	NR [%]	SMA [phr]	MA [phr]	Peroxide [phr]
SAN/NR (SN)	75	25	-	-	-
SAN/NR/SMA (SNS)	75	25	0.5	-	-
SAN/NR/SMA/MA (SNSM)	75	25	0.5	0.5	-
SAN/NR/SMA/MA/peroxide (SNSMP)	75	25	0.5	0.5	0.2

3.4.5.4 นำยางที่ผ่านการบดแล้วในข้อที่ 3.4.4.2 มาตัดใช้เป็นเม็ดขนาดเล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดของ SAN มากที่สุด เพื่อที่จะทำให้การป้อนและการลำเลียงของยางและ SAN เป็นไปอย่างพร้อมเพียงกันมากขึ้น แต่เนื่องยางนั้นมีสมบัติที่จับตัวกันได้ง่ายจึงทำให้เม็ดยางที่ตัดนั้นจับตัวกันเป็นก้อน ดังนั้นขณะตัดต้องทำการคลุกด้วยผงของ SAN ด้วยเพื่อป้องกันการจับตัวกันของยาง

3.4.5.5 นำ SAN และยางที่ตัดเป็นเม็ดขนาดเล็กและผงของ สารว่องไวปฏิกิริยา ผสมรวมกันและคลุกให้เกิดการกระจายตัวของสารดังกล่าวอย่างทั่วถึง

3.4.5.6 นำสารที่คลุกกันดีแล้วไปผสมในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่มีการตั้งอุณหภูมิในโซนต่างๆ โดยเริ่มจากโซนป้อนเข้า (feed zone) เป็น 90 °C และโซนต่อๆ ไปเป็น 115/ 150/ 165/ 170/ 180/ 180 °C ตามลำดับ และตั้งอุณหภูมิหัวทางออกเท่ากับ 190 °C ความเร็วรอบในการหมุนสกรูใช้ 60 rpm

3.4.5.7 เส้น extruded ที่ได้นั้นจะถูกลากผ่านน้ำและเข้าเครื่องตัดเม็ด

3.4.5.8 นำเม็ดของพอลิเมอร์ผสมที่ตัดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.4.5.9 นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการอบแล้วไปถีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องถีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานรูปทรง dumbbell สำหรับทดสอบการดึงยึด (tensile) และชิ้นงาน impact bar เพื่อทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทก (impact)

3.4.5.10 นำชิ้นงานรูปทรง dumbbell ที่ได้ไปทดสอบสมบัติการดึงยึดโดยใช้เครื่อง Universal Tensile Machine ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I โดยใช้ Load cell 5 kN และอัตราเร็วในการดึง 50 mm/min

3.4.5.11 นำชิ้นงานสำหรับทดสอบการรับแรงกระแทกที่ได้ไปทดสอบสมบัติการรับแรงกระแทกโดยใช้เครื่อง impact tester ซึ่งใช้การทดสอบแบบ notched-Izod impact testing

3.4.5.12 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR โดยเทคนิค SEM นั้นจะใช้ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ impact แล้ว โดยจะดูที่ผิวหน้าแตกหักของชิ้นงาน

3.4.6 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR โดยใช้ NR ที่ดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันได้แก่ ENR และยาง MNR ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

จากการศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR โดยใช้ SMA และ MA ร่วมกับ SMA เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ นั้นพบว่าเกิดการไม่เข้ากันอย่างมาก โดยเห็นได้จากสัณฐานวิทยาที่เฟสของยางแยกออกจากเฟสของ SAN เป็นชั้นๆ ซึ่งนั่นเกิดเนื่องมาจากการที่เฟสของยางนั้นไม่เสถียร ถึงแม้ว่า SMA และ MA นั้นสามารถจะทำให้เกิดการเข้ากันระหว่าง SAN กับ NR ในระดับหนึ่งแต่ไม่สามารถทำให้เฟสยังคงรูปและเกิดการกระจายตัวอยู่ใน SAN ได้ จึงทำให้ทั้งสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ต่ำลง ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้มีการทดลองศึกษาการผสมในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่โดยใช้ NR ที่มีการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ ENR และ MNR เนื่องจากยางดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันทั้งสองชนิดที่เลือกใช้สามารถเกิดปฏิกิริยาและทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างยางทั้งสองชนิดได้

3.4.6.1 ทำการเตรียมยางที่ใช้ในการผสมโดยเริ่มจากการเตรียมยาง ENR เนื่องจากยาง ENR ที่ได้มานั้นน้ำหนักโมเลกุลที่สูงจึงต้องนำไปบดในเครื่องผสมแบบปิดก่อนเป็นเวลา 25 นาที

3.4.6.2 เตรียมยาง MNR โดยเริ่มจากการนำยางแผ่นตากแห้งไปทำการบดลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยเครื่อง two roll mill เป็นเวลา 45 นาที แล้วจึงนำ MA มาผสมกับยางบน two roll mill เพื่อให้ MA เข้าไปอยู่ในเนื้อยางก่อน โดยปริมาณของ MA ที่ใช้จะเท่ากับ 3 phr และ 5 phr ซึ่งยางผสมที่ได้ก็จะมีชื่อว่า 3MNR และ 5MNR ตามลำดับ จากนั้นนำยางที่เตรียมได้ไปใส่ในเครื่องผสมแบบปิด ที่อุณหภูมิ 145 °C เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการกราฟต์ของ MA บนโมเลกุลของยางธรรมชาติ

จากนั้นทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ว่าเกิดการกราฟต์ของ MA บนโมเลกุลของยางธรรมชาติหรือไม่ โดยใช้เทคนิค FTIR เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ ซึ่งก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ให้ทำการ purified ยางผสมที่ได้ก่อน โดยการนำยาง 1 g ละลายใน toluene 70 ml ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการตกตะกอนโดยนำ สารละลายที่ได้ไปหยดลงใน acetone อย่างช้าๆ

พร้อมกับกวาดตลอดเวลา ทำการกรองตะกอนที่ได้แล้วนำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำยางที่อบจนแห้งแล้วไปละลายใน toluene อีกครั้ง เมื่อจะทำการทดสอบให้หยดสารละลายใน toluene ลงบน KBr window ปล่อยให้ toluene ระเหยจนหมด แล้วจึงนำไปทดสอบด้วยเครื่อง FTIR

3.4.6.3 นำยาง MNR และ ENR ที่เตรียมได้ในข้อ 3.4.5.1 และ 3.4.5.2 มาตัดใช้เป็นเม็ดขนาดเล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดของ SAN มากที่สุด เพื่อที่จะทำให้การป้อนและการลำเลียงของยางและ SAN เป็นไปอย่างพร้อมเพียงกันมากขึ้น แต่เนื่องยางนั้นมีสมบัติที่จับตัวกันได้ง่ายจึงทำให้เม็ดยางที่ตัดนั้นจับตัวกันเป็นก้อน ดังนั้นขณะตัดต้องทำการคลุกด้วยผงของ SAN ด้วยเพื่อป้องกันการจับตัวกันของยาง

3.4.6.4 นำ SAN และยางที่ตัดเป็นเม็ดขนาดเล็กผสมรวมกันและคลุกให้เกิดการกระจายตัวของสารดังกล่าวอย่างทั่วถึง โดยยังคงใช้สัดส่วนของ SAN/NR คงที่ที่ 75/25 แต่ใน NR 25 เปอร์เซ็นต์นั้นจะเป็นการผสมกันของ MNR/ENR ในสัดส่วนต่างดังนี้คือ 90/10, 70/30 และ 50/50 โดยสูตรและปริมาณของยางที่ใช้แสดงในตารางที่ 3.6

3.4.6.5 นำสารที่คลุกกันดีแล้วไปผสมในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่มีการตั้งอุณหภูมิในโซนต่างๆ โดยเริ่มจากโซนป้อนเข้าเป็น 90 °C และโซนต่อๆ ไปเป็น 115/ 150/ 165/ 170/ 180/ 180 °C ตามลำดับ และตั้งอุณหภูมิหัวทางออกเท่ากับ 190 °C ความเร็วรอบในการหมุนสกรูใช้ 60 rpm

3.4.6.6 เส้น extruded ที่ได้นั้นจะถูกลากผ่านน้ำและเข้าเครื่องตัดเม็ด

3.4.6.7 ทำการขึ้นรูปและวิเคราะห์สมบัติของพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ ที่เตรียมได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 3.4.4.9 - 3.4.4.10

3.4.6.8 ทดสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้ช่วงอุณหภูมิในการทดสอบ -80-150 °C ด้วยอัตราในการให้ความร้อน 10 °C/min ในสภาวะบรรยากาศไนโตรเจน

ตารางที่ 3.5 สูตรและปริมาณของยาง 3MNR 5MNR และ ENR ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR

ชื่อสูตร	ปริมาณ			
	SAN (%)	NR (%)		
		3MNR	5MNR	ENR
3MNR	75	25	-	-
5MNR	75	-	25	-
ENR	75	-	-	25
3MNR90 ENR10	75	22.5	-	2.5
3MNR70 ENR30	75	17.5	-	7.5
3MNR50 ENR50	75	12.5	-	12.5
5MNR90 ENR10	75	22.5	2.5	-
5MNR70 ENR30	75	17.5	7.5	-
5MNR50 ENR50	75	12.5	12.5	-

3.4.7 การศึกษาผลของสัดส่วนของ SAN/NR ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR โดยใช้ NR ดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน ENR และยาง MNR ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่

ทำการเลือกสูตรในหัวข้อที่ 3.4.6 มา 1 สูตรแล้วทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ SAN/NR ในสองอัตราส่วนคือ 80/20 และ 75/25 จากนั้นทำการทดลองตามกระบวนการในข้อ 3.4.6

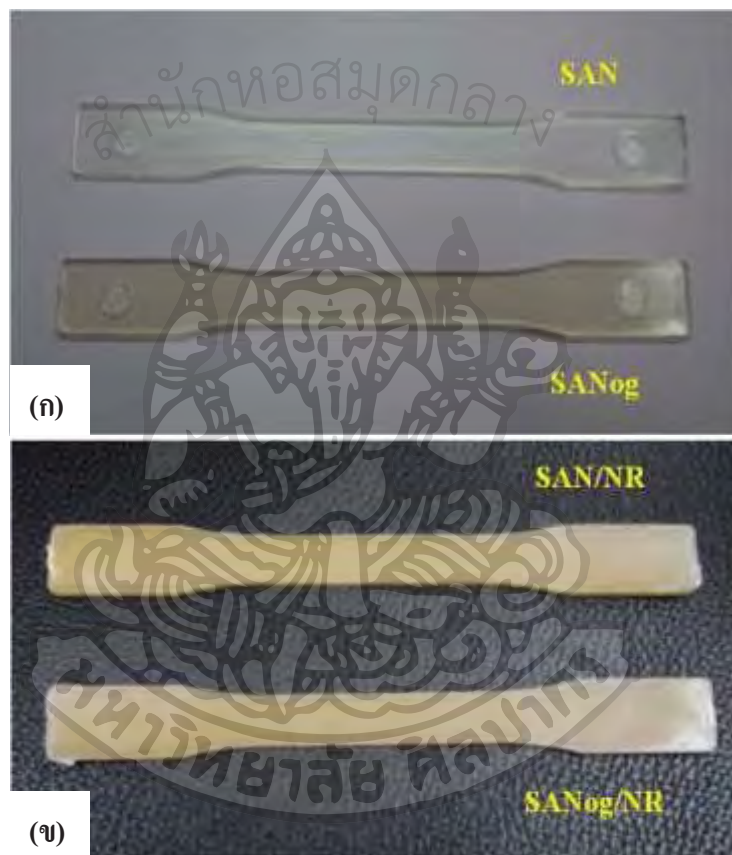
3.4.8 การศึกษาผลของการใช้ SAN และ SANog ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR

ทำการเลือกสูตรของพอลิเมอร์ผสมมา 1 สูตรจากนั้นมาทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดย SAN ที่ใช้ในการผสมจะเป็น SAN และ SANog ตามลำดับ จากนั้นทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมตามข้อ 3.4.6

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของ SAN เกรดปกติและ SANog



ภาพที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของ (ก) SAN และ SANog (ข) SAN/NR และ SANog/NR

จากการเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของ SAN และ SANog พบว่าในกรณีที่ยังไม่ได้ผสมยางลงไป (ภาพที่ 4.1 (ก)) นั้นจะเห็นได้ว่า SAN เป็นพลาสติกใสไม่มีสี แต่ SANog นั้นจะเป็นสีน้ำตาลใส แต่เมื่อนำ SAN และ SANog ไปผสมกับยางแล้ว (ภาพที่ 4.1 (ข)) พบว่าสีของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR และ SANog/NR นั้นไม่แตกต่างกัน ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวนี้แสดงว่าสีของ SANog ที่มีอยู่นั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อสีของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN/NR

ตารางที่ 4.1 สมบัติเชิงกล สมบัติการไหล และสมบัติเชิงความร้อน ของ SAN และ SANog

สมบัติ	SAN	SANog
Tensile strength (MPa)	57.37 ± 4.15	68.60 ± 1.54
Elongation at break (%)	5.23 ± 0.56	6.33 ± 0.09
Modulus (MPa)	15.44 ± 0.38	14.30 ± 0.87
Impact strength (kJ/m ²)	1.8 ± 0.38	1.34 ± 0.20
Melt flow index (g/10 min) at 220 °C	3.08 ± 0.16	3.13 ± 0.37
Glass transition (°C)	98.63	98.23
TGA data		
On set temperature of degradation (°C)	397.16	413.35
Mid-point temperature of degradation (°C)	395.73	411.34

ผลการทดสอบสมบัติการดึงยึดทั้งของ SAN และ SANog นั้นพบว่า SANog มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึง (tensile strength) สูงกว่า SAN 11.23 MPa และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดแตกหัก (% elongation at break) ที่สูงกว่า SAN อยู่ 1.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ SANog นั้นมีค่า modulus และ impact strength ต่ำกว่า SAN เล็กน้อย เมื่อพิจารณาค่าดัชนีการไหลก็พบว่า SANog นั้นมีค่าสูงกว่า SAN เล็กน้อยซึ่งนั่นหมายความว่า SANog นั้นความหนืดที่ต่ำกว่า SAN เล็กน้อย

เมื่อพิจารณาที่สมบัติทางความร้อนพบว่า SAN และ SANog มีค่า T_g ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาความเสถียรทางความร้อนก็พบว่า SANog นั้นมีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่า SAN เล็กน้อยเนื่องจากผลจากทดสอบ TGA นั้นพบว่า SANog นั้นมีอุณหภูมิเริ่มต้นในการสลายตัวและอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวสูงสุดต่ำกว่า SAN

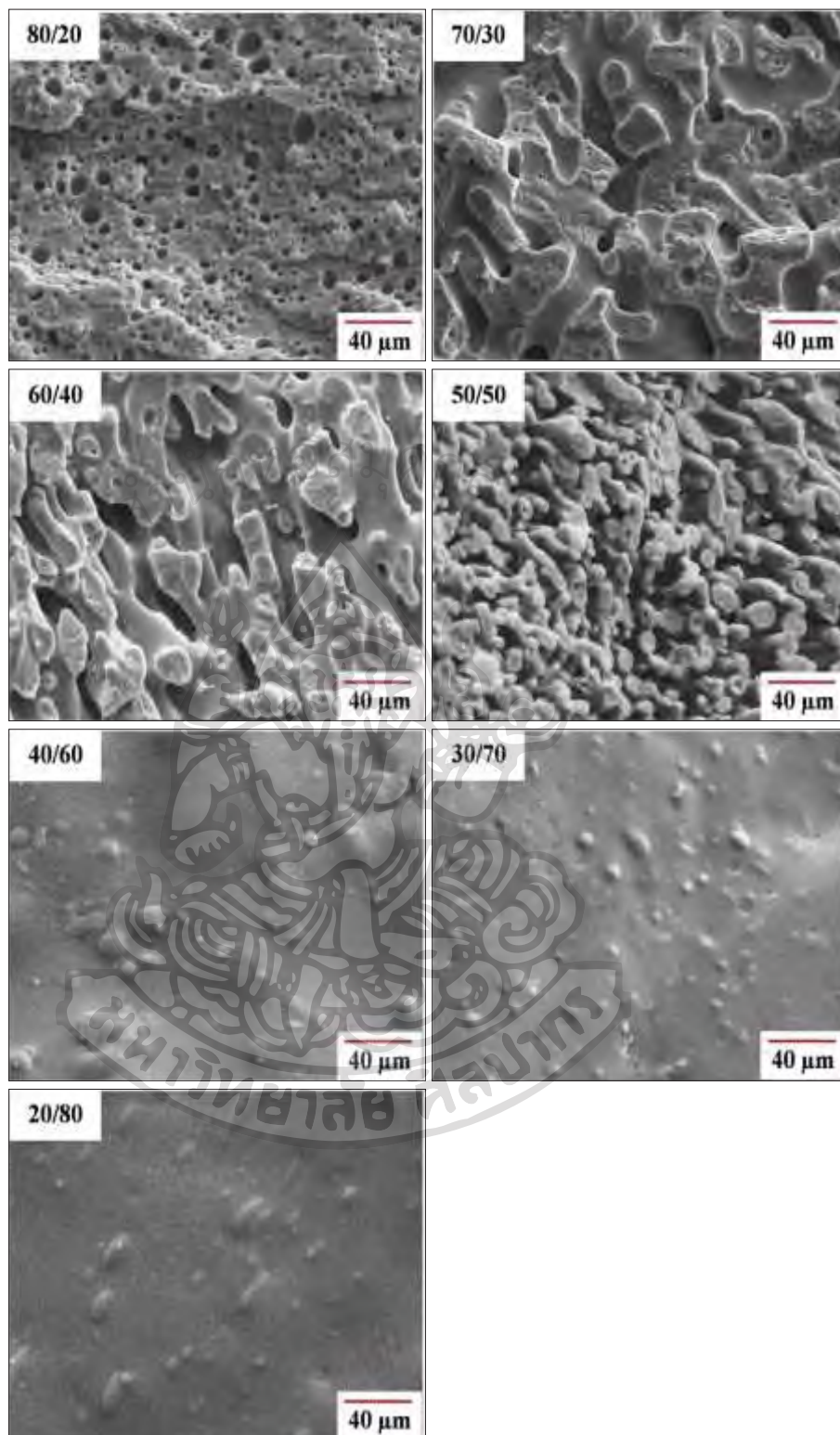
จากการเปรียบเทียบสมบัติของ SANog กับ SAN นั้นก็ได้พบว่า SANog นั้นก็มีสมบัติบางอย่างที่แตกต่างกับ SAN ซึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดความต่างนั้นอาจจะมีอิทธิพลมาจากสารปนเปื้อนที่มีอยู่ใน SANog ซึ่งอาจจะเป็นสารที่ติดค้างอยู่ในเครื่อง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อในการศึกษาการผสมระหว่าง SANog กับ NR โดยใช้สารว่องไวปฏิกิริยา ซึ่งสารปนเปื้อนนี้อาจจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสารว่องไวปฏิกิริยา และส่งผลทำให้การวิเคราะห์ผลนั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมปัจจัยเรื่องของสิ่งปนเปื้อนใน SANog จึงใช้ SAN เกรดปกติใน

การศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารว่องไวปฏิกิริยา ก่อนแล้วจึงทำการเลือกสูตรที่เหมาะสมไปทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยใช้ SANog ภายหลัง

4.2 การศึกษาการผสมระหว่าง SANog กับ NR โดยการปรับเปรียบอัตราส่วนการผสม SANog/NR

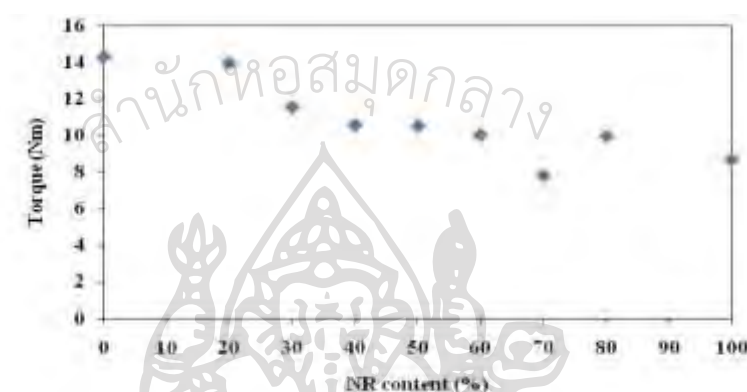
ในหัวข้อนี้ได้ทำการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ในระบบ physical blend โดยศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนการผสมระหว่าง SANog และ NR เพื่อเข้าใจพฤติกรรมการผสมของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดดังกล่าว โดยสัดส่วนการผสมของ SANog/NR ได้แก่ 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80

ในภาพที่ 4.2 นั้นแสดงถึงสัณฐานวิทยาของผิวหน้าแตกหักของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR โดยผิวหน้าแตกหักของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน 80/20, 70/30, 60/40 และ 50/50 นั้นจะถูกนำไปสกัดเฟสของ NR ออกเพื่อให้สามารถสังเกตลักษณะการกระจายตัวของ NR ในเฟสของ SAN ได้อย่างชัดเจนโดยช่องว่างที่แสดงในภาพนั้นแสดงถึงร่องรอยการมีอยู่ของเฟส NR แต่ผิวหน้าแตกหักของชิ้นงานในสัดส่วน 40/60, 30/70 และ 20/80 นั้นไม่ได้ผ่านการสกัดข้างออกเนื่องจากในสูตรดังกล่าวนี้มียางเป็นเฟสต่อเนื่อง ส่งผลให้การสกัดข้างออกนั้นส่งผลให้ไม่สามารถวิเคราะห์สัณฐานวิทยาได้ เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของ NR ในเฟสของ SAN เมื่อมีปริมาณของยางต่างๆ นั้นพบว่า ที่อัตราการผสม SANog/NR 80/20 นั้นเกิดการกระจายตัวของ NR เป็นอนุภาคกลมในเฟสของ SAN แต่เมื่อสัดส่วนการผสมเปลี่ยนไปเป็น 70/30 และ 60/40 นั้นจะเห็นว่าเฟสของยางนั้นเริ่มมีการกระจายเป็นเฟสที่ใหญ่ และเมื่อสัดส่วนการผสมเป็น 50/50 นั้นก็พบว่าเฟสของยางนั้นจะเกิดการกระจายตัวในลักษณะที่เป็น co-continuous และเมื่อปริมาณองค์ประกอบของ NR ในพอลิเมอร์ผสม SANog/NR มากกว่า 50 % นั้นพบว่าเฟสของ NR นั้นจะเกิดเป็นเฟสต่อเนื่องอย่างสมบูรณ์



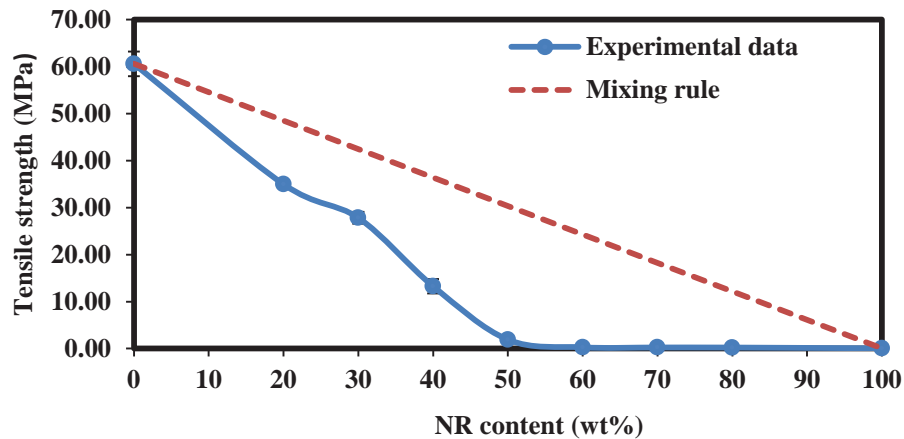
ภาพที่ 4.2 แสดงสัณฐานวิทยาพื้นผิวการแตกหักของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ในอัตราส่วนการผสม 80/20, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, 30/70 และ 20/80 ตามลำดับ

จากภาพที่ 4.3 นั้นแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กการผสม (mixing torque) ที่เวลา 10 นาทีกับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของ NR จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อนำ SANog ซึ่งมีค่าทอร์กการผสมที่สูงมาผสมกับ NR ซึ่งมีค่าทอร์กในการผสมที่ต่ำกว่า พบว่าค่าทอร์กของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณองค์ประกอบของ NR เพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งนี้ เป็นผลเนื่องมาจาก SANog และ NR นั้นไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟส ดังนั้น NR ที่เติมลงไปจึงไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของเฟส SANog จึงทำให้เมื่อได้รับความร้อนและแรงเฉือนในกระบวนการผสมจะเกิดการไหลผ่านกันของเฟส SANog และ NR ได้ง่าย [21]



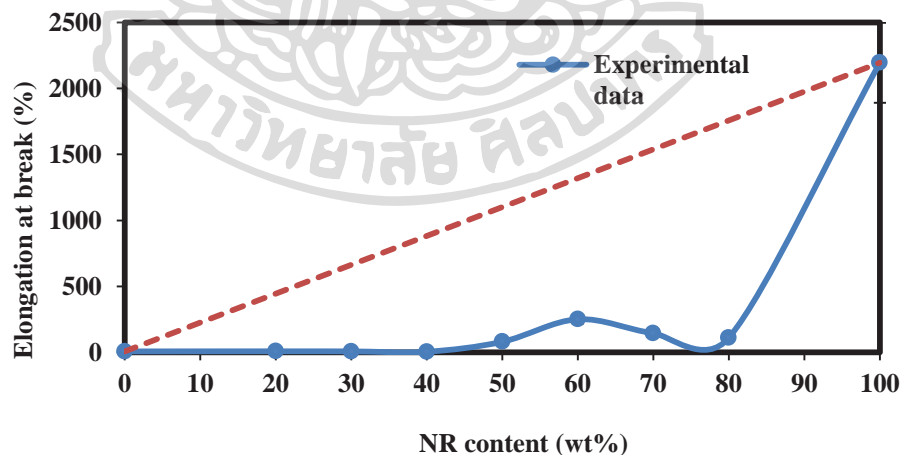
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์กการผสม (mixing torque) ที่เวลา 10 นาทีกับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR

จากภาพที่ 4.4 แสดงถึงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง tensile strength กับสัดส่วนเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของ NR ที่อยู่ในพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR นั้นลดลงเมื่อปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ NR เพิ่มขึ้นน้อยกว่า 50 %wt และเริ่มคงที่เมื่อปริมาณของ NR มากกว่า 50 % ซึ่งที่สัดส่วนของ SANog/NR เท่ากับ 50/50 นั้นจะเห็นได้ถึงการเปลี่ยนแปลงความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง tensile strength กับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของ NR อย่างชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความชันที่เกิดขึ้นนั้นบ่งบอกถึงการกลับเฟสของ NR จากเฟสที่กระจายตัว (dispersed phase) กลายเป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) ซึ่งสอดคล้องกับฐานานวิทยาในภาพที่ 4.2 และเมื่อพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณจากกฎการผสม (mixing rule) พบว่าข้อมูลการทดลองมีการเบี่ยงเบนทางลบ (negative deviation) จากกฎการผสม ซึ่งการเบี่ยงเบนทางลบที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากการยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสที่ไม่ดีของ SANog ที่มีขี้ว และ NR ที่ไม่มีขี้ว ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดส่งผ่านแรง (stress transfer) ระหว่างเฟสต่อเนื่องกับเฟสที่กระจายตัวได้ไม่ดี [22]



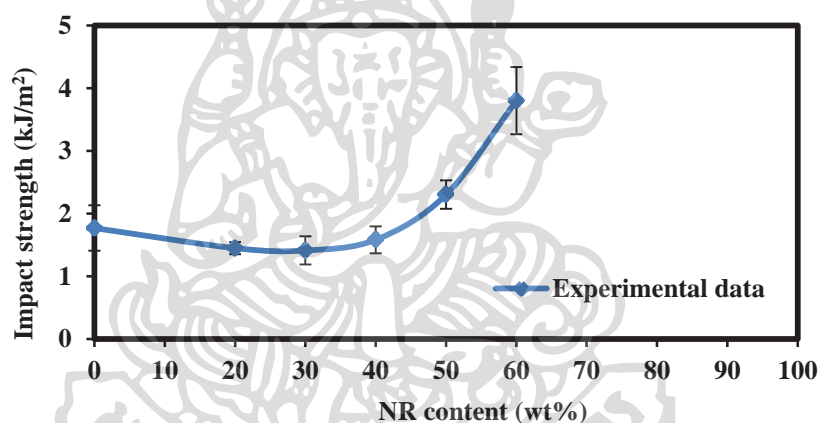
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า tensile strength กับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % elongation at break กับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ในภาพที่ 4.5 พบว่าเมื่อค่า % elongation at break ของ SANog/NR ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ได้จากการทดลองนั้นมีการเบี่ยงเบนทางลบจากกฎการผสม และเมื่อพบว่าค่า % elongation at break นั้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ SANog ที่ไม่ได้เติม NR ซึ่งน้อยกว่าค่า % elongation at break ของ NR อย่างมาก ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เป็นผลเนื่องมาจากแรงยึดเหนี่ยวที่ต่ำระหว่าง SANog และ NR



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % elongation at break กับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง impact strength กับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของ NR ในภาพที่ 4.5 นั้นพบว่าที่เปอร์เซ็นต์ของยางต่ำกว่า 40% นั้นพบว่าค่า impact strength นั้นมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับ SANog ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อพิจารณาพื้นฐานวิทยาในภาพที่ 4.2 นั้นจะพบว่าที่อัตราส่วนของ NR ในพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ต่ำกว่า 40% นั้นมีลักษณะการกระจายตัวเป็นอนุภาคทรงกลมในเฟสของ SANog แต่เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสของ SANog และ NR ต่ำจึงทำให้ไม่เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า impact strength แต่เมื่อสัดส่วนของ NR มากกว่า 40% นั้นจะเห็นได้ว่า NR เฟสนั้นเริ่มมีลักษณะเป็น co-continuous เฟส จึงทำให้สามารถช่วยในรับแรงกระแทกที่มากกระทบได้ดีกว่าการกระจายตัวในลักษณะอนุภาคจึงทำให้ค่า impact strength นั้นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ SANog และจะเห็นได้ว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของ NR เพิ่มขึ้นมากกว่าหรือเท่ากับ 50% นั้นก็จะเห็นการกลับเฟสของ NR จากเฟสที่กระจายตัวกลายเป็นเฟสต่อเนื่องจึงทำให้ impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่าเพิ่ม

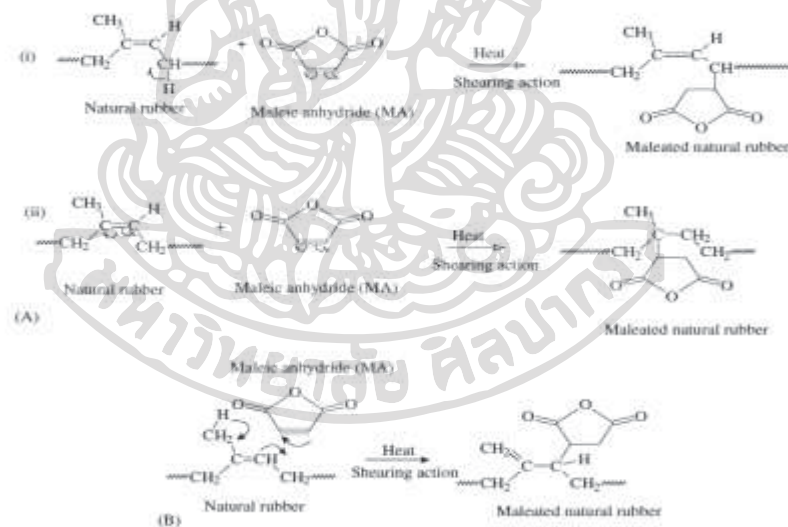


ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า impact strength กับเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบ NR ของพอลิเมอร์ผสม SANog/NR

4.3 การศึกษาผลของการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA SMA และ peroxide ในเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer)

เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN กับ NR นั้นไม่สามารถเข้ากันได้ ซึ่งความไม่เข้ากันของพอลิเมอร์สองชนิด นั้นเนื่องมาจากสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันกล่าวคือ SAN นั้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นขี้ว ซึ่งความขี้วนั้นเกิดมาจากหมู่ อะคริโลไนไตรล์ ส่วนยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขี้ว ซึ่งเมื่อนำพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดมาผสมกันจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ ซึ่งวิธีในการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ สามารถทำได้โดยการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ (compatibilizer) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้สนใจการใช้สารที่ว่องไวปฏิกิริยาที่เป็นสารโมเลกุลเล็กซึ่งสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาได้ในระหว่างกระบวนการผสม โดยสารว่องไวปฏิกิริยาที่สนใจและเลือกมาใช้ได้แก่ maleic anhydride (MA), styrene maleic anhydride copolymer (SMA) และ peroxide

เหตุผลที่เลือก MA เป็นสารว่องไวปฏิกิริยานี้เนื่องจากได้มีงานวิจัยที่ศึกษามาแล้วพบว่า MA นั้นสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาการกราฟต์บนสายโซ่โมเลกุลของ NR ในสภาวะหลอมเหลวและมีแรงเฉือนได้ [5, 15] ซึ่งปฏิกิริยาการกราฟต์ของ MA ลงบนโมเลกุลของ NR ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นแสดงในภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 กลไกของปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นของการกราฟต์ของ MA บนโมเลกุลของยางธรรมชาติ โดยที่กลไก (A) Free radical mechanism (B) Diels-Alder reaction [15]

ซึ่ง MA ที่กราฟต์อยู่บนโมเลกุลของยาง NR นั้นจะทำให้ยางธรรมชาติมีความเป็นขี้วมากยิ่งขึ้น โดยความขี้วที่เกิดขึ้นนี้น่าจะทำให้ NR สามารถจะเข้ากับ SAN ได้ในระดับหนึ่ง

ส่วนเหตุผลที่เลือก SMA นั้นก็เนื่องมาจากว่า ในสายโซ่โมเลกุลของ SMA นั้นมีทั้ง สไตรีนและแอนไฮไดรด์อยู่ ซึ่งได้มีรายงานไว้ว่า SAN นั้นสามารถผสมเข้ากันได้กับ SMA [23]

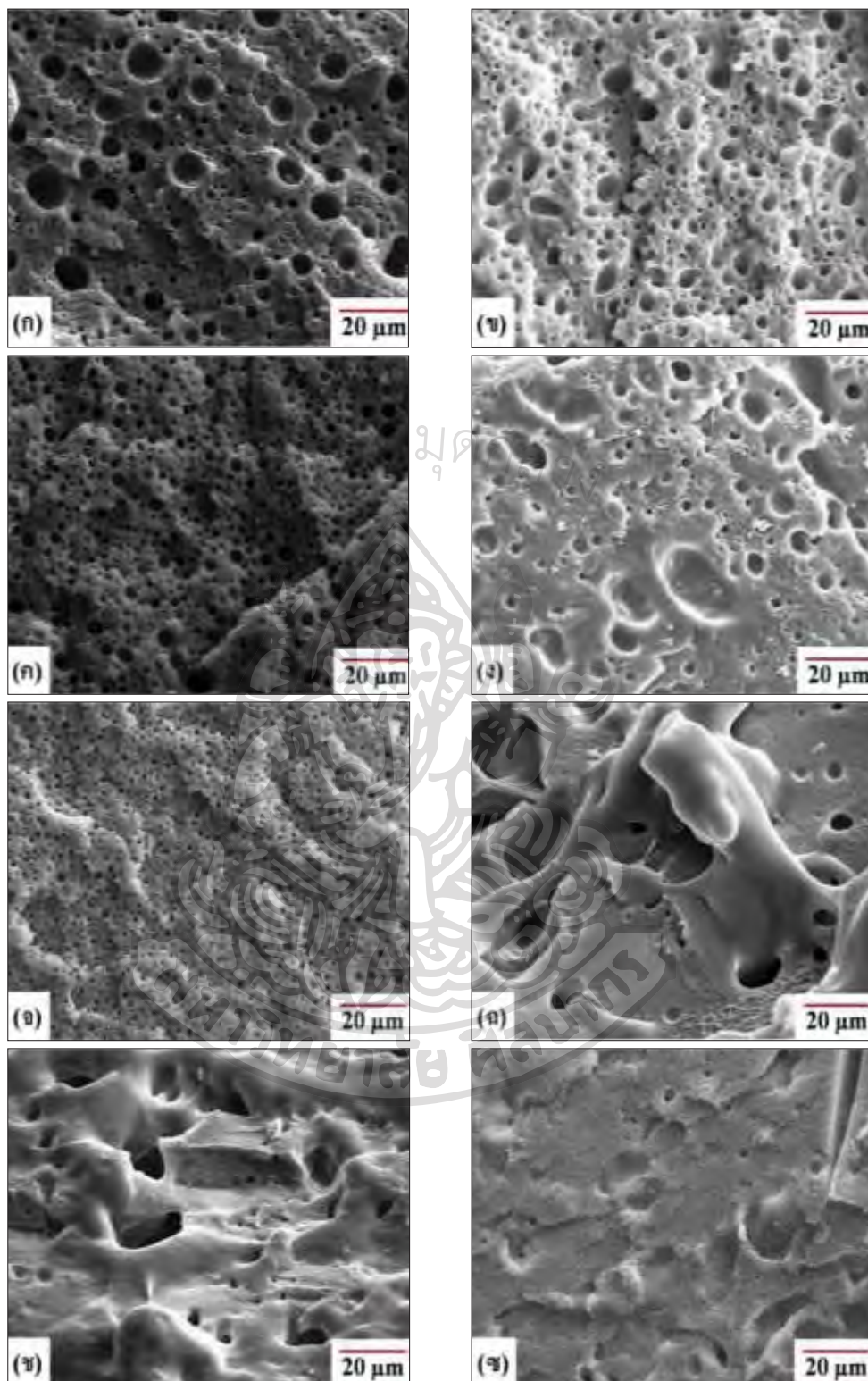
ดังนั้นเมื่อทำการผสม SAN กับ NR โดยที่มีการใช้ MA ร่วมกับ SMA น่าจะช่วยให้เกิดการเข้ากันได้ระหว่าง SAN กับ NR มากขึ้นเนื่องจาก SMA นั้นจะเข้าไปอยู่ในเฟสของ SAN และ MA ที่กราฟต์อยู่บนสายโซ่โมเลกุลของยางจะทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองเฟสสามารถเข้ากันได้มากขึ้นเนื่องจากทั้งเฟสของ SAN และ NR นั้นมีสภาพทางเคมีที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น

เหตุผลที่เลือก peroxide นั้นเนื่องจาก peroxide สามารถทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ผ่านการเกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ได้ และยังสามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (crosslink) ในเฟสของ NR ได้

ซึ่งในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้นจะใช้สารว่องไวปฏิกิริยาแบบชนิดเดี่ยว และแบบร่วม (co-reactive agent) โดยสารว่องไวปฏิกิริยาแบบร่วม นั้นจะได้จากการจับคู่กันของสารว่องไวปฏิกิริยา ที่เลือกคือ MA, SMA และ peroxide ซึ่งชื่อสูตรของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใส่ สารว่องไวปฏิกิริยา แต่ละชนิดจะแสดงในตารางที่ 4.2 (และสัดส่วนในการผสมได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1)

ตารางที่ 4.2 ชื่อสูตรของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใส่ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ Peroxide

สูตร	ชื่อสูตร
SAN	S
SAN/NR	SN
SAN/NR/MA	SNM
SAN/NR/SMA	SNS
SAN/NR/SMA/MA	SNSM
SAN/NR/MA/peroxide	SNMP
SAN/NR/SMA/peroxide	SNSP
SAN/NR/SMA/MA/peroxide	SNSMP

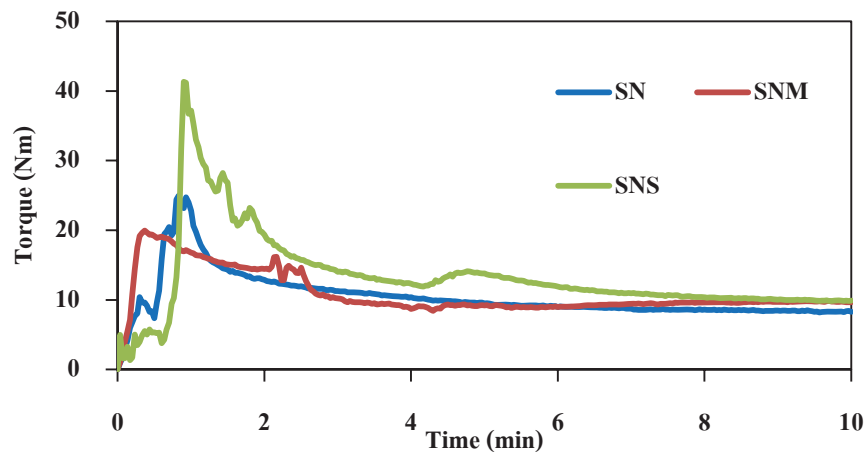


ภาพที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN/NR ในอัตราส่วน 75/25: (ก) SN (ข) SNM (ค) SNS (ง) SNP (จ) SNSM (ฉ) SNMP (ช) SNSP (ซ) SNSMP

ในภาพที่ 4.8 นั้นแสดงถึงสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์โดยเทคนิค SEM ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาต่างๆ กัน โดยชิ้นงานที่นำมาทดสอบนี้เป็นผิวหน้าแตกหักของชิ้นงานที่เกิดจากการหักในไนโตรเจนเหลว แล้วทำการสกัดเฟสของยางออกด้วย n-hexane โดยลักษณะของหลุมที่อยู่บนผิวหน้าของชิ้นงานในภาพที่ 4.8 (ก) - (จ) นั้นแสดงถึงร่องรอยการมีอยู่ของเฟสยางที่ถูกละลายออกไปใน แต่ในภาพที่ 4.8 (ฉ) - (ซ) จะเห็นได้ว่ายังมีเฟสยางอยู่ ซึ่งนั่นแสดงว่ายางนั้นไม่สามารถละลายใน n - hexane ได้เนื่องจากเกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลยางเนื่องมาจาก peroxide ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา

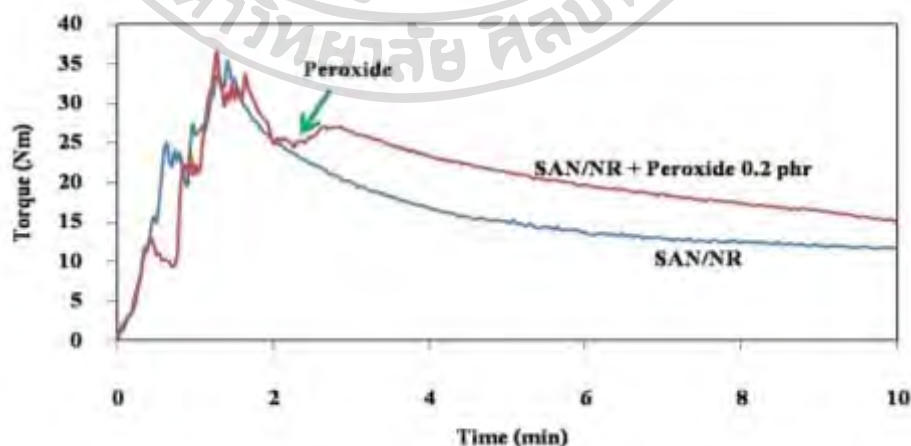
จากสัณฐานวิทยาที่ได้จะพบว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ไม่ได้เติม สารว่องไวปฏิกิริยา (ภาพที่ 4.8 (ก)) นั้นมีการกระจายตัวของเฟสยางในรูปแบบของอนุภาคกลมในเฟสของ SAN ซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่อง ซึ่งลักษณะการกระจายตัวที่สังเกตเห็นได้นั้นมีความไม่สม่ำเสมอ กล่าวคือมีอนุภาคของยางทั้งขนาดใหญ่และเล็กปะปนกัน ซึ่งอนุภาค NR จะมีขนาดประมาณ 5 – 13 μm การที่เฟสยางมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอและมีขนาดใหญ่นั้นเนื่องมาจากการที่พอลิเมอร์ทั้งสองมีแรงดึงผิวที่สูงและมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสที่ต่ำ

เมื่อพิจารณาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม SNM (ภาพที่ 4.8 (ข)) ซึ่งใช้ MA เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา นั้นจะเห็นได้ว่าอนุภาคของยางที่กระจายตัวในเฟสของ SAN นั้นมีขนาดที่เล็กกว่าเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม SN ที่ไม่มีการเติมสารว่องไวปฏิกิริยาใดๆ แต่อย่างไรก็ตามขนาดอนุภาคของยางที่กระจายตัวนั้นก็ยังคงมีความไม่สม่ำเสมออยู่ แต่เมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสม SNS ซึ่งใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น SMA (ภาพที่ 4.8 (ค)) นั้นพบว่าอนุภาคของยางที่กระจายตัวอยู่นั้นมีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเทียบกับ SN และ SNM ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าการใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น MA และ SMA นั้นจะทำให้เกิดการลดลงของขนาดอนุภาคยางอย่างชัดเจน ซึ่งนั่นแสดงว่า MA และ SMA สามารถช่วยลดแรงดึงผิวระหว่างผิวหน้าของทั้งสองเฟส (interface) ของ SAN และ NR และช่วยยับยั้งการกลับมารวมตัวกันของอนุภาคยางในระหว่างการผสมจึงทำให้ขนาดอนุภาคของยางมีขนาดที่เล็กลงได้ [5] และเมื่อพิจารณาความหนืดจากค่าเทอร์คในการผสม (ภาพที่ 4.9) นั้นพบว่าเมื่อมีการใช้ MA และ SMA (SNM และ SNS ตามลำดับ) นั้นจะทำให้มีค่าความหนืดในการหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ไม่ได้เติม สารว่องไวปฏิกิริยา (SN) ซึ่งนั่นสามารถบ่งบอกได้ว่า SMA และ MA สามารถช่วยให้เกิดการเข้ากันได้ในช่วงกระบวนการผสม



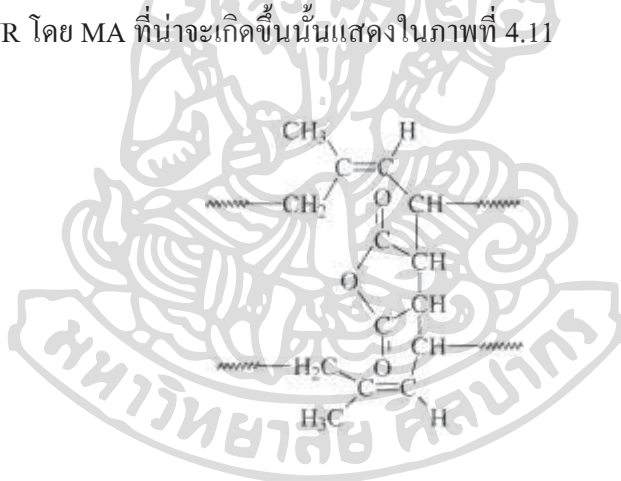
ภาพที่ 4.9 ค่าทอร์ค (torque) ในการหลอมผสมของพอลิเมอร์ผสม SN, SNM และ SNS เป็นเวลา 10 นาที

เมื่อพิจารณาสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์ผสม SNP ที่ใช้สารร่องไวปฏิกิริยาเป็น peroxide เป็น (ภาพที่ 4.8 (ง)) นั้นจะเห็นได้ว่าเฟสของยางที่กระจายตัวอยู่ในเฟสของ SAN นั้นมีขนาดที่ใหญ่กว่า เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม SN และในภาพยังพบยังมียางเหลืออยู่บนผิวหน้าแตกหัก ซึ่งนั่นแสดงว่ายางที่เหลือนั้นไม่สามารถละลายใน n-hexane สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจาก peroxide ที่เติมเข้าไปนั้นจะไปทำให้เกิดการเชื่อมขวางในเฟสของยางและเมื่อพิจารณาค่าทอร์คในการผสม (ภาพที่ 4.10) นั้นก็พบว่าค่าทอร์คในการผสมนั้นเพิ่มสูงขึ้นทันทีที่มีการเติม peroxide ลงไป ซึ่งนั่นบ่งบอกถึงการเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของ NR เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโดยปกติแล้ว peroxide นั้นสามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวางกับยางธรรมชาติได้ง่าย



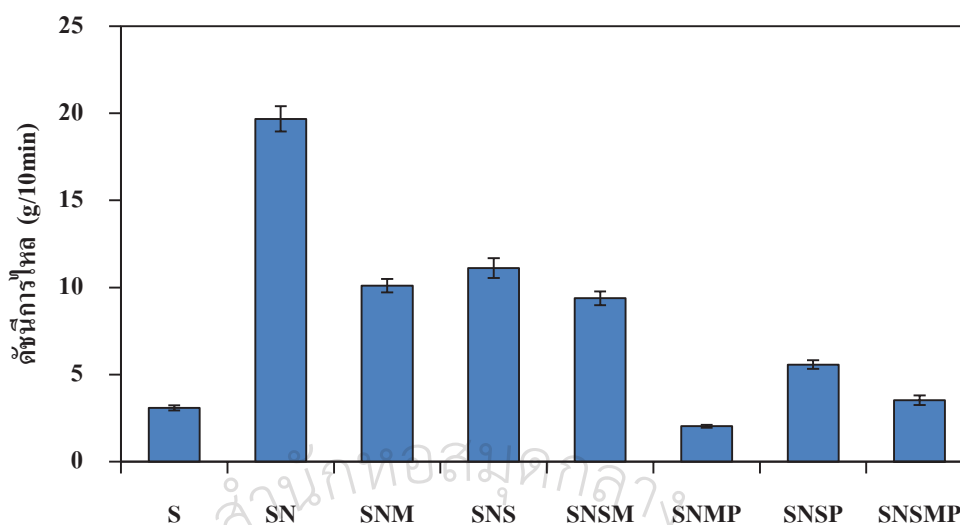
ภาพที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าทอร์คในการผสมกับเวลาของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR และ SAN/NR + Peroxide 0.2 phr

เมื่อพิจารณาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม SNSM ที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น MA และ SMA ร่วมกันนั้นพบว่าอนุภาคภายในเฟสของ SAN นั้นมีขนาดเล็กและเกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ SMA หรือ MA เพียงอย่างเดียวซึ่งนั่นแสดงว่าการใช้ SMA และ MA นั้นสามารถช่วยเสริมการทำงานของกันและกันและช่วยทำให้เกิดความเข้ากันได้ระหว่าง SAN กับ NR มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก SMA นั้นสามารถเข้ากันได้กับ SAN ได้ [15] โดย SMA นั้นจะเข้าไปอยู่ในเฟสของ SAN และ MA นั้นก็จะเข้าไปกราฟต์ลงบนสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ทั้งเฟสของ SAN และยางมีหมู่แอนไฮไดรด์เป็นหมู่ฟังก์ชันเหมือนกัน ทำให้มีสภาพทางเคมีที่คล้ายคลึงกันจึงเกิดความเข้ากันได้มากขึ้น ส่วนพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่มีการใช้สารว่องไวปฏิกิริยา อื่นๆ ร่วมกับ peroxide นั้นพบว่าผิวหน้าแตกหักของชิ้นงานมีเฟสยางขนาดใหญ่และลักษณะของอนุภาคยางไม่มีรูปแบบ โดยเฉพาะระบบผสม SNMP (ภาพที่ 4.8 (ง)) นั้นจะมีเฟสของยางขนาดใหญ่ที่สุด และมีช่องว่างระหว่างเฟสอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมสูตร SNSP และ SNSMP สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจาก MA และ peroxide นั้นจะช่วยเสริมให้เกิดการเชื่อมขวางของยางได้มากขึ้นเนื่องจากปกติแล้ว MA เองก็สามารถทำให้เกิดการเชื่อมขวางในยางได้ [15] ซึ่งปฏิกิริยาการเชื่อมขวางของ NR โดย MA ที่น่าจะเกิดขึ้นนั้นแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 การเกิดการเชื่อมขวางของ NR โมเลกุลด้วย MA ภายใต้ความร้อนและแรงเฉือน [15]

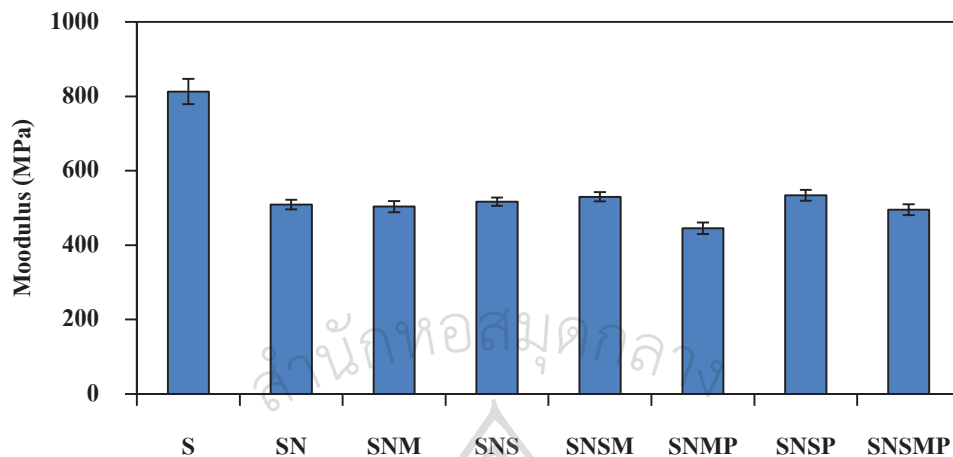
และเมื่อมี peroxide เข้ามาร่วมด้วย peroxide ก็จะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางระหว่าง MA กับยางได้ และนอกจากนี้ peroxide เองยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางที่ดีสำหรับยางด้วย ส่วนการใช้สารว่องไวปฏิกิริยาระหว่าง SMA กับ peroxide นั้นก็มีเฟสยางขนาดใหญ่และมีช่องว่างระหว่างเฟสเกิดขึ้น แต่เมื่อมีการใช้ SMA, MA และ peroxide ร่วมกันนั้นพบว่าเฟสยางนั้นเกิดการเชื่อมขวางขึ้นเช่นกัน แต่พบว่าเฟสของยางนั้นไม่เป็นก้อนขนาดใหญ่อะไรและมีช่องว่างระหว่างเฟสเกิดขึ้นซึ่งนั่นแสดงว่า SMA และ MA นั้นมีส่วนช่วยทำให้เกิดการทำให้เกิดการเข้ากันได้ระหว่าง SAN กับยางได้ดีขึ้น



ภาพที่ 4.12 แผนภูมิแสดงดัชนีการไหลที่ 220 °C ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ไม่ได้เติมและเติมสารว่องไวปฏิกิริยา

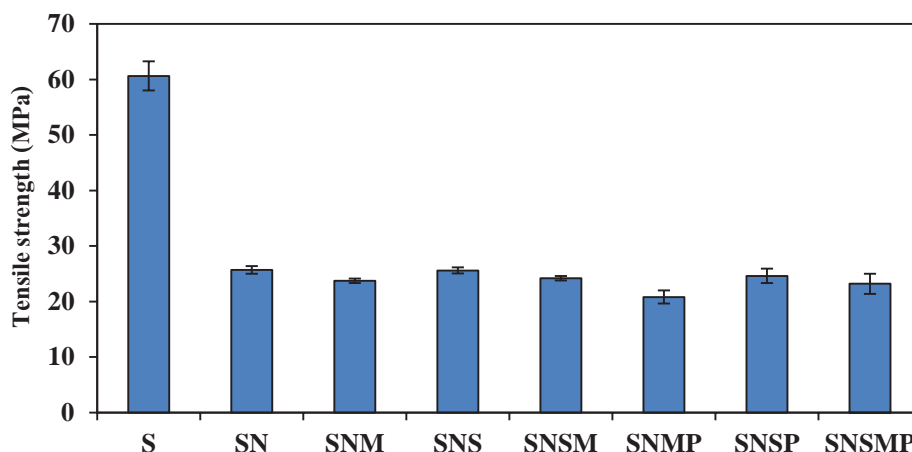
ภาพที่ 4.12 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในสูตรต่างๆ โดยจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อนำ SAN มาผสมกับ NR จะทำให้ค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่าเพิ่มสูงขึ้นจาก SAN ถึง 6 เท่า ซึ่งการลดลงของความหนืดในการหลอมเหลวของ SN นั้นเป็นผลเนื่องมาจาก SAN และ NR ที่ผสมกันนั้นไม่เกิดการเข้ากัน จึงทำให้เกิดการไหลผ่านกันของเฟส SAN และเฟสยางจึงทำให้ค่าความหนืดในสถานะหลอมเหลวลดลง แต่เมื่อมีการเติมสารว่องไวปฏิกิริยา ร่วมในระบบผสมด้วยนั้นจะพบว่าค่าดัชนีการไหลจะลดลง โดยการเติม MA ลงไปนั้นจะทำให้เกิดการลดลงของค่าดัชนีการไหล มากกว่าการเติม SMA ส่วนการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น SMA ร่วมกับ MA นั้นพบว่าจะให้ค่าดัชนีการไหลที่ใกล้เคียงกับการใช้ MA เพียงชนิดเดียว ส่วนในระบบพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้ peroxide ร่วมด้วยทั้ง 3 สูตร ซึ่งได้แก่ SNMP, SNSP และ SNSMP นั้นพบว่าเกิดการลดลงของค่าดัชนีการไหล มากกว่าเมื่อเทียบกับสูตรที่ไม่มีการใช้ peroxide โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสูตร SNMP ทั้งนี้เนื่องมาจาก MA และ peroxide นั้นมีส่วนเสริมกันในการทำให้เกิดการเชื่อมขวางของเฟสของยางมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์วิทยาที่ได้มีการกล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ ส่วน SNSP ซึ่งใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น SMA ร่วมกับ peroxide นั้นจะให้ค่าดัชนีการไหลที่สูงกว่า SNMP และเมื่อมีการใช้ทั้ง SMA, MA และ peroxide เป็นสารว่องไวปฏิกิริยาร่วมกันนั้นพบว่าค่าดัชนีการไหลสูงกว่าการใช้ MA ร่วมกับ peroxide นั้นแสดงว่า SMA นั้นสามารถช่วยหน่วงปฏิกิริยาการเกิดการเชื่อมขวางในเฟสยางโดย

MA และ peroxide ได้ซึ่งผลของดัชนีการไหลที่ได้นี้ก็สอดคล้องกับผลทางด้านสัณฐานวิทยาที่ได้กล่าวมาแล้ว



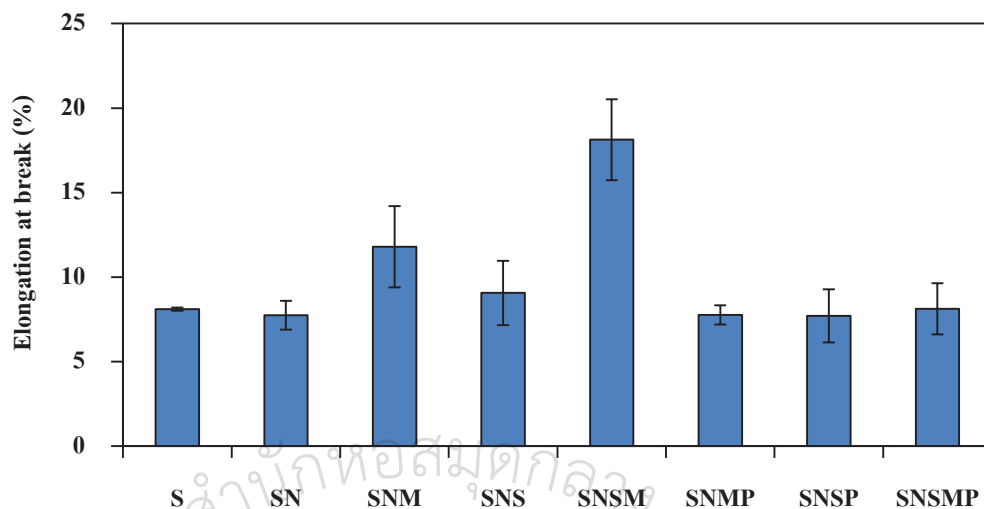
ภาพที่ 4.13 แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

ภาพที่ 4.13 แสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อนำ SAN มาผสมกับยางธรรมชาตินั้นจะทำให้ค่า modulus ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการผสมยางลงไปนั้นจะทำให้ความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปของพอลิเมอร์ผสมลดลงเมื่อเทียบกับ SAN และเมื่อมีการเติมสารว่องไวปฏิกิริยา ลงในพอลิเมอร์ผสมนั้นก็พบว่าค่า modulus มีแนวโน้มคงที่ ยกเว้นกรณีการใช้ MA ร่วมกับ peroxide นั้นพบว่าค่า modulus ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ไม่มีการเติม สารว่องไวปฏิกิริยา และที่มีการเติม สารว่องไวปฏิกิริยา อื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากถ้าพิจารณาพร้อมกับสัณฐานวิทยา (ภาพที่ 4.8 (ค)) นั้นก็เห็นได้ว่าเฟสของยางนั้นมีขนาดใหญ่และเกิดช่องว่างระหว่างเฟสมาก ซึ่งนั่นจึงเปรียบเสมือนเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงานจึงทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง



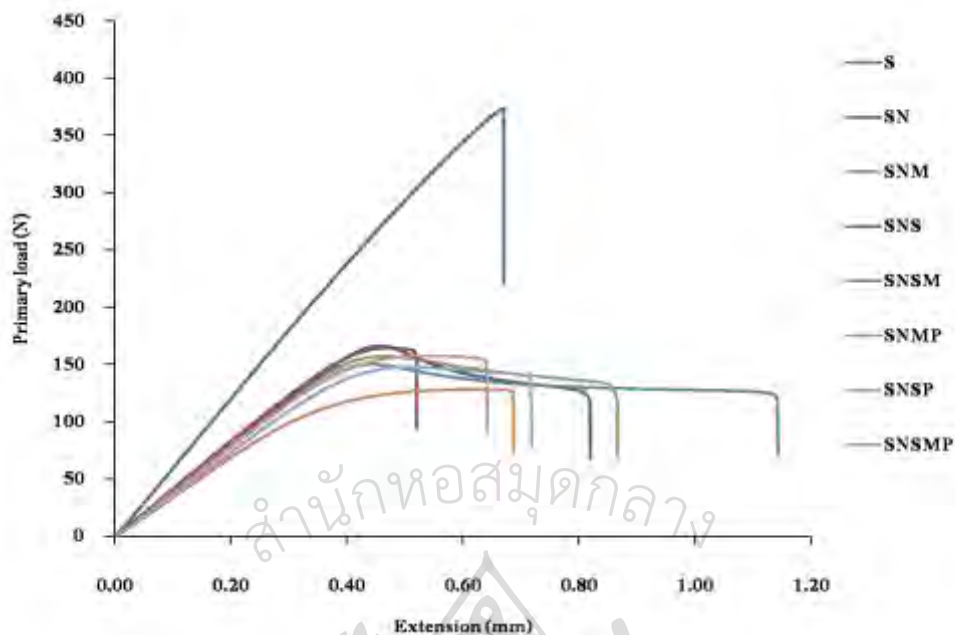
ภาพที่ 4.14 แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

รูปที่ 4.14 แสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อนำ SAN มาผสมกับยางธรรมชาติจะทำให้ค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ลดลงประมาณ 50 % เมื่อเทียบกับ SAN ทั้งนี้เนื่องจาก โดยธรรมชาติของ NR นั้นมี tensile strength ที่ต่ำและไม่สามารถผสมเข้ากับ SAN ได้ ดังนั้นเมื่อได้รับแรงดึงจะเกิดการเคลื่อนที่ผ่านกันของเฟส SAN และ NR ได้ง่ายและเมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่มีการใช้สารว่องไวปฏิกิริยา ในสูตรต่างๆ ก็พบว่าค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ ไม่แตกต่างจากพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN มากนัก ถึงแม้ว่าในพอลิเมอร์ผสมบางสูตร ซึ่งได้แก่ SNM, SNS และ SNSM นั้นจะมีลักษณะพื้นฐานวิทยาที่ละเอียดกว่าซึ่งแสดงถึงความเข้ากันได้ที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับ SN ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก NR ที่กระจายอยู่นั้นยังคงมีคุณสมบัติของยางธรรมชาติปกติและไม่มีความคงรูปจึงเป็นผลทำให้ค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมในสูตรดังกล่าวไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้ peroxide เป็นสารว่องไวปฏิกิริยาร่วม ซึ่งได้แก่ SNMP, SMSP และ SNSMP นั้น ถึงแม้ว่าเฟสของยางจะมีความคงรูปอันเนื่องมาจากการเชื่อมขวางโดย peroxide และทำให้ยางแข็งขึ้น แต่ก็พบว่าลักษณะของเฟสยางที่เชื่อมขวางนั้นมีขนาดใหญ่และกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ จึงเปรียบเสมือนเป็นจุดบกพร่องในชิ้นงาน ส่งผลทำให้ tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมในสูตรดังกล่าวไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม SN โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสูตร SNMP นั้นมีพื้นฐานวิทยาที่มีก้อนยางขนาดใหญ่กว่าสูตรอื่นๆ จึงทำให้มีค่า tensile strength ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสม SN อย่างเห็นได้ค่อนข้างชัดเจน



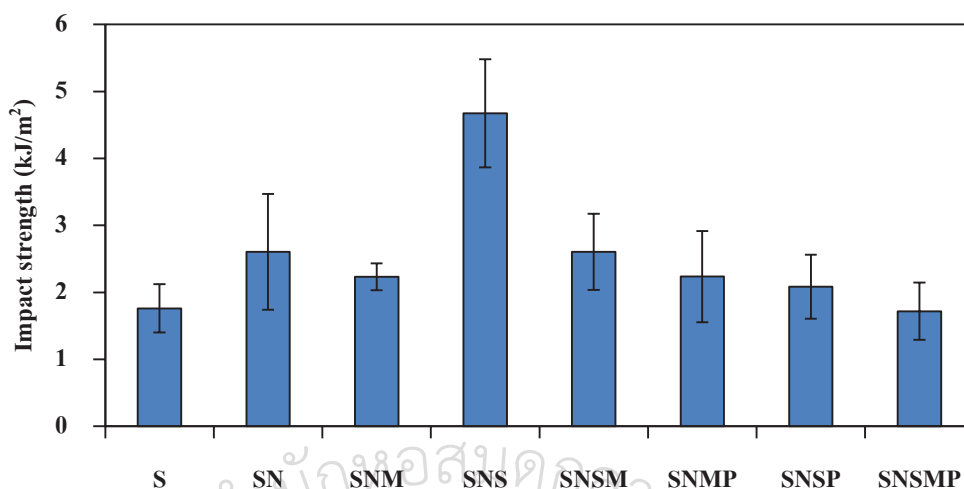
ภาพที่ 4.15 แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

แต่เมื่อทำการพิจารณาค่า % elongation at break ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.15 ก็พบว่าเมื่อนำ SAN มาผสมกับยางนั้นจะทำให้ค่า % elongation at break มีแนวโน้มคงที่ แต่เมื่อมีการใช้ MA, SMA หรือ MA ร่วมกับ SMA (สูตร SNM, SNS และ SNSM ตามลำดับ) พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่า % elongation at break เพิ่มขึ้น โดยที่ SNSM นั้นจะมีค่า % elongation at break สูงที่สุด ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากพอลิเมอร์ผสมในสูตรนี้นั้นมีการกระจายตัวของอนุภาค NR ที่มีขนาดเล็กที่สุดซึ่งเกิดอันมาจากความเข้ากันได้ระหว่าง SAN และ NR ซึ่งขนาดอนุภาค NR ที่มีขนาดเล็กนี้จะสามารถเกิดการยึดได้มากกว่าอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่ และเมื่อพิจารณาการใช้สารว่องไวปฏิกิริยาที่มี peroxide อยู่ด้วยนั้นพบว่าค่า % elongation at break มีแนวโน้มคงที่เมื่อเทียบกับการไม่เติม สารว่องไวปฏิกิริยาใดๆ และมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในสูตรที่ไม่เติม peroxide ทั้งนี้เนื่องมาจากการใช้ peroxide ในระบบการผสมนั้นจะทำให้เฟสของยางเกิดการเชื่อมขวางและทำให้เกิดเป็นก้อนยางขนาดใหญ่และมีขนาดไม่สม่ำเสมอขึ้น จึงเปรียบเสมือนเป็นจุดบกพร่องที่ทำให้ชิ้นงานยึดออกได้ไม่มาก



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงและระยะยืด จากการทดสอบการดึงยืดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ MA, SMA และ peroxide

จากภาพที่ 4.16 นั้นแสดงให้เห็นว่า SAN (S) นั้นมีพฤติกรรมการแตกหักแบบเปราะ (brittle) คือมีค่า modulus เริ่มต้นสูงและยืดได้น้อย โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (permanent deformation) ก่อนการแตกหัก แต่เมื่อนำ SAN มาผสมกับ NR (SN) นั้นพบว่ากราฟการดึงยืดที่ได้นั้นมีลักษณะเปลี่ยนไป โดยมี modulus เริ่มต้นที่ต่ำกว่า SAN และมีจุดคราก (yield point) ซึ่งบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบหดรัดได้ (elastic deformation) ไปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (permanent deformation) เกิดขึ้น แต่สามารถดึงยืดได้น้อย ส่วนพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่มีการเติม สารว่องไวปฏิกิริยา ในสูตร SNS, SNM และ SNSM นั้นแสดงให้เห็นลักษณะของกราฟการดึงยืดที่เปลี่ยนไปอย่างชัดเจน โดยจะแสดงพฤติกรรมการแตกหักแบบเหนียว (ductile) และเกิด cold drawing หลังจากจุด yield point ซึ่งการ cold drawing นั้นบ่งบอกถึงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลในทิศทางการดึง โดยพอลิเมอร์ผสมสูตร SNSM นั้นจะสามารถดึงยืดได้มากที่สุด ส่วนพอลิเมอร์ผสมในสูตรที่มีการใช้ peroxide ร่วมด้วย ซึ่งได้แก่ SNMP, SNSP และ SNSMP นั้นจะมีลักษณะของกราฟการดึงยืดที่แตกต่างไป คือจะไม่เห็นการเกิด cold drawing ภายหลังจากจุด yield point ขึ้น แต่ยังสามารถยืดได้มากกว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN



ภาพที่ 4.17 แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

ภาพที่ 4.17 แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในสูตรต่างๆ โดยจากผลการทดลองนั้นจะพบว่าเมื่อนำ SAN มาผสมกับ NR จะทำให้ค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อมีการใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบการผสมด้วยก็พบว่า การใช้ SMA เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา (SNS) นั้นจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่า impact strength ได้มากกว่าการใช้ MA ทั้งนี้จะเป็นผลเนื่องมาจาก SMA ที่เติมลงไปนั้นเป็นโคพอลิเมอร์ ดังนั้นในระบบที่ใช้ SMA นั้น เปรียบเสมือนว่ามีพอลิเมอร์ผสมอยู่ 3 เฟส โดย SMA นี้จะผสมเข้ากันได้กับ SAN จึงเข้าไปอยู่ในเฟสของ SAN ซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสต่อเนื่อง และช่วยทำให้ SAN สามารถรับแรงกระแทกได้มากกว่ากรณีที่ใช้ MA ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีโมเลกุลเล็ก ซึ่ง MA นั้นจะเข้าไปเกิดการกราฟต์ในเฟสของ NR มากกว่าเข้าไปอยู่ในเฟสของ SAN แต่เมื่อมีการใช้สารว่องไวปฏิกิริยาร่วมกันระหว่าง SMA และ MA นั้นก็พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้ (SNSM) มีค่า impact strength สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ MA (SNM) แต่มีค่า impact strength ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ SMA (SNS) ทั้งนี้เป็นมาจาก SMA นั้นไปช่วยเสริมการทำงานของ MA โดยเข้าไปอยู่ในเฟสของ SAN ทำให้สามารถรับแรงกระแทกได้ดีกว่าการใช้ MA เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ MA, SMA และ Peroxide เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา

สูตร	Glass transition temperature (°C)	
	NR	SAN
NR	-66.89	-
SAN	-	98.63
SN	-63.11	91.01
SNM	-64.02	91.73
SNS	-64.07	94.87
SNSM	-66.56	90.53
SNMP	-66.63	92.57
SNSP	-67.81	91.37
SNSMP	-67.99	93.18

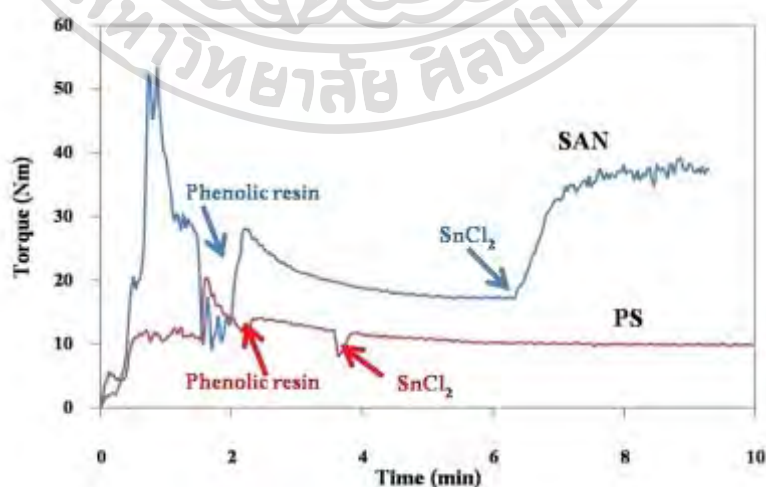
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า glass transition temperature (T_g) ของพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ โดยค่า T_g ของ NR นั้นอยู่ที่ $-66.89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่วน SAN นั้นมีค่า T_g อยู่ที่ $98.63\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อนำ SAN และ NR มาผสมกันโดยไม่มีการเติมสารว่องไวในการเกิดปฏิกิริยานั้นพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า T_g เกิดขึ้น โดยในเฟสของ NR นั้นมี T_g เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก SAN ที่ผสมเข้าไปจะแทรกตัวอยู่ในเฟสของ NR ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลของ NR ได้ยาก T_g จึงสูงขึ้น ส่วนในเฟสของ SAN นั้นพบว่าค่า T_g ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการนำ SAN ผสมกับ NR นั้นจะทำให้ SAN มี free volume เพิ่มมากขึ้น จึงเกิดการเคลื่อนไหวของสายโซ่โมเลกุลได้ง่าย T_g จึงต่ำลง และเนื่องจากในหัวข้อที่ 4.2 นั้นแสดงให้เห็นว่าการผสมของ SAN และ NR โดยที่ไม่มีการเติมสารที่มีความว่องไวปฏิกิริยา นั้นแสดงถึงความไม่เข้ากันได้ ดังนั้นแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวเป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญหรือกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN และ NR นั้นไม่สามารถผสมเข้ากันได้ ส่วนพอลิเมอร์ผสมในสูตรอื่นๆ ที่มีการเติมสารว่องไวปฏิกิริยาก็ให้ผลเช่นเดียวกันกับกรณีของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมสารว่องไวปฏิกิริยา

จากการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ MA, SMA และ peroxide เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา นั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสม SNSM นั้นมีลักษณะของสัณฐานวิทยาที่ละเอียดและสม่ำเสมอซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดความเข้ากันได้ระหว่างเฟสของ SAN กับเฟสของยางมากขึ้น และมีค่า %elongation at break สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ผสม SNSM นั้นยังมีค่า impact strength ที่ต่ำกว่า SNS

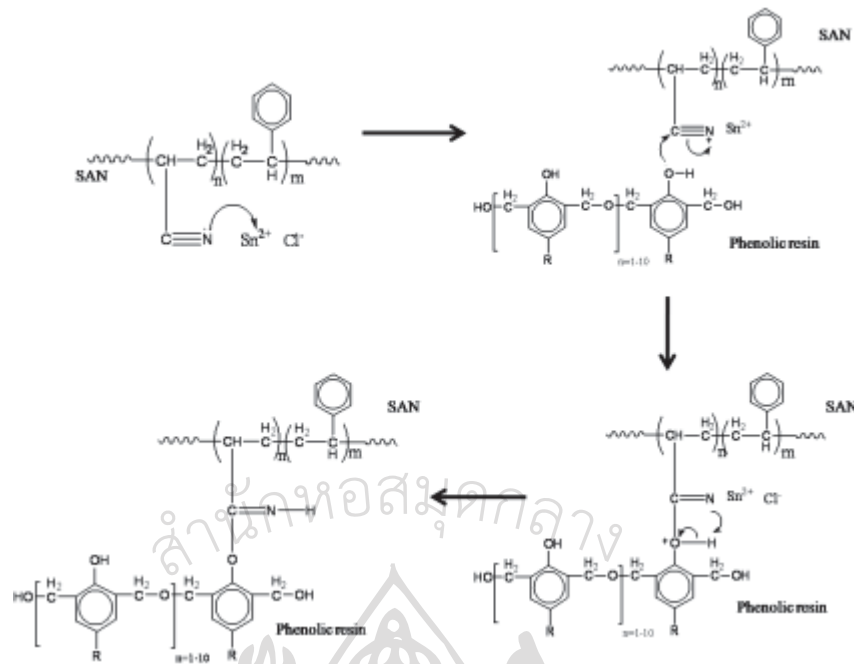
ซึ่งจากการศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide นั้นก็พบว่าพอลิเมอร์สูตร SNS และ SNSM นั้นมีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ

4.4 การศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ phenolic resin

ในหัวข้อที่ผ่านมาได้เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN/NR โดยใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide ส่วนในหัวข้อนี้จะเป็นการเปลี่ยนชนิดของสารว่องไวปฏิกิริยาเป็น phenolic resin ซึ่งเหตุผลที่เลือกใช้ phenolic resin ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN กับ NR เนื่องจาก phenolic resin นี้สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางในเฟสของยางได้เมื่อใช้ SnCl_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และนอกจากนี้เมื่อทดลองนำ SAN มาผสมกับ phenolic resin และใช้ SnCl_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่ากราฟแสดงพฤติกรรมการหลอมของ SAN ในภาพที่ 4.18 นั้นพบว่าค่าทอร์คในการผสมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเติม phenolic resin และ SnCl_2 ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าทอร์คนั้นบ่งบอกได้ว่า phenolic resin ที่ใช้ร่วมกับ SnCl_2 นั้นสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางใน SAN และเมื่อทดลองผสม phenolic resin ร่วมกับ SnCl_2 ในพอลิสไตรีน (PS) นั้นพบว่าไม่เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าทอร์คหลังจากเติม phenolic resin และ SnCl_2 ซึ่งผลดังกล่าวน่าจะน่าช่วยบ่งบอกได้ว่า ปฏิกิริยาการเชื่อมขวางที่เกิดขึ้นนั้นน่าจะเกิดผ่านที่หมู่อะคริโลไนไตรล์ของ SAN เนื่องจาก SAN กับ PS นั้นมีความแตกต่างกันตรงหมู่อะคริโลไนไตรล์ ซึ่งปฏิกิริยาที่ น่าจะเกิดขึ้นนั้นแสดงในภาพที่ 4.19



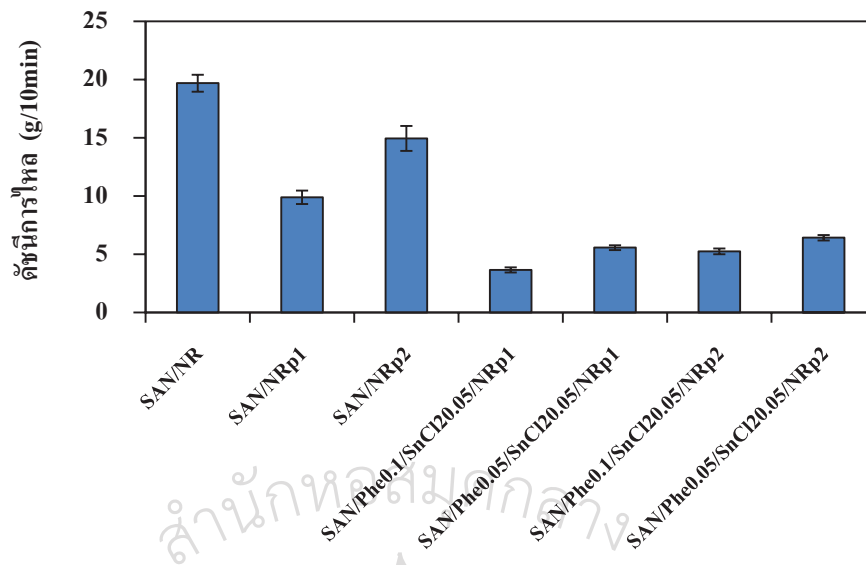
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงพฤติกรรมการหลอมของ SAN และ PS ที่มีการเติม phenolic resin 0.5 phr ร่วมกับ SnCl_2 0.1 phr



ภาพที่ 4.19 ปฏิกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่าง SAN และ phenolic resin ซึ่งใช้ SnCl₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

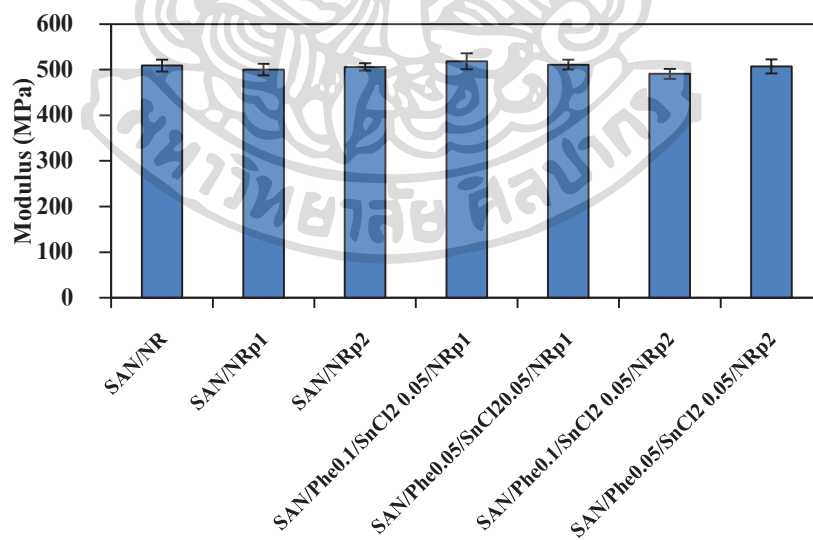
จากภาพที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของ phenolic resin นั้นจะทำปฏิกิริยากับหมู่อะคริโลไนไตรล์เมื่อมี SnCl₂ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และเนื่องจาก phenolic resin หนึ่งสายโซ่นั้นมีไฮดรอกซิลหลายหมู่จึงให้สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่อะคริโลไนไตรล์ของ SAN ได้หลายหมู่ ส่งผลทำให้เกิดการเชื่อมขวางเกิดขึ้น

เมื่อทำการผสม SAN กับ NRp1 และ NRp2 ซึ่ง NRp ทั้งสองชนิดนี้เป็นยางที่มีการใช้ phenolic resin เท่ากันคือ 0.5 phr แต่มีปริมาณของ SnCl₂ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของ phenolic resin แตกต่างกัน โดย NRp1 มี SnCl₂ 0.26 phr และ NRp2 มีปริมาณของ SnCl₂ 0.05 phr พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสม SAN กับ NR ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่าการใช้ NR ที่มี phenolic resin เป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางนั้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความหนืดในการหลอมเหลวสูงขึ้น เนื่องจากการเกิดการเชื่อมขวางขึ้นในระหว่างกระบวนการผสม [24] และเมื่อพิจารณาสูตรการผสม ผสมของ SAN, NRp1 (หรือ NRp2) และมีการเติม phenolic resin และ SnCl₂ เพิ่มเข้าไปอีกนั้นก็พบว่าค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าการใช้ SAN ผสมกับ NRp1 หรือ NRp2 เพียงอย่างเดียว ซึ่งนั่นอาจเกิดเนื่องจาก phenolic resin และ SnCl₂ ที่เติมลงไปนั้นไปทำให้เกิดการเชื่อมขวางของ SAN และ NR เพิ่มขึ้น (ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในภาพที่ 4.18) ส่งผลทำให้ความหนืดสูงขึ้น



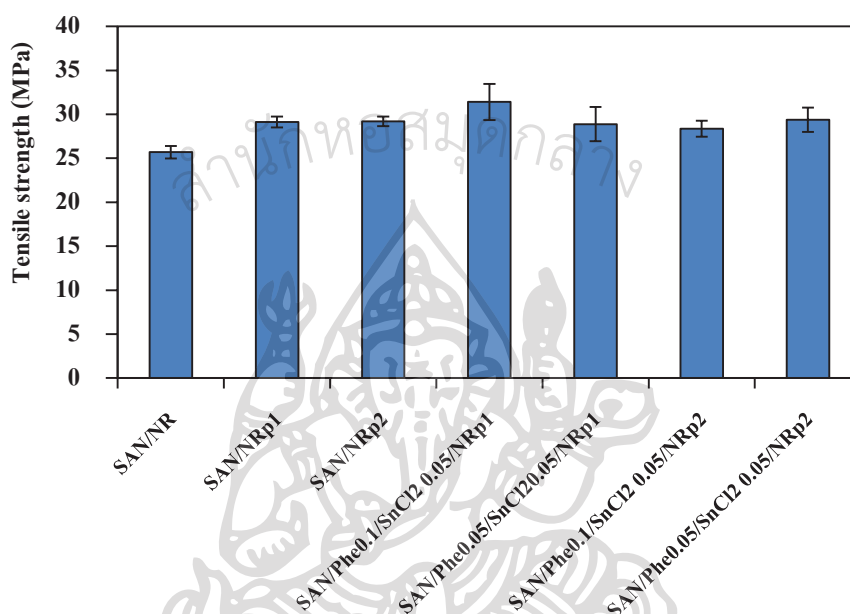
ภาพที่ 4.20 แผนภูมิแสดงดัชนีการไหลที่ 220°C ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ไม่ได้เติมและเติมสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบของ phenolic resin

เมื่อพิจารณาสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ phenolic resin นั้น ก็พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้นี้มีค่า modulus ก่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในสูตร SAN/NR (ภาพที่ 4.21)



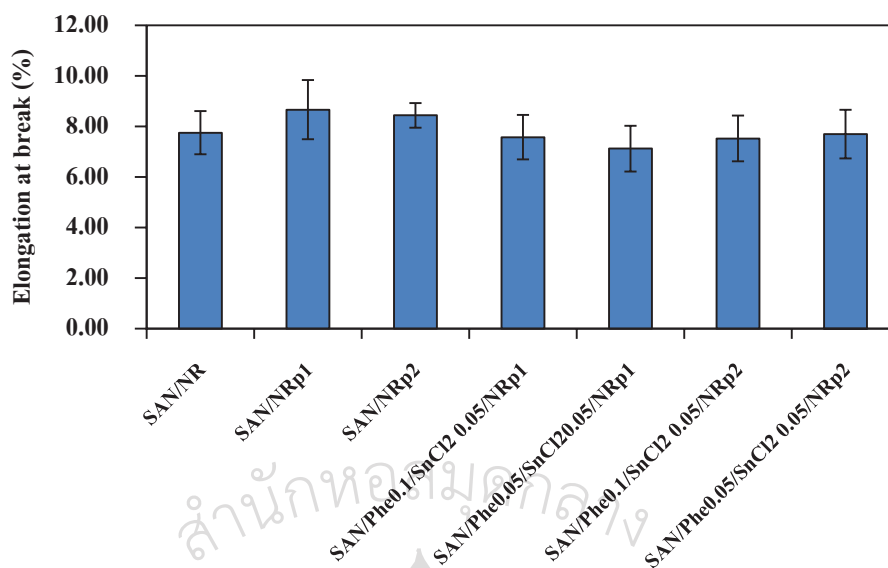
ภาพที่ 4.21 แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin

แต่เมื่อพิจารณาค่า tensile strength ในภาพที่ 4.22 นั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ phenolic resin นั้นมีค่า tensile strength ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในสูตร SAN/NR ซึ่งนั่นน่าจะเป็นผลมาจากยาง NRp1 และ NRp2 เกิดการเชื่อมขวางและ phenolic resin ที่เติมลงไปนั้นก็จะทำให้เกิดการเชื่อมขวางของเฟส SAN ได้ในระหว่างกระบวนการผสม เป็นผลให้ความแข็งแรงต่อการดึงเพิ่มมากขึ้น เมื่อเทียบกับ SAN/NR ซึ่งเฟสของยางไม่ได้เกิดการเชื่อมขวาง



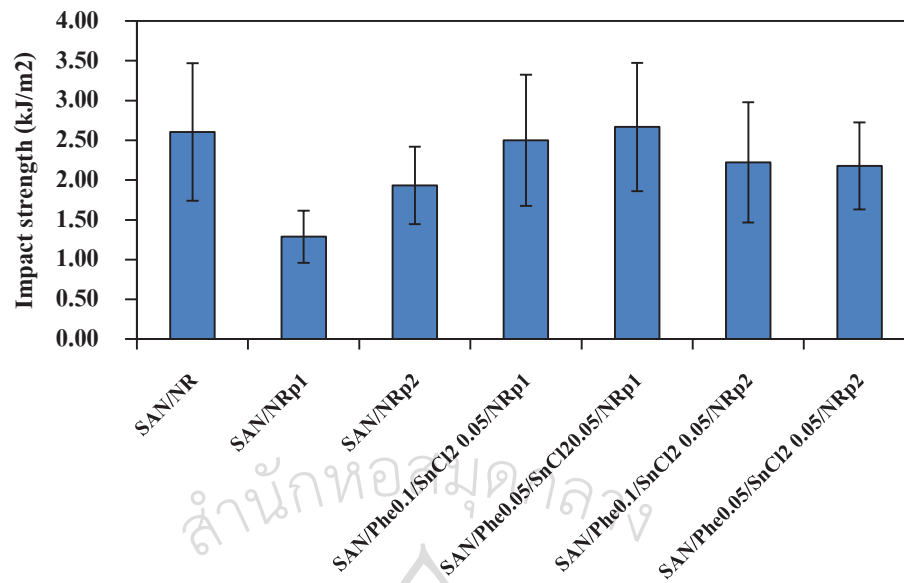
ภาพที่ 4.22 แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin

เมื่อพิจารณาค่า % elongation at break ภาพที่ 4.23 พบว่าการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN กับ NRp1 และ NRp2 นั้นจะทำให้ค่า % elongation at break เพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ซึ่งนั่นแสดงว่า phenolic resin ในขงนั้นน่าจะทำให้เกิดการเชื่อมขวางกับเฟสของ SAN ได้เนื่องจาก phenolic resin ที่อยู่ในเฟสของ NR นั้นก็มีโอกาสที่จะมาเกิดปฏิกิริยาในเฟสของ SAN ได้ ส่วนในสูตรที่มีการเติม phenolic resin และ SnCl₂ เพิ่ม phenolic resin ที่เติมเพิ่มเข้าไปนั้นก็จะไปเกิดปฏิกิริยาได้ทั้ง SAN และ NR ซึ่งจะนำไปสู่การเชื่อมขวางกันระหว่างเฟสได้ ดังนั้นจึงทำให้ % elongation at break เพิ่มสูงขึ้น

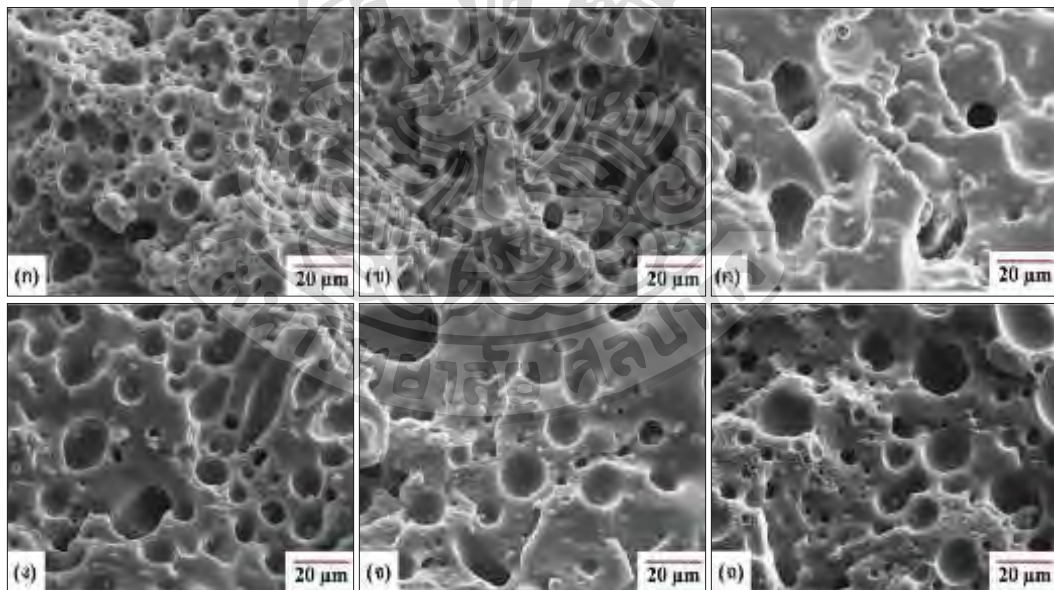


ภาพที่ 4.23 แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.24 พบว่าค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมของ SAN/NR ในระบบ phenolic resin นี้มีค่าต่ำกว่าของพอลิเมอร์ผสมสูตร SAN/NR โดยเฉพาะพอลิเมอร์ผสมในสูตร SAN/NRp1 และ SAN/NRp2 นั้นมีค่า impact strength ต่ำกว่า SAN/NR มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเกิดการ crosslink ในเฟสของ NR เนื่องมาจาก phenolic จึงทำให้อนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่มีขนาดใหญ่ประมาณ 10 μm (ภาพที่ 4.25) โดยเฉพาะสูตรการผสมที่มีการเติม phenolic resin เข้าไประหว่างการผสมนั้นจะเห็นได้ว่าร่องรอยของเฟสยางที่กระจายตัวอยู่นั้นมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน กล่าวคือมีทั้งเป็นแบบทรงกลมและลักษณะที่เป็นรอยขีดยาวของยาง และพบว่าการเติม phenolic 0.1 phr จะมีเฟสของยางเคลือบอยู่บนผิวหน้าของชิ้นงาน ซึ่งบ่งบอกถึงว่าเฟสของ NR บางส่วนไม่ละลายใน n-hexane ซึ่งน่าจะเกิดเนื่องมาจากการที่ยางนั้นเกิดการเชื่อมขวางมากขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการละลายใน n-hexane นั้นลดลง



ภาพที่ 4.24 แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารร่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin



ภาพที่ 4.25 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง SAN/NR ในอัตราส่วน 75/25: (ก) SAN/NRp1 (ข) SAN/NRp2 (ค) SAN/Phe0.1/SnCl2 0.05/NRp1 (ง) SAN/Phe0.05/SnCl2 0.05/NRp1 (จ) SAN/Phe0.1/SnCl2 0.05/NRp2 (ฉ) SAN/Phe0.05/SnCl2 0.05/NRp1 ที่สกัดเฟสยางออกโดยใช้ n-hexane

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ phenolic resin

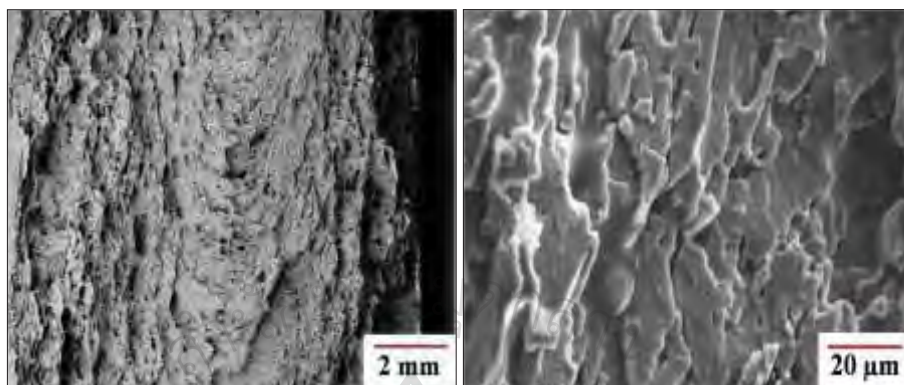
สูตร	Glass transition temperature (°C)	
	NR	SAN
NR	-66.89	-
SAN	-	98.63
SAN/NRp1	-65.19	97.54
SAN/NRp2	-65.35	99.54
SAN/Phe0.1/SnCl20.05/NRp1	-63.56	100.80
SAN/Phe0.05/SnCl20.05/NRp1	-64.09	97.02
SAN/Phe0.1/SnCl20.05/NRp2	-65.18	96.55
SAN/Phe0.05/SnCl20.05/NRp2	-64.60	97.00

จากตารางที่ 4.4 นั้นพบว่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมในระบบ phenolic resin นั้นเกิดการเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ T_g ของ NR และ SAN แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลง T_g ของพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN นั้นพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ดังนั้นแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin นั้นไม่มีนัยสำคัญที่จะบ่งบอกถึงความเข้ากันได้ระหว่าง SAN และ NR

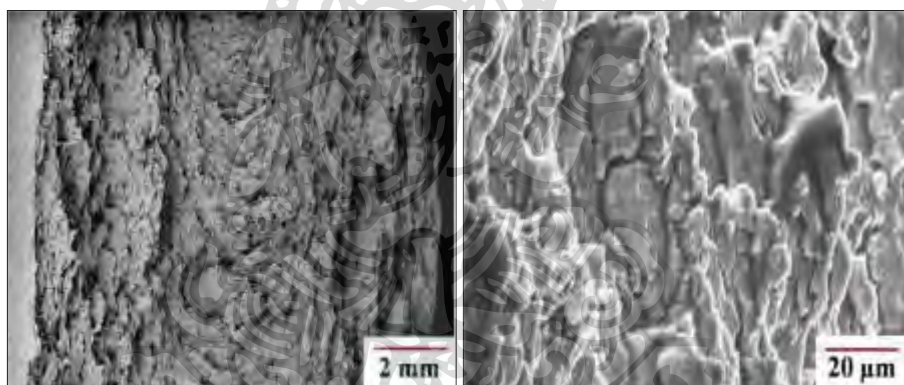
4.5 การศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ SMA, MA และ peroxide โดยกระบวนการอัดรีด (extrusion)

จากการศึกษาผลอิทธิพลของชนิดสารว่องไวปฏิกิริยา ทั้งสองระบบ ได้แก่ระบบ MA, SMA และ peroxide และระบบ phenolic resin ในเครื่องผสมแบบปิด พบว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น SMA และ MA ร่วมกับ SMA (สูตร SNS และ SNSM ตามลำดับ) ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่า % elongation at break และ impact strength สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตรอื่นๆ ทั้งในระบบ MA, SMA และ peroxide ด้วยกันเองและระบบ phenolic resin ดังนั้นจึงได้เลือกพอลิเมอร์สองสูตรที่ให้ผลดีที่สุดนี้ ไปทำการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (twin screw extruder) เพื่อศึกษาการผสมในกระบวนการอัดรีด ซึ่งพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้นั้นจะถูกนำไปขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (injection molding) ซึ่งผลที่ได้พบว่าชิ้นงานที่ได้นั้นมีผิวภายนอกที่เรียบ แต่เมื่อลองหักชิ้นงานดูพบว่าผิวภายนอกของชิ้นงานนั้น

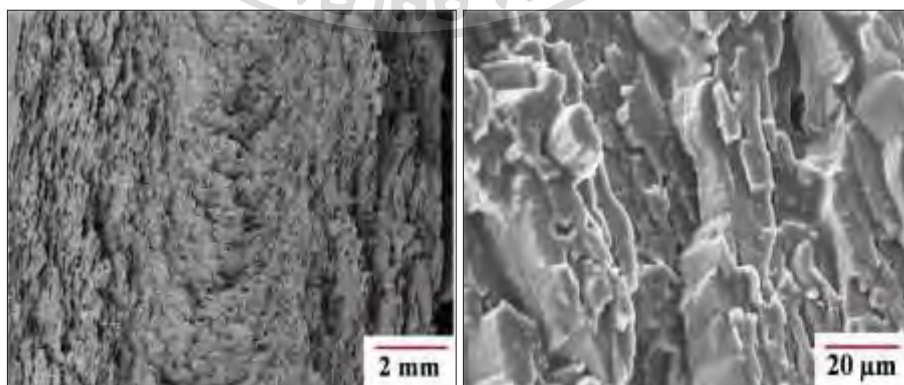
สามารถลอกออกได้ และเมื่อนำชิ้นงานแตกหักที่ผ่านการทดสอบการรับแรงกระแทกแล้วนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM ซึ่งสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นแสดงในภาพที่ 4.26



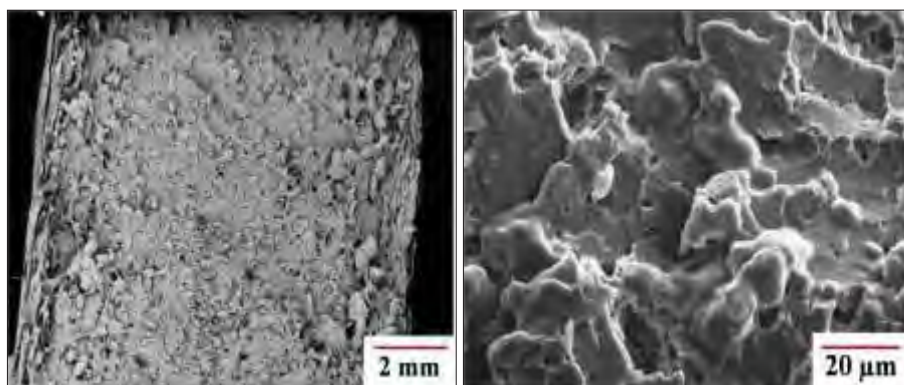
(ก)



(ข)



(ค)

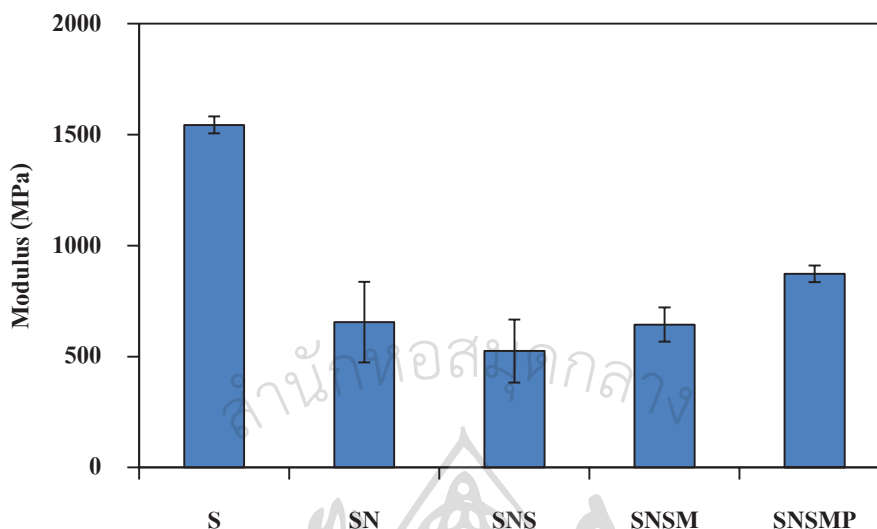


(ง)

ภาพที่ 4.26 แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวแตกหักของ ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25): (ก) SN (ข) SNS (ค) SNSM และ (ง) SNSMP

ซึ่งจากภาพที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN, SNS และ SNSM (ภาพที่ 4.26 (ก), (ข), (ค)) นั้นมีสัณฐานวิทยาที่มีลักษณะเป็นชั้นและแผ่น เมื่อเพิ่มกำลังขยายขึ้นก็พบว่าเฟสของยางที่กระจายตัวอยู่ในเฟสต่อเนื่องของ SAN นั้นไม่มีรูปแบบของเฟสยางที่แน่นอน แต่เฟสยางจะแทรกอยู่ระหว่างชั้นของเฟส SAN ซึ่งลักษณะสัณฐานวิทยาดังกล่าวนั้นแตกต่างจากสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิดอย่างมาก โดยเฉพาะพอลิเมอร์ผสมในสูตร SNSM (ภาพที่ 4.8 (จ)) ซึ่งจากการผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิด นั้นจะทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคยางขนาดเล็กและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมหลอมอยู่ที่บริเวณทางออกเป็นเวลานานจึงทำให้ SAN กับ NR ที่เข้ากันได้ไม่ดี นั้นเกิดการกลับมารวมตัวกันของอนุภาค NR และเนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองตัวมีความหนืดต่างกันจึงเกิดการไหลไม่พร้อมกันเมื่อถูกดึงออกมาจากเครื่องอัดรีดจึงทำให้เกิดการแยกออกจากกันในลักษณะที่เป็นชั้น นอกจากนี้อีกปัจจัยหนึ่งที่น่าจะส่งผลต่อเหตุการณ์ดังกล่าว คือลักษณะของเครื่องผสม โดยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมสำหรับงานวิจัยนี้เป็นเครื่องผสมสำหรับเตรียม PVC compounding จึงมีแรงเฉือนที่ต่ำกว่าการผสมในเครื่องผสมแบบปิดที่ใช้ rotors ชนิด roller ซึ่งเป็น rotor สำหรับหลอมผสมพลาสติกซึ่งจะให้แรงเฉือนที่สูงกว่า จึงทำให้เกิดการกระจายตัวของเฟสยางเป็นอนุภาคขนาดเล็กและกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ในสูตร SNSMP (ภาพที่ 4.26 (ง)) นั้นพบว่าลักษณะของสัณฐานวิทยานั้นคล้ายกับสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการผสมในเครื่องผสมแบบปิด โดยลักษณะผิวหน้าของชิ้นงานจะไม่พบการแยกตัวกันเป็นชั้นๆ แต่จะเห็นเฟสของยางเป็นก้อนกระจายตัวอยู่บนผิวหน้าของชิ้นงาน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเติม

peroxide ลงไปนั้นจะไปทำให้เฟสของยางเกิดการเชื่อมขวางทำให้เกิดการคงรูปและไม่เกิดการแยกชั้นของเฟสยางกับ SAN

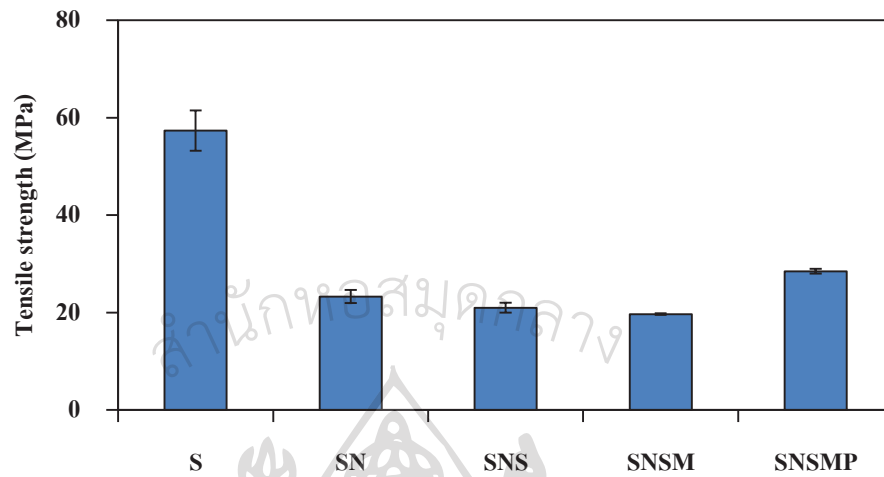


ภาพที่ 4.27 แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide ที่ได้จากการบวกรวบรวมการอัดรีด

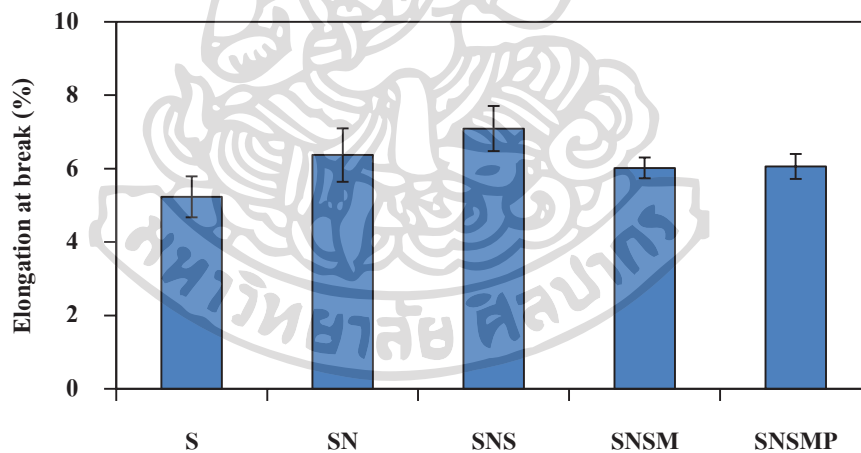
จากภาพที่ 4.27 แสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมในสูตรต่างๆ ซึ่งพบว่าค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับ NR (สูตร SN) นั้นจะทำให้ค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ลดลงเมื่อเทียบกับ SAN นั้นแสดงว่าการผสมยางลงใน SAN นั้นจะทำให้ความต้านทานในการเปลี่ยนรูปของ SAN ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่มีเติม SMA (สูตร SNS) พบว่าค่า modulus จะลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อมีการใช้ SMA ร่วมกับ MA (SNSM) นั้นพบว่าค่า modulus จะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้ SMA เป็น สารว่องไวปฏิกิริยา เพียงอย่างเดียว และเมื่อมีการใช้ peroxide ร่วมกับ SMA และ MA นั้นก็พบว่า modulus นั้นมีค่าสูงกว่าสูตรที่ไม่มีได้เติม peroxide ซึ่งจากการพิจารณาหลักฐานวิทยานั้นก็พบว่าในกรณีที่ไม่มี peroxide ลักษณะสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีลักษณะที่เป็นขั้นๆ ส่วนสูตรที่มี peroxide นั้นจะเห็นได้ว่าเฟสของ SAN ในพอลิเมอร์ผสมนั้นยังคงมีลักษณะที่เป็นผิวต่อเนื่องอยู่จึงทำให้มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปได้ดีกว่า

เมื่อพิจารณาค่า tensile strength ในภาพที่ 4.28 นั้นจะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN, SNS และ SNSM นั้นมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน แต่ในสูตร SNSMP ซึ่งใช้ SMA, MA และ peroxide เป็น สารว่องไวปฏิกิริยา ร่วมกันนั้นจะมีค่า tensile strength สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตรอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดเจนนี่น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากสัญญาณวิทยา ซึ่งพอลิเมอร์ผสมสูตร SN, SNS และ SNSM นั้นมีเฟสของ SAN ในลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องโดยจะมีลักษณะเป็นขั้นๆ แต่ ใน SNSMP นั้นพบว่าเฟสของ SAN ยังคงมีความต่อเนื่องอยู่จึงทำให้มีความแข็งแรงถึงที่สูงกว่า

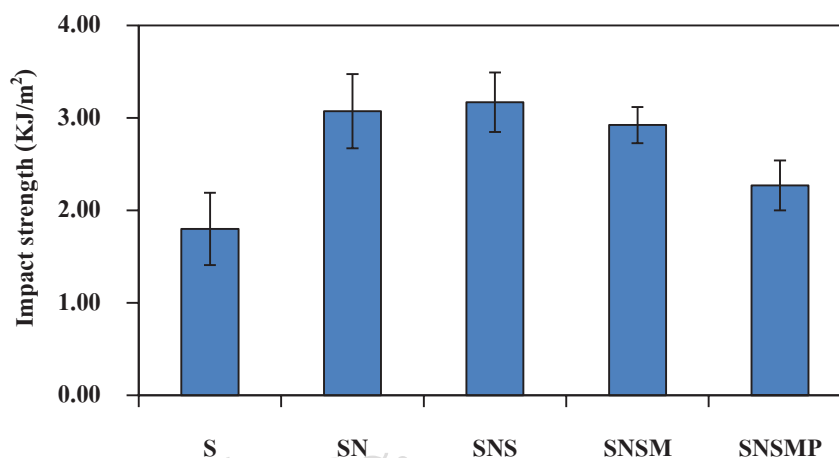
เมื่อพิจารณาค่า % elongation at break ในภาพที่ 4.29 นั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN, SNS และ SNSM นั้นมีค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ SAN เนื่องจากยางที่แทรกตัวอยู่ในเฟสของ SAN นั้นจะทำให้เกิดการดึงยืดได้มากขึ้น



ภาพที่ 4.28 แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide ที่ได้จากกระบวนการอัดรีด



ภาพที่ 4.29 แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ MA, SMA และ Peroxide เป็น สารว่องไวปฏิกิริยา ที่ได้จากกระบวนการอัดรีด



ภาพที่ 4.30 แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ Peroxide ที่ได้จากกระบวนการอัดรีด

เมื่อพิจารณาค่า impact strength (ภาพที่ 4.30) ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสมสูตร SN, SNS และ SNSM นั้นมีค่า impact strength ที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น SMA, MA และ peroxide เป็น ร่วมกันจะทำให้ค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ได้ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในสูตร SN ทั้งนี้เนื่องจากในสูตร SNSMP นั้นมีก้อนยางขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่ซึ่งก้อนยางขนาดใหญ่นี้จะเปรียบเสมือนเป็น จุดบกพร่องในชิ้นงานทำให้มีค่า impact strength ที่ต่ำ

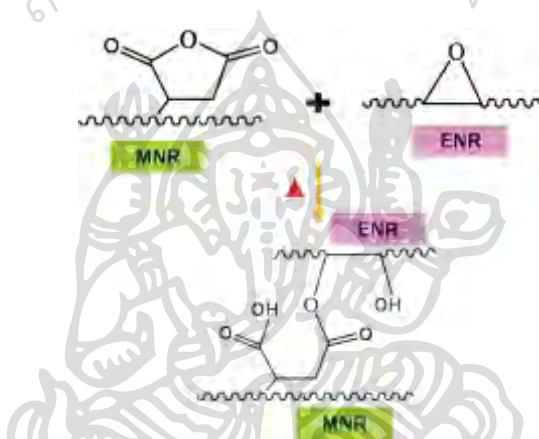
ซึ่งจากการศึกษานั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น MA, SMA และ Peroxide โดยผสมในกระบวนการอัดรีด และขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูป นั้นทำให้เกิดความไม่เสถียรของเฟสยางและทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมนั้นลดลง ซึ่งทั้งนี้เนื่องจากเฟสยางที่ใช้ นั้นไม่มีความคงรูปจึงทำให้เกิดการกลับมารวมตัวกันได้อีกและเกิดการแยกเฟสกันระหว่าง SAN และ NR อย่างชัดเจน

ดังนั้นในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของ SAN กับยางที่ขึ้นรูปในกระบวนการอัดรีดนั้นจะต้องทำให้เฟสของยางมีความคงตัวเพื่อไม่ให้เกิดการกลับมารวมตัวของ NR ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป และสามารถกระจายตัวได้ดี และขณะเดียวกันเฟสของยางที่กระจายตัวนั้นก็จะต้องมีขนาดที่พอเหมาะ ไม่เล็กหรือใหญ่เกินไปเพราะจะทำให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลง ซึ่งวิธีการที่จะทำให้ยางนั้นคงรูปนั้นสามารถทำได้โดยทำให้เฟสของยางเกิดเชื่อมขวางขึ้น ซึ่งการใช้ peroxide นั้นก็เป็นตัวหนึ่งที่สามารถทำให้ยางเกิดการเชื่อมขวางได้ แต่เนื่องจาก peroxide นั้นเป็น

สารเชื่อมขวางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางของ NR ได้อย่างรวดเร็วจึงทำให้ยางเกิดการเชื่อมขวางก่อนที่จะเกิดการกระจายตัวอันเนื่องมาจากแรงเฉือน

4.6 การศึกษาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25) โดยใช้ NR ที่มีกรดดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR โดยกระบวนการอีตรีด

ในหัวข้อนี้ได้สนใจการเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยทำให้เกิดการเชื่อมขวางของยางเพื่อให้เกิดการคงรูปของอนุภาคยางเมื่อได้รับแรงเฉือนสูงในกระบวนการฉีดขึ้นรูปซึ่งในการศึกษานี้สนใจเลือกยาง MNR และ ENR มาใช้ เนื่องจากยาง MNR มีหมู่แอนไฮไดรด์ (anhydride) และยาง ENR มีหมู่อีพอกไซด์ (epoxide) ซึ่งสองหมู่นี้สามารถที่จะเกิดปฏิกิริยากันได้ดังภาพที่ 4.31

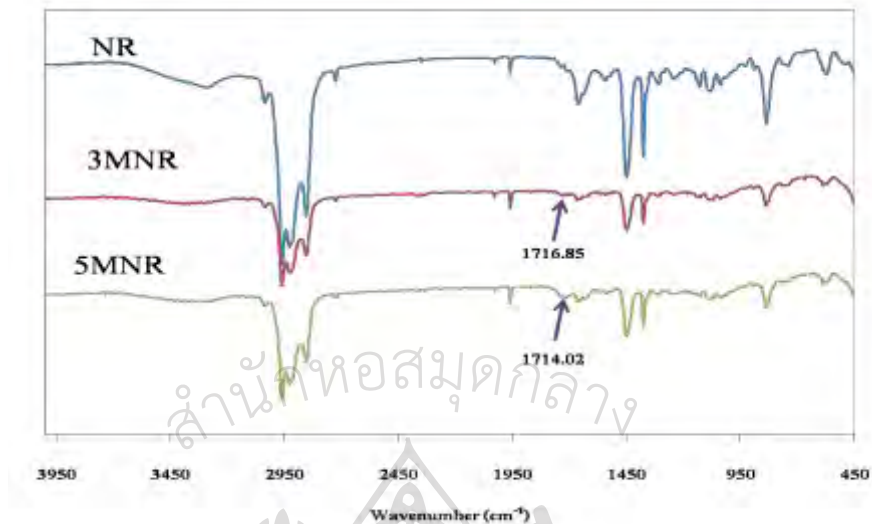


ภาพที่ 4.31 ปฏิกิริยาระหว่างหมู่แอนไฮไดรด์ของยาง MNR กับหมู่อีพอกไซด์ของยาง ENR

โดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นจะไม่เร็วเท่ากับปฏิกิริยาของ peroxide โดยปฏิกิริยาทั้งสองหมู่นี้จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลยางสองสายโซ่เข้าด้วยกันจึงทำให้ยางนั้นมีความคงรูป ซึ่งยาง ENR ที่ใช้นั้นเป็นยาง ENR สำเร็จรูป ส่วนยาง MNR นั้นจะได้รับการเตรียมโดยหลอมผสม NR กับ MA ที่อุณหภูมิ 145 °C ซึ่งอุณหภูมิและแรงเฉือนในระหว่างกระบวนการผสมนั้นจะทำให้เกิดการกราฟของ MA บนสายโซ่โมเลกุลยางขึ้น โดย MNR ที่ทำการเตรียมนั้นมีด้วยกัน 2 สูตรคือ MNR ที่ใช้ MA 3 phr ให้ชื่อว่า 3MNR และ MNR ที่ใช้ MA 5 phr ให้ชื่อว่า 5MNR ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ยาง MNR ที่เตรียมด้วยเทคนิค FTIR จะได้กราฟดังภาพที่ 4.32

จากกราฟ FTIR ในภาพที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าทั้ง 3MNR และ 5MNR นั้นมี peak ที่แตกต่างจาก NR คือ peak ที่ 1716.85 และ 1714.02 cm^{-1} ซึ่ง peak ที่เกิดขึ้นนั้นใกล้เคียงกับ 1710 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกถึง carbonyl groups ที่เกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาของหมู่ anhydride กับความชื้น [25] จากผลการทดสอบที่ได้นั้นสามารถแสดงให้เห็นว่าสามารถเตรียม NR ที่มีหมู่ anhydride กราฟต์ติดอยู่บน

สายโซ่โมเลกุลได้ จากนั้นจึงนำยางที่เตรียมได้ไปเตรียมพอลิเมอร์ผสมกับ SAN โดยมีสูตรหารผสม ดังตารางที่ 4.5



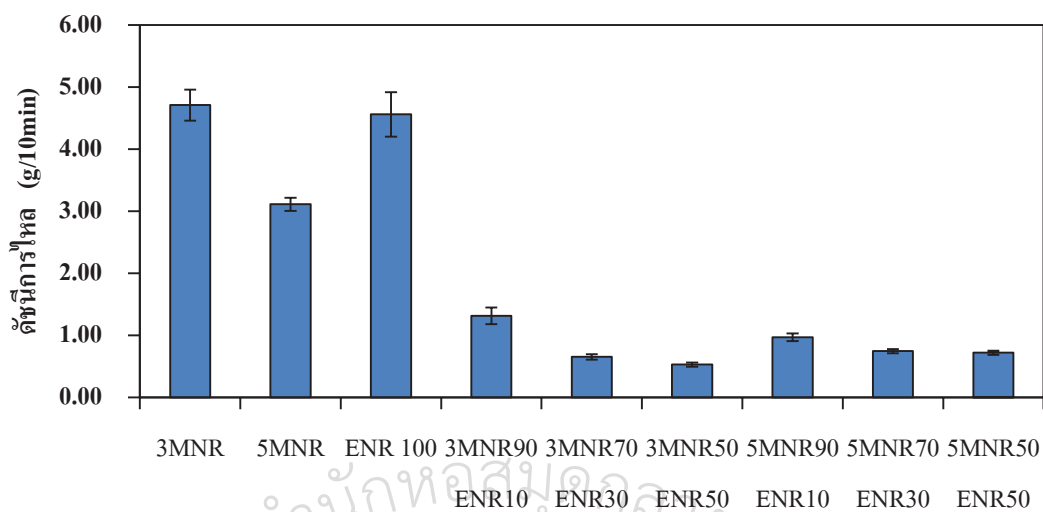
ภาพที่ 4.32 กราฟ FTIR ของยาง NR, 3MNR และ 5MNR

ตารางที่ 4.5 ชื่อสูตรของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR โดยใช้ NR ที่มีการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR

ชื่อสูตร	ความหมาย
3MNR	SAN/3MNR (75/25)
5MNR	SAN/5MNR (75/25)
ENR	SAN/ENR (75/25)
3MNR90 ENR10	SAN/(3MNR90%/ 3ENR10%) (75/25)
3MNR70 ENR30	SAN/(3MNR70%/3 ENR30%) (75/25)
3MNR50 ENR50	SAN/(3MNR50%/ 3ENR50%) (75/25)
5MNR90 ENR10	SAN/(5MNR90%/5ENR10%) (75/25)
5MNR70 ENR30	SAN/(5MNR70%/5 ENR30%) (75/25)
5MNR50 ENR50	SAN/(5MNR50%/ 5ENR50%) (75/25)

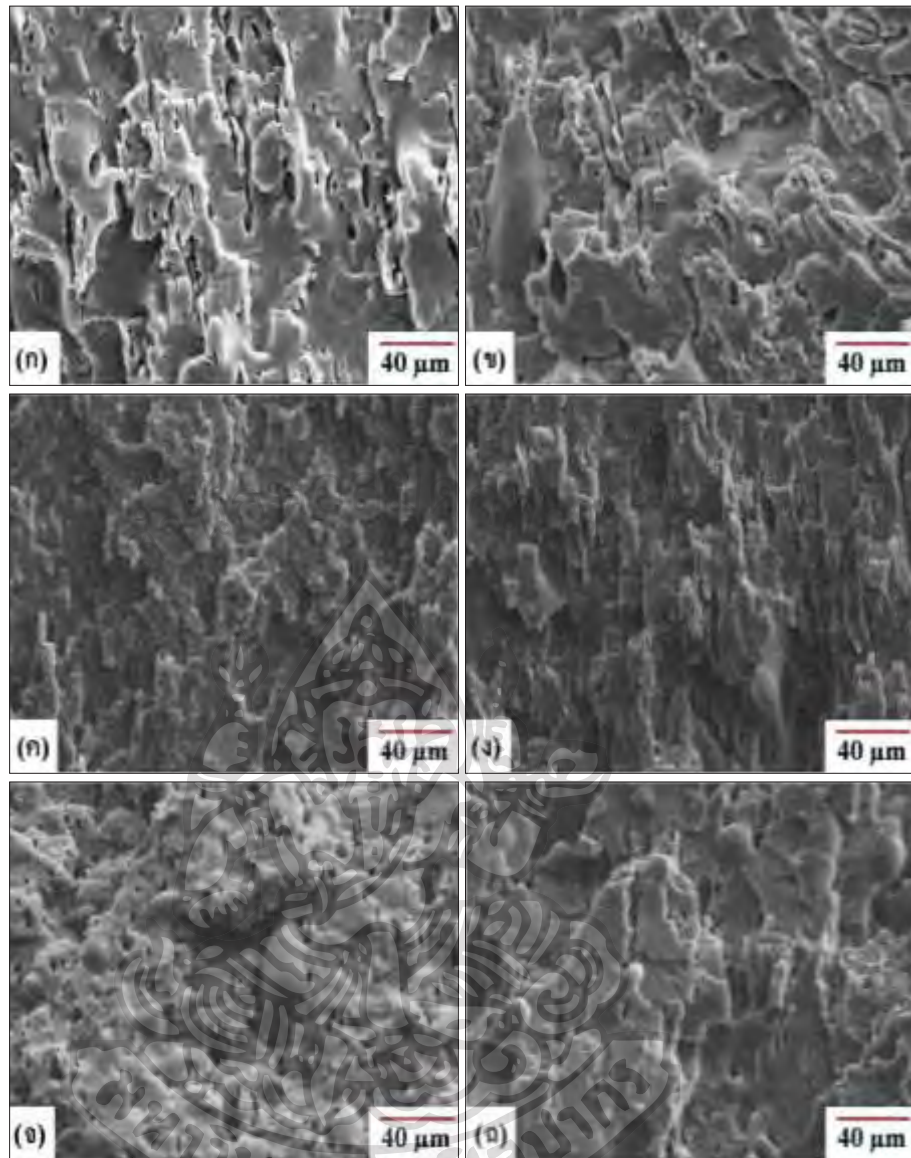
หมายเหตุ : 3MNR = maleated natural rubber ที่มี MA 3 phr

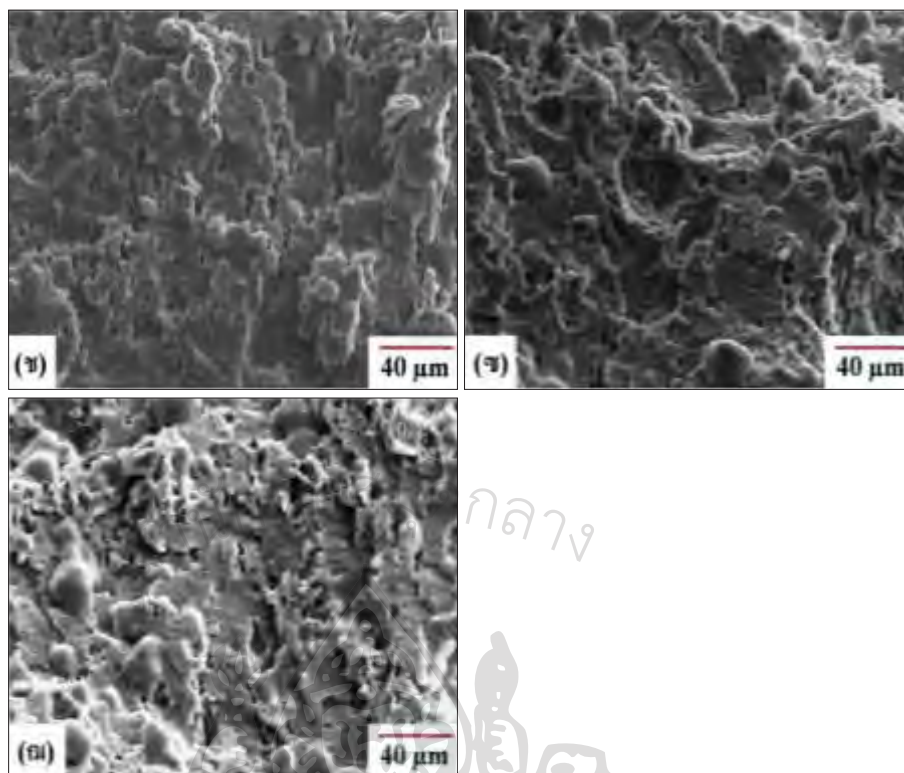
5MNR = maleated natural rubber ที่มี MA 5 phr



ภาพที่ 4.33 แผนภูมิแสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัดรีด

จากค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบของยาง ENR และ MNR ในภาพที่ 4.33 นั้นจะเห็นว่าการผสมยางชนิดใดหนึ่งเพียงอย่างเดียวนั้นพบว่าค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีค่าสูงกว่าค่าดัชนีการไหลของ SAN นั้นแสดงว่าการผสม SAN กับยาง ENR หรือ MNR อย่างใดอย่างหนึ่งนั้นไม่ได้ทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวกันระหว่างเฟสของ SAN กับยาง แต่ยางที่ใส่เข้าไปนั้นจะไปแทรกอยู่ระหว่างเฟสของ SAN ทำให้สามารถเกิดการไหลผ่านกันของเฟส SAN และ NR ได้ง่าย แต่ในกรณีของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง MNR ผสม ENR ซึ่งพบว่าค่าดัชนีการไหล จะลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ใช้ยาง ENR หรือ MNR เพียงอย่างเดียวหนึ่ง และเมื่อสัดส่วนของ ENR ที่ใช้ในการผสมมากขึ้นก็ยิ่งทำให้ค่าดัชนีการไหลจะลดลงมากขึ้น ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการใช้ยาง ENR มากนั้นจะทำให้มีหมู่เอพอกไซด์ในการเข้าทำปฏิกิริยามากขึ้นด้วยดังนั้นจึงทำให้มีการเชื่อมขวางของเฟสยางได้มากค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงเพิ่มสูงขึ้นมาก โดยค่าความหนืดของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยางผสม ENR กับ MNR นั้นเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ ENR ที่ใช้ในการผสม

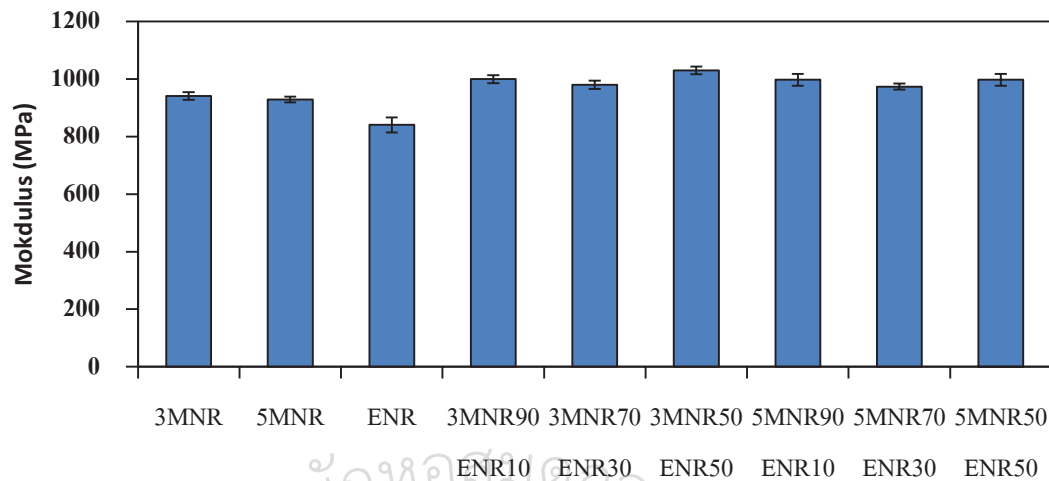




ภาพที่ 4.34 แสดงสัณฐานวิทยาพื้นผิวการแตกหักของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (75/25): (ก) 3MNR (ข) 5MNR (ค) ENR (ง) 3MNR90 ENR10 (จ) 3MNR70ENR30 (ฉ) 3MNR50 ENR50 (ช) 5MNR90 ENR10 (ฌ) 5MNR70 ENR30 (ฌ) 5MNR50 ENR50

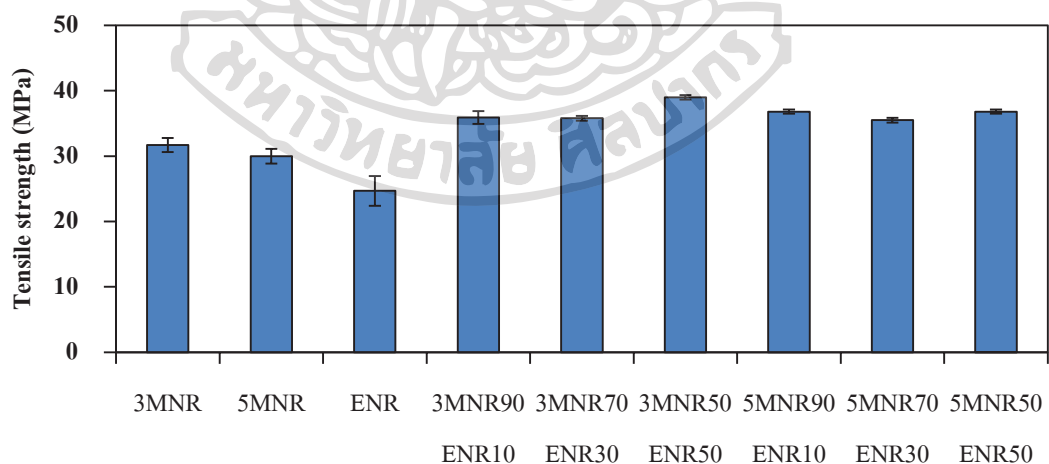
และเมื่อพิจารณาผลของสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.34 โดยจะเห็นว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ยาง MNR ต่อ ENR ในสัดส่วน 50 ต่อ 50 นั้นจะมีลักษณะของเฟสยางจับตัวเป็นก้อนที่มีลักษณะทรงกลมที่ชัดเจนกว่าในกรณีที่ใช้ ENR น้อย และจะเห็นว่า 5MNR นั้นจะทำให้ก้อนของยางมีขนาดใหญ่กว่าการใช้ 3MNR สาเหตุที่เป็นเช่นนี้แสดงว่า 5MNR นั้นจะทำให้ยางเกิดการเชื่อมขวางได้มากกว่า 3MNR เนื่องจากมีปริมาณของ MA ที่มากกว่า

เมื่อพิจารณาผลของการทดสอบการดึงยืดพบว่า พอลิเมอร์ผสม SAN ที่มีการใช้ยางผสมของ ENR และ MNR นั้นจะมีค่า modulus ที่สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ยาง ENR หรือ MNR เพียงอย่างเดียว (ภาพที่ 4.35) ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้น่าจะเป็นผลเนื่องจากเมื่อเฟสของยางเกิดการเชื่อมขวางขึ้นจะทำให้เกิดความแข็งแรงมากยิ่งขึ้นจึงทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปที่มากกว่าการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของ SAN กับยาง ENR หรือ MNR เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งซึ่งเฟสของยางจะไม่เกิดความคงรูป

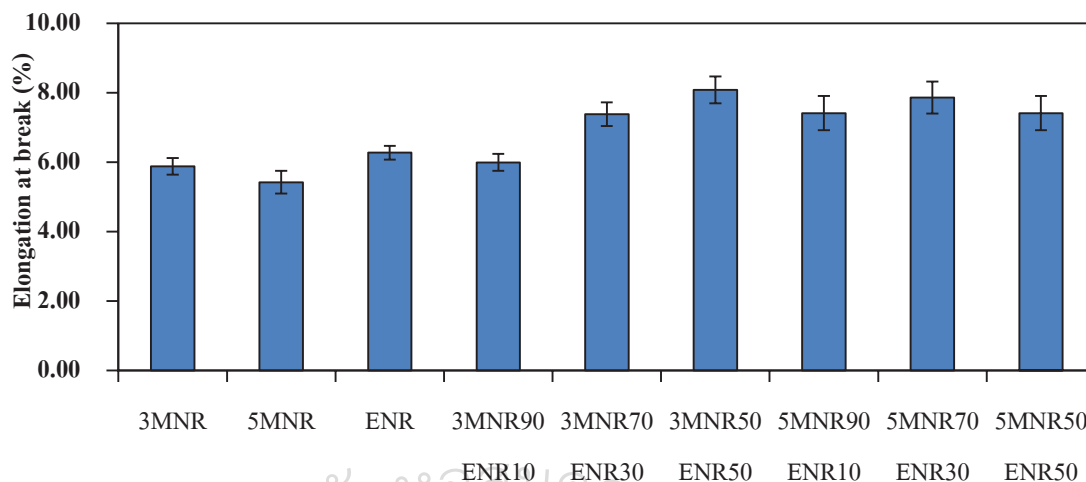


ภาพที่ 4.35 แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัครีค

และเมื่อพิจารณาค่า tensile strength ในภาพที่ 4.36 นั้นก็พบว่ามีความโน้มเช่นเดียวกับค่า modulus กล่าวคือเมื่อใช้ยาง ENR ผสมกับ MNR จะทำให้พอลิเมอร์ผสมของ SAN ที่ได้มีค่า tensile strength เพิ่มสูงขึ้น โดยค่า tensile strength ที่เพิ่มสูงขึ้นนี้เกิดเนื่องมาจากการเชื่อมขวางของเฟสยาง และการใช้สัดส่วนของยาง MNR ต่อ ENR เป็น 50 ต่อ 50 นั้นก็พบว่าจะทำให้ค่าสูงกว่าการใช้ MNR ต่อ ENR ในสัดส่วนอื่น



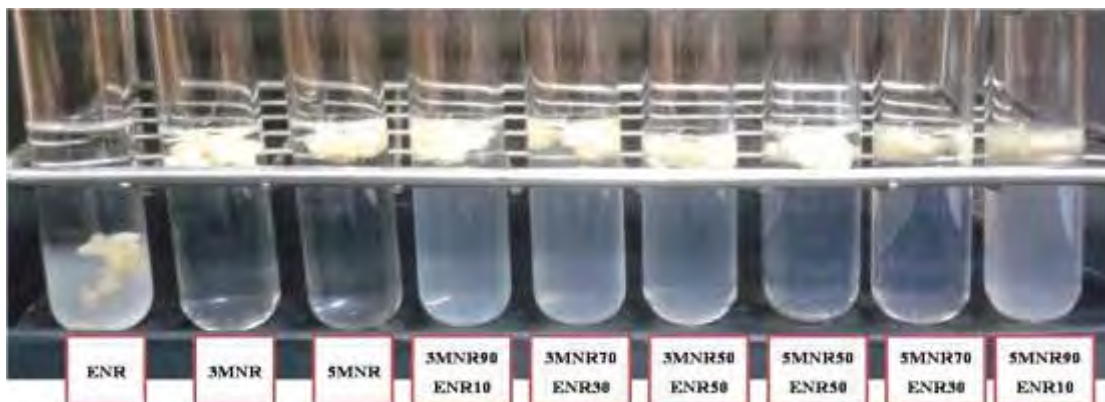
ภาพที่ 4.36 แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัครีค



ภาพที่ 4.37 แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัดรีด

เมื่อพิจารณาค่า % elongation at break ในภาพที่ 4.37 นั้นก็พบว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ยาง MNR และ ENR ร่วมกันนั้นจะทำให้มีค่า % elongation at break สูงกว่าการใช้ยาง ENR หรือ MNR ชนิดใดชนิดหนึ่ง นั่นแสดงว่าการใช้ ENR และ MNR ร่วมกัน น่าจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสของ NR และ SAN มากกว่าการใช้ยาง MNR หรือ ENR ชนิดใดเพียงชนิดเดียว ซึ่งสมมติฐานดังกล่าวนี้สามารถพิสูจน์ได้โดยการทดสอบที่ชื่อว่า molau test [26] ซึ่งการทำ molau test เป็นเทคนิคเชิงคุณภาพ ที่ใช้ในการพิสูจน์ถึงการมีอยู่ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสม ของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งในการทำ molau test นั้นจะอาศัยหลักการละลาย โดยในการทำละลายนั้นจะทำให้การเลือกตัวทำละลายที่สามารถละลายพอลิเมอร์ ที่เป็นเฟสหลัก (matrix phase) แต่ต้องไม่ละลายพอลิเมอร์ที่เป็นเฟสรอง (dispersion phase) ซึ่งถ้าหากในพอลิเมอร์ผสมนั้นไม่มีกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ทำหน้าเป็นเสมือนเป็นตัวทำอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) อยู่ พอลิเมอร์ที่เป็นเฟสที่กระจายตัว ก็จะถูกแยกออกมาและลอยอยู่บนสารละลายที่มีลักษณะเป็นสารละลายใส ซึ่งผลการทดสอบที่เป็นเช่นนี้จะถูกเรียกว่า “negative” ในทางกลับกันหากมีกราฟต์โคพอลิเมอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์นั้นก็จะทำให้สารละลายที่ได้มีสีขุ่น เนื่องจากเกิดการแขวนลอยของอนุภาคของเฟสที่กระจายตัว ซึ่งผลการทดลองแบบนี้จะเรียกว่า “positive”

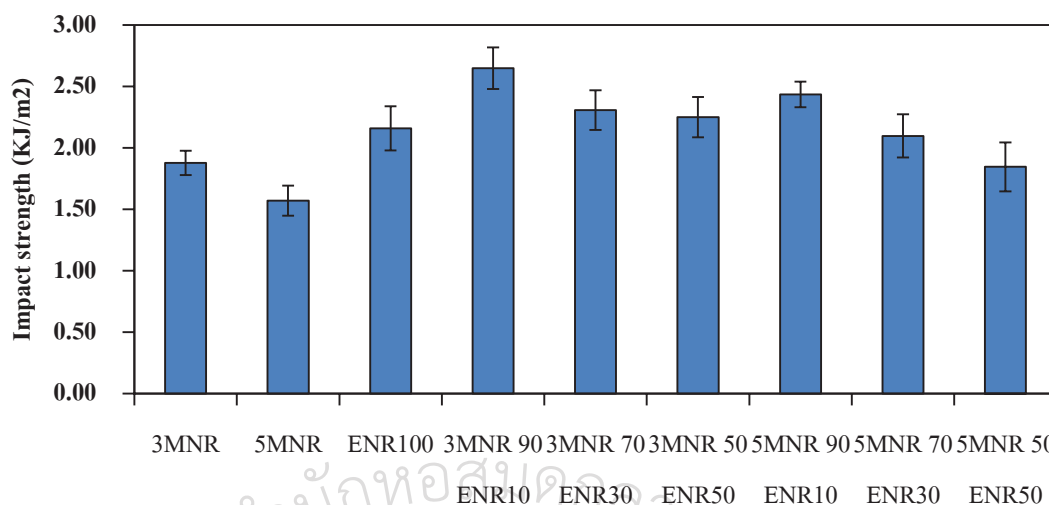
ซึ่งผลจากการทำ molau test ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ MNR และ ENR นั้นแสดงในภาพที่ 4.38



ภาพที่ 4.38 สารละลาย molau test ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ MNR และ ENR

ในภาพที่ 4.38 นั้นแสดง สารละลาย molau test ซึ่งได้จากการนำเอาพอลิเมอร์ผสมในแต่ละสูตรไปละลายในตัวทำละลาย dimethylformamide (DMF) ซึ่งเป็นตัวทำละลายของ SAN แต่ไม่ละลาย NR จากผลการทดลองพบว่าพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่มีการใช้ยาง MNR เพียงอย่างเดียวนั้น พบว่าสารละลายที่ได้จะใสและมีส่วนของยางที่ไม่ละลายลอยอยู่ด้านบนของสารละลาย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าไม่มีกราฟต์โคพอลิเมอร์ซึ่งเป็นหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์เกิดขึ้นจากกระบวนการผสม แต่เมื่อการผสมนั้นมีการใช้ MNR และ ENR ร่วมกันจะเห็นว่าสารละลายที่ได้จะมีสีขาวขุ่นซึ่งบ่งบอกได้ถึงเกิดการกราฟต์โคพอลิเมอร์ขึ้นในระหว่างกระบวนการผสม โดยกราฟต์โคพอลิเมอร์นี้จะทำให้อนุภาคของยางนั้นสามารถที่จะแขวนลอยอยู่ในสายละลายของ SAN และเมื่อทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ 3MNR และ 5MNR นั้นพบว่า 3MNR นั้นจะให้สารละลายที่ขุ่นกว่า 5MNR ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ใน 5MNR นั้นมีปริมาณของ MA อยู่มาและ MA 5 phr ที่เติมลงไปนั้นก็ไม่ได้เกิดการกราฟต์บนยาง NR ทั้งหมด [13] ทำให้เหลือ MA ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา ซึ่ง 5MNR นั้นจะเหลือ MA ที่ไม่ทำปฏิกิริยามากกว่า 3MNR ดังนั้น MA ที่เหลือจะทำให้เกิดการเชื่อมขวางของ ENR และ MNR กันเองมากกว่าทำให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์

เมื่อพิจารณาค่า impact strength ในภาพที่ 4.39 นั้นพบว่าค่า impact strength นั้นจะลดลงเมื่อปริมาณของ ยาง ENR เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากเมื่อยาง ENR มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ยางนั้นเกิดการเชื่อมขวางได้มากจึงทำให้เฟสของยางที่กระจายตัวอยู่ใน SAN มีขนาดใหญ่จึงทำให้ความสามารถในการกระแทกลดลงและยังพบว่าการใช้ยาง 3MNR นั้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่า impact strength สูงกว่าการใช้ยาง 5MNR ทั้งนี้เนื่องมาจากในระบบ 5MNR นั้นจะพบว่าเฟสของยางที่กระจายตัวอยู่นั้นมีขนาดใหญ่กว่าระบบของ 3MNR เนื่องมาจากการเกิดเชื่อมขวางที่มากกว่านั่นเอง



ภาพที่ 4.39 แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN กับยาง ENR และ MNR โดยกระบวนการอัครีต

จากผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ในตารางที่ 4.6 นั้นพบว่า NR 3 ชนิดที่นำมาศึกษา ซึ่งได้แก่ ENR, 3MNR และ 5MNR นั้นมีอุณหภูมิ T_g ที่ต่างกันโดย ENR > 5MNR > 3MNR และเมื่อมีการนำยางปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวมาผสมกับ SAN ก็พบว่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีการ shift ของ T_g ของ SAN และ NR เข้าหากัน และในระบบของ 3MNR นั้นพบว่าการใช้ 3MNR ร่วมกับ ENR ในสัดส่วน 3MNR ต่อ ENR เป็น 70 ต่อ 30 และ 50 ต่อ 50 นั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีค่า T_g ในส่วนของยาง 2 ค่าคือ T_g ที่เป็นของ 3MNR และ ENR และเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า T_g ของยาง 3MNR และ ENR เข้าหากัน ซึ่งนั่นแสดงว่ายางทั้งสองนั้นเกิดการเชื่อมขวางกันได้บางส่วน ส่วนในกรณีการใช้สัดส่วนของ 3MNR ต่อ ENR เป็น 90 ต่อ 10 นั้นแสดง T_g ในส่วนของยางเพียงค่าเดียวคือที่ -63.34 °C ซึ่งใกล้เคียงกับ T_g ของ 3MNR มากกว่า ENR ซึ่งการที่สามารถเห็น T_g เพียงค่าเดียวนั้นน่าจะเนื่องมาจากยาง ENR ที่ใส่ลงไปนั้นมีปริมาณที่น้อยจึงทำให้ไม่สามารถแสดง T_g ในระหว่างการทดสอบได้ ส่วนในระบบของ 5MNR นั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ 5MNR ร่วมกับ ENR ทุกอัตราส่วนจะแสดง T_g ของยางเพียงค่าเดียวซึ่งมีค่าอยู่เกือบกึ่งกลางระหว่าง 5MNR กับ ENR ซึ่งนั่นชี้ให้เห็นว่า 5MNR นั้นเกิดการเชื่อมขวางกับ ENR ได้มากจึงผสมเข้ากันได้กับ ENR ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความมีขั้วที่ใกล้เคียงกัน และ MA ที่อยู่ใน 5MNR นั้นมีสัดส่วนที่เหมาะสมกับหมู่เอพอกไซด์ที่อยู่ใน ENR ส่วน 3MNR นั้นมีปริมาณของ MA ที่น้อยกว่า 5MNR ซึ่งทำให้ความเป็นขั้วน้อยกว่า จึงทำให้สามารถเข้ากันได้บางส่วนกับ ENR แต่การเข้ากันได้ของ 5MNR และ ENR นั้นเป็นผลทำให้ 5MNR และ ENR เกิดการเชื่อมขวางกันได้

มากและทำให้เฟสของยางที่กระจายตัวอยู่ในพอลิเมอร์ผสมนั้นมีขนาดใหญ่ และการเข้ากันได้เองนี้ จึงเป็นผลทำให้เกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างเฟสได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับระบบ 3MNR

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบยาง MNR และ ENR

สูตร	Glass transition temperature (°C)	
	NR	SAN
SAN pure	-	98.63
ENR pure	-56.29	-
3MNR pure	-67.96	-
5MNR pure	-65.4	-
3MNR	-62.9	95.26
5MNR	-63.54	94.86
ENR	-52.7	98.37
3MNR90 ENR10	-63.34	96.25
3MNR70 ENR30	-55.59, -44.06	96.6
3MNR50 ENR50	-64.96, -55.29	96.00
5MNR90 ENR10	-62.15	94.98
5MNR70 ENR30	-61.11	95.73
5MNR50 ENR50	-62.79	97.27-

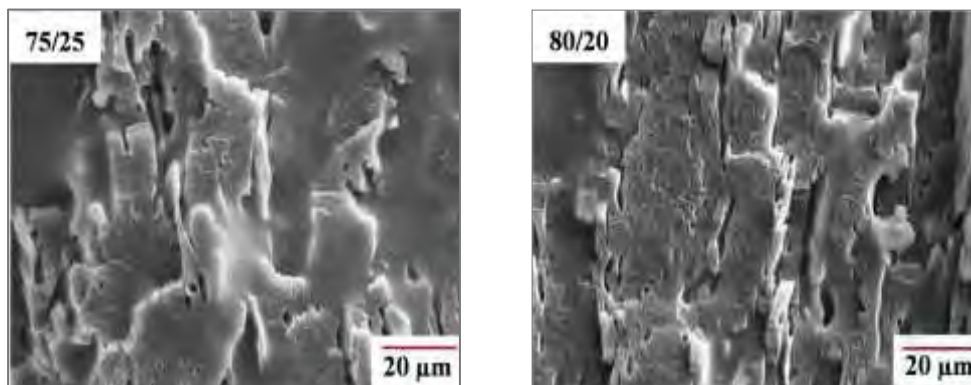
จากผลของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ MNR และ ENR นั้น พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ใช้ 3MNR นั้นจะมี tensile strength, elongation at break และ impact ที่ดีกว่า 5MNR ที่มีสัดส่วนของ MNR และ ENR เท่ากัน และเมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ 3MNR ร่วมกับ ENR นั้นพบว่า 3MNR ต่อ ENR ในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 นั้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสม ที่ได้มีค่า tensile strength และ % elongation at break สูงกว่าสัดส่วนอื่นๆ และรองลงมาคือ 3MNR ต่อ ENR ในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 และ 90 ต่อ 10 ตามลำดับ แต่ค่า impact strength นั้นมีแนวโน้มในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ 3MNR: ENR ในอัตราส่วน 90 ต่อ 10 นั้นจะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีค่า impact strength สูงที่สุด รองลงมาคือ 3MNR ต่อ ENR ในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 และ 50 ต่อ 50 ตามลำดับ ซึ่งจากผลที่ได้ผลของสมบัติการดึงยึดและสมบัติการรับแรงกระแทกนั้นมีแนวโน้มใน

ทิศทางที่ต่างกัน อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นการเลือกสูตรที่เหมาะสมไปทำการศึกษาผลของสัดส่วนการผสมของ SAN ต่อ NR และผลของการใช้ SAN และ SANog ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้น จึงได้ทำการเลือกสูตรการผสมที่ใช้ 3MNR และมีสัดส่วนของ 3MNR ต่อ ENR เป็น 70 ต่อ 30 เนื่องจากจะได้ทั้งสมบัติการดึงยึดและสมบัติการรับแรงกระแทกที่พอดีกัน

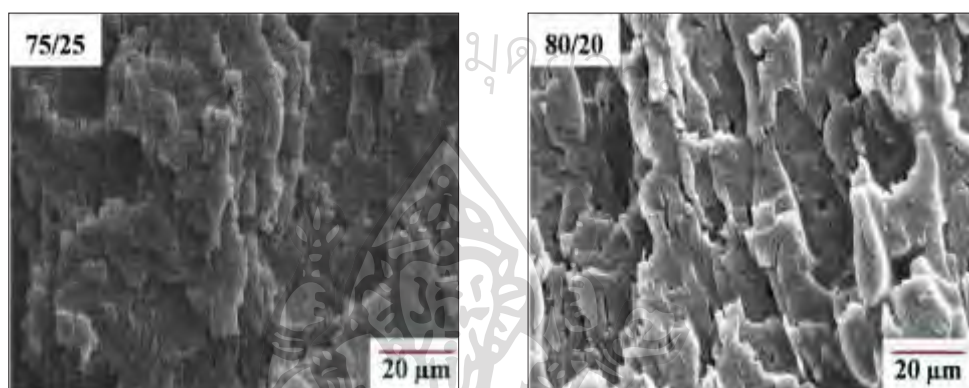
4.7 การเปรียบเทียบผลของสัดส่วนในการผสมระหว่าง SAN กับยางที่มีการปรับปรุงหมู่ฟังก์ชัน ที่เตรียมโดยกระบวนการอัดรีด

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.6 นั้นทำให้พบว่าพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR70 ENR30 นั้นมีสมบัติเชิงกลที่ดีเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในระบบเดียวกัน จึงเลือกสูตรการผสมนี้มาทำการศึกษาผลของอัตราส่วนการผสมของ SAN และ NR ที่มีการปรับปรุงหมู่ฟังก์ชัน โดยทำการเปรียบเทียบ 2 อัตราส่วนคือ 75/25 และ 80/20

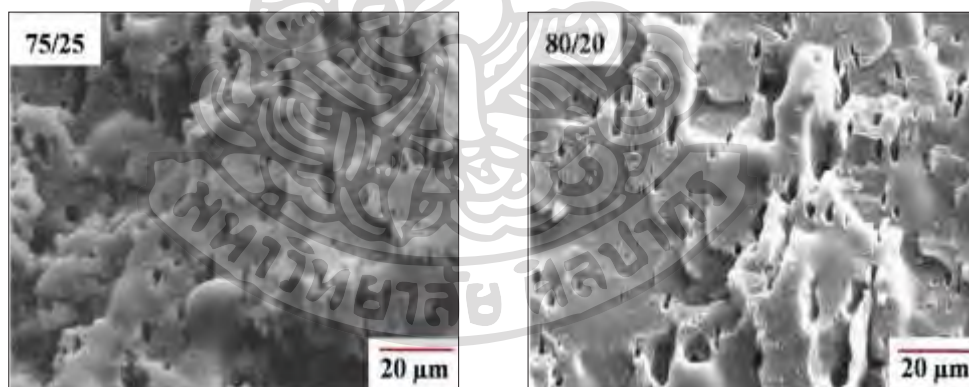
จากฐานฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมแต่ละสูตรที่มีอัตราส่วนการผสมเป็น 75/25 และ 80/20 ในภาพที่ 4.40 จะเห็นได้ว่าในสูตร 3MNR ในสัดส่วนการผสม 75/25 นั้นจะมีการกระจายตัวของเฟสขงมาปกคลุมที่ผิวหน้าของชิ้นงานมากกว่าสัดส่วนการผสม 80/20 แต่ทั้งสองยังมีลักษณะของฐานฐานวิทยาที่คล้ายกันคือจะเห็นการไหลของเฟสขงเป็นเส้นยาวในเฟสของ SAN ส่วนพอลิเมอร์ผสมในสูตร ENR นั้นพบว่าในสัดส่วนการผสม 75/25 และ 80/20 นั้นมาความแตกต่างกันโดยจะเห็นว่าผิวหน้าแตกหักของอัตราส่วน 75/25 จะเรียบกว่าผิวหน้าแตกหักของอัตราส่วน 80/20 ทั้งนี้เนื่องมาจากในอัตราส่วน 80/20 นั้นมีเฟสขงของยางน้อยกว่าจึงเกิดการแทรกตัวอยู่ในเฟสของ SAN อย่างห่างๆ แต่ในอัตราส่วน 75/25 นั้นมีเฟสขงของยางอยู่มากและเกิดการแทรกตัวในเฟสของ SAN ที่มากกว่า ทำให้เกิดการแตกหักที่ไม่เรียบ ส่วนในสูตรการผสม 3MNR70 ENR30 นั้นจะเห็นได้ว่าในอัตราส่วน 80/20 นั้นมีเฟสขงของยางกระจายกันอยู่ห่างๆ เนื่องจากมีเฟสขงอยู่น้อย ส่วนในอัตราส่วน 75/25 นั้นจะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของเฟสขงที่ใกล้ชิดกันมากกว่าเนื่องจากมีปริมาณของเฟสขงมากกว่า



(ก) 3MNR

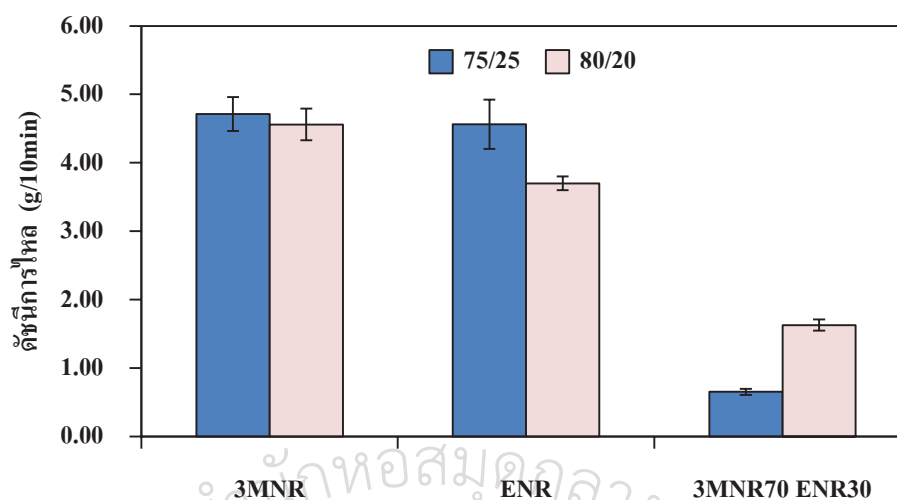


(ข) ENR



(ค) 3MNR70 ENR30

ภาพที่ 4.40 สัณฐานวิทยาเปรียบเทียบของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20: (ก) SAN/3MNR (ข) SAN/ENR (ค) SAN/3MNR70 ENR30



ภาพที่ 4.41 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20

จากผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมแต่ละสูตรที่มีอัตรา 75/25 และ 80/20 ในภาพที่ 4.41 นั้นพบว่าในสูตร 3MNR และสูตร ENR ซึ่งไม่มีเกิดการเชื่อมขวางของเฟสยางและไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเฟสของ SAN และ 3MNR ดังนั้น 3MNR ที่เติมลงไปและเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราส่วนการผสม 75/25 และ 80/20 นั้นก็พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วน 80/20 นั้นมีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมอัตราส่วน 75/25 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากในอัตราส่วน 75/25 นั้นมียางแทรกอยู่ในเฟสของ SAN มากกว่า จึงมีความเหนียวและหลอมเหลวต่ำกว่า

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20

Tensile properties	สัดส่วน SAN/NR	สูตร		
		3MNR	ENR	3MNR70 ENR30
Tensile strength (MPa)	75/25	31.70 ±1.08	24.70 ±2.27	35.80 ±0.37
	80/20	35.30 ±0.26	27.36 ±0.24	40.40 ±0.28
Elongation at break (%)	75/25	5.88 ±0.24	6.27 ±0.20	7.38 ±0.34
	80/20	5.53 ±0.17	5.26 ±0.19	6.81 ±0.25
Modulus (MPa)	75/25	941.00 ±13.20	841.00 ±26.20	980.00 ±14.20
	80/20	1030.00 ±18.90	922.44 ±13.23	1090.00 ±10.40

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน 75/25 และ 80/20 ของสูตรต่างๆ ในตารางที่ 4.7 พบว่าพอลิเมอร์ผสมสูตร 3MNR, ENR และ 3MNR70 ENR30 ที่มีอัตราส่วนการผสม 80/20 นั้นจะมีค่า tensile strength และ modulus ที่สูงกว่าอัตราส่วนการผสม 75/25 ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นว่า ความแข็งแรงของพอลิเมอร์ผสมของ SAN กับยางชนิดต่างๆ นั้นขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเฟส SAN ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนของ SAN ในพอลิเมอร์ผสมมากกว่า ก็จะส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่า modulus และ tensile strength ที่สูงกว่า แต่เมื่อพิจารณาค่า % elongation at break นั้นพบว่าพอลิเมอร์ผสมทั้งสามสูตรในอัตราส่วน 80/20 นั้นมีค่า % elongation at break ที่ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 75/25 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากในอัตราส่วน 75/25 นั้นมีปริมาณของเฟสยางมากกว่าส่งผลทำให้ SAN นั้นสามารถยืดออกได้มากขึ้น ซึ่งผลของ % elongation at break นั้นให้แนวโน้มเดียวกันกับค่า impact strength ในตารางที่ 4.8 นั่นคือพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 80/20 นั้นมีค่า impact strength ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 75/25

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20

สูตร	Impact strength (kJ/m ²)	
	75/25	80/20
3MNR	1.88 ±0.1	1.78 ±0.11
ENR100	2.16 ±0.18	1.69 ±0.10
3MNR70 ENR30	2.31 ±0.16	2.72 ±0.17

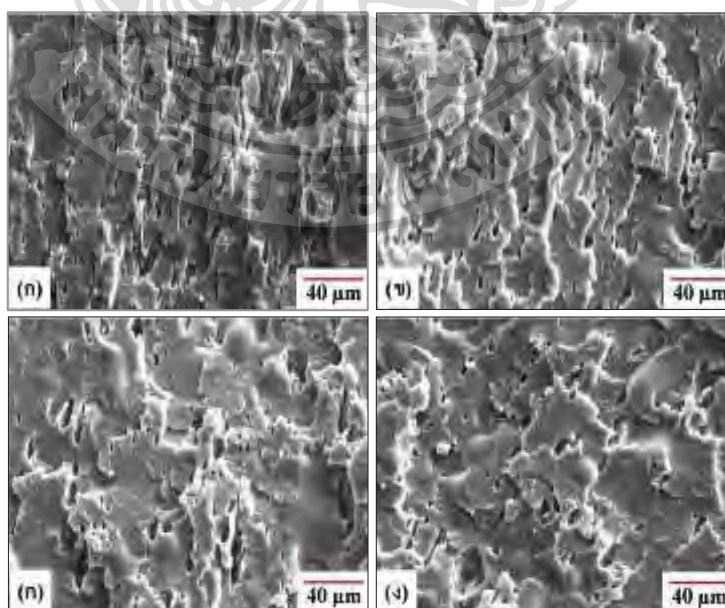
ตารางที่ 4.9 แสดงสมบัติทางความร้อนของของพอลิเมอร์ผสมในสัดส่วน SAN และยางชนิดต่างๆ ในอัตราส่วน 75/25 และ 80/20

สูตร	Glass transition temperature (°C)	
	NR	SAN
3MNR (75/25)	-62.9	95.26
3MNR (80/20)	-63.74	95.00
ENR (75/25)	-52.7	98.37
ENR (80/20)	-54.36	98.22
3MNR70ENR30 (75/25)	-55.59, -44.06	96.6
3MNR70ENR30 (80/20)	-64.59, -53.35	98.83

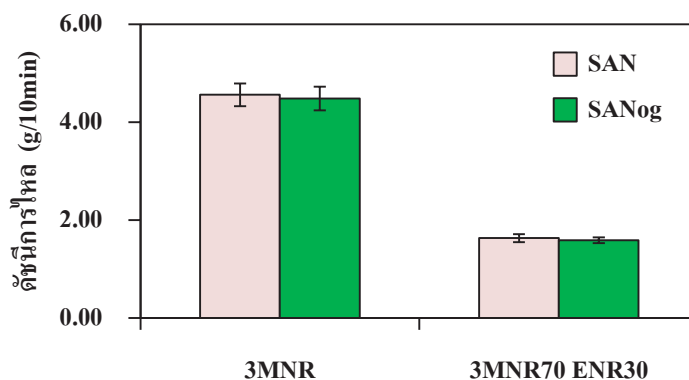
จากผลของสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมสูตรต่างๆ ในอัตราส่วน 80/20 และ 75/25 ในตารางที่ 4.9 นั้นพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า T_g ของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ ENR นั้นพบว่าเมื่ออัตราส่วนในการผสมแตกต่างกันก็ไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า T_g แต่สำหรับสูตร 3MNR70 ENR30 นั้นพบว่าในอัตราส่วน 75/25 นั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่า T_g ของเฟสยางและ SAN ในพอลิเมอร์ผสมมากกว่าพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วน 80/20 ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการที่เฟสของยางมีปริมาณที่น้อยกว่านั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างยาง 3MNR กับ ENR ได้น้อยและเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเฟสของ SAN ที่น้อยกว่าจึงส่งผลทำให้ความเข้ากันของ SAN และ ยางก็จะน้อยไปด้วย

4.8 การศึกษาเปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม ในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 ที่มีอัตราส่วนการผสมเป็น 80/20 ในกระบวนการอัดรีด

ผลการทดลองในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของการใช้ SAN และ SANog ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 ซึ่งเมื่อพิจารณาพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ในภาพที่ 4.42 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมทั้งสองสูตรมีพื้นฐานวิทยาที่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ใน SANog นั้นไม่ได้ส่งผลต่อพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีการไหลในภาพที่ 4.43 นั้นก็พบว่าพอลิเมอร์ในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 นั้นไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.42 เปรียบเทียบพื้นฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้ SAN และ SANog: (ก) SAN/3MNR (ข) SANog/3MNR (ค) SAN/3MNR70/ENR30 (ง) SANog/3MNR70/ENR30



ภาพที่ 4.43 แผนภูมิแสดงค่าดัชนีการไหลเปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (80/20)

ตารางที่ 4.10 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70ENR30 ที่เตรียมด้วย SAN และ SANog

สูตร	SAN	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus (MPa)	Impact strength (kJ/m ²)
3MNR	SAN	35.30 ±0.26	5.53 ±0.17	1030 ±18.90	1.78 ±0.11
3MNR	SANog	35.40 ±0.35	5.37 ±0.20	1040 ±12.00	1.84 ±0.15
3MNR70 ENR30	SAN	40.40 ±0.28	6.81 ±0.25	1090 ±10.40	2.72 ±0.17
3MNR70 ENR30	SANog	41.20 ±0.22	6.78 ±0.31	1090 ±12.20	2.47 ±0.14

จากผลสมบัติเชิงกลในตารางที่ 4.10 นั้นจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก จึงได้มีการใช้ทฤษฎีทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way ANOVA) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ (MINITAB) ในการคำนวณ โดยการวิเคราะห์นั้นจะเป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ($\alpha=0.05$) ซึ่งผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิตินั้นแสดงในภาพที่ 4.43 และ 4.44

One-way ANOVA: Tensile strength versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	0.012	0.012	0.05	0.828
Error	17	4.333	0.255		
Total	18	4.345			

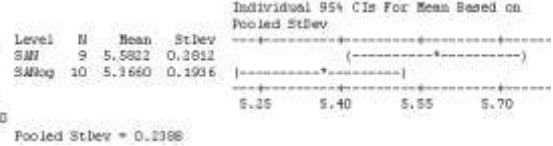
S = 0.5049 R-Sq = 0.28% R-Sq(adj) = 0.00%



One-way ANOVA: Elongation at break versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	0.2215	0.2215	7.08	0.068
Error	17	0.9698	0.0570		
Total	18	1.1913			

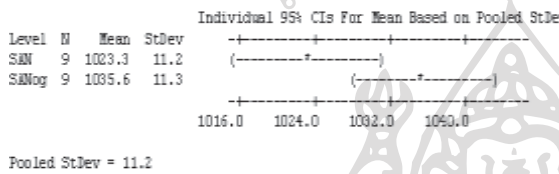
S = 0.2388 R-Sq = 18.59% R-Sq(adj) = 13.80%



One-way ANOVA: Modulus versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	672	672	5.32	0.035
Error	16	2022	126		
Total	17	2694			

S = 11.24 R-Sq = 24.95% R-Sq(adj) = 20.26%



One-way ANOVA: Impact strength versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	0.3193	0.3193	15.82	0.001
Error	8	0.0989	0.0124		
Total	9	0.4182			

S = 0.1112 R-Sq = 76.35% R-Sq(adj) = 73.39%

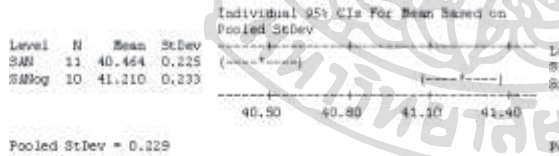


ภาพที่ 4.44 แสดงตาราง One-way ANOVA ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB ของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog

One-way ANOVA: Tensile strength versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	2.9179	2.9179	55.75	0.000
Error	19	0.9945	0.0523		
Total	20	3.9124			

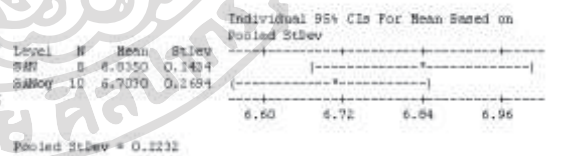
S = 0.2268 R-Sq = 74.58% R-Sq(adj) = 73.24%



One-way ANOVA: Elongation at break versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	0.0774	0.0774	1.55	0.230
Error	16	0.7972	0.0498		
Total	17	0.8746			

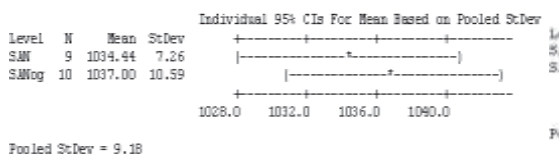
S = 0.2232 R-Sq = 8.85% R-Sq(adj) = 3.14%



One-way ANOVA: Modulus versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	30.9	30.9	0.37	0.553
Error	17	1432.2	84.2		
Total	18	1463.2			

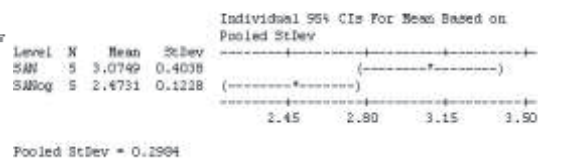
S = 9.179 R-Sq = 2.11% R-Sq(adj) = 0.00%



One-way ANOVA: Impact strength versus types of matrix

Source	DF	SS	MS	F	P
Matrix	1	0.9054	0.9054	10.17	0.013
Error	8	0.7124	0.0891		
Total	9	1.6178			

S = 0.2984 R-Sq = 55.96% R-Sq(adj) = 50.46%



ภาพที่ 4.45 แสดงตาราง One-way ANOVA ที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB ของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR70 ENR30 ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog

ซึ่งสมมติฐานทางสถิติที่ตั้งไว้คือ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยที่ μ_1 คือค่าเฉลี่ยสมบัติเชิงกล (tensile strength, elongation at break, modulus และ impact strength) ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN

μ_2 คือค่าเฉลี่ยสมบัติเชิงกล (tensile strength, elongation at break, modulus และ impact strength) ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SANog

พอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR (ภาพที่ 4.44) จากการทดสอบสมมติฐาน ในตาราง One-way ANOVA พบว่า tensile strength และ elongation at break มี P-value มากกว่า 0.05 (α) จึงยอมรับ H_0 และปฏิเสธ H_1 นั่นแสดงว่าค่า tensile strength และ elongation at break เฉลี่ยของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog นั้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ตามการทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบ modulus และ impact strength ในตาราง One-way ANOVA นั้นพบว่ามี P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 ซึ่งนั่นแสดงว่าค่า modulus และ impact strength เฉลี่ยของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดย SAN และ SANog นั้นมีความแตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก SANog นั้นมีค่า modulus และ impact strength ที่สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก SAN อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

พอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR 70 ENR30 (ภาพที่ 4.45) การทดสอบสมมติฐาน ในตาราง One-way ANOVA พบว่า tensile strength และ impact strength มี P-value น้อยกว่า 0.05 (α) จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 นั่นแสดงว่าค่า tensile strength และ impact strength เฉลี่ยของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดย SAN และ SANog นั้นมีความแตกต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก SANog นั้นมีค่า tensile strength และ impact strength ที่สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมจาก SAN อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และจากการทดสอบค่า elongation at break และ modulus ในตาราง One-way ANOVA นั้นพบว่ามี P-Value มากกว่า 0.05 จึงยอมรับ H_0 และปฏิเสธ H_1 ซึ่งนั่นแสดงว่าค่า elongation at break และ modulus เฉลี่ยของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog นั้นแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ตามการทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

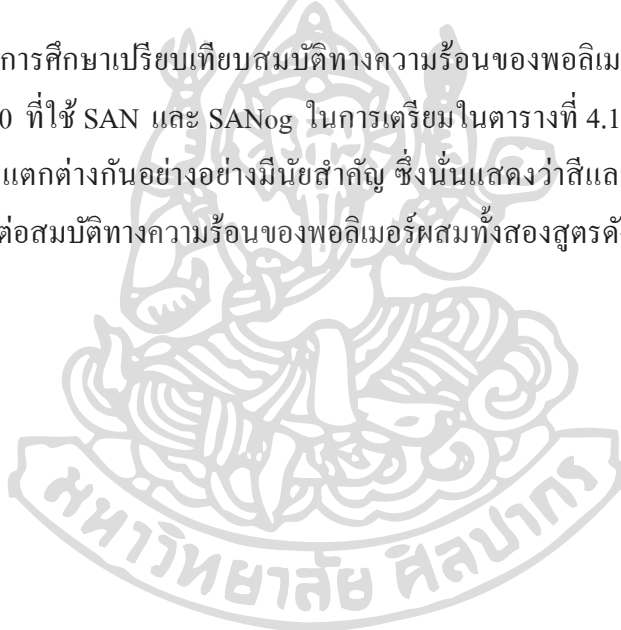
จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ SANog ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมกับยางทั้งในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 นั้นส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีความต้านทานต่อการรับแรงกระแทกที่สูงกว่าการใช้ SAN เกรดปกติ นั่นแสดงว่าสิ่งปนเปื้อนที่ติด

มากับ SAN ในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นสามารถช่วยทำให้พอลิเมอร์ผสมของ SANog กับยาง 3MNR และ 3MNR70 ENR30 นั้นมีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.11 แสดงสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 ที่เตรียมโดยใช้ SAN และ SANog

สูตร	SAN	Glass transition temperature (°C)	
		NR	SAN
3MNR	SAN	-63.74	95.00
3MNR	SANog	-64.66	94.76
3MNR70ENR30	SAN	-64.59, -53.35	98.83
3MNR70ENR30	SANog	-63.65, -53.33	97.46

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 ที่ใช้ SAN และ SANog ในการเตรียมในตารางที่ 4.11 พบว่าผลของสมบัติทางความร้อนนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนั่นแสดงว่าสีและสิ่งปนเปื้อนของ SANog นั้นก็ไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมทั้งสองสูตรดังกล่าว



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SANog/NR ในระบบการผสมทางกายภาพ (physical blend) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การผสม SANog และ NR ทางกายภาพนั้นไม่เกิดความเข้ากัน (incompatible) ในทุกอัตราส่วนการผสม จากนั้นจึงได้ศึกษาผลของการใช้สารช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ ซึ่งเป็นสารว่องไวปฏิกิริยาใน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ MA, SMA และ peroxide และระบบ phenolic resin ในเครื่องผสมแบบปิดและขึ้นรูปโดยวิธีการอัดขึ้นรูป โดยในการศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารว่องไวปฏิกิริยานั้นจะใช้ SAN เกรดปกติในการศึกษาเพื่อควบคุมปัจจัยในเรื่องของสารปนเปื้อนที่อาจส่งผลต่อการทำปฏิกิริยาเคมี ส่งผลทำให้วิเคราะห์ผลการทดลองได้ยาก ซึ่งจากผลที่ได้พบว่าการใช้สารว่องไวปฏิกิริยาเป็น SMA จะส่งผลทำให้พอลิเมอร์ผสม SAN/NR นั้นมีค่า impact strength สูงที่สุด และเมื่อมีการใช้ SMA ร่วมกับ MA นั้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ได้มีค่า % elongation at break สูงที่สุด ซึ่งจากผลที่ได้นี้จึงได้ทำการเลือกสารว่องไวปฏิกิริยาชนิดดังกล่าวไปใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ขึ้นใหม่ในกระบวนการอัดรีดและขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป ซึ่งจากผลการทดลองก็พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่ได้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างจากพอลิเมอร์ผสมสูตรเดียวกัน แต่เตรียมในเครื่องผสมแบบปิด คือมีลักษณะการแยกตัวของ SAN กับ NR เป็นชั้นๆ ซึ่งผลดังกล่าวนี้เกิดขึ้นมาจากการที่เฟสของ SAN และ NR นั้นเข้ากันได้ไม่ดีพอและไม่คงรูปในระหว่างกระบวนการผสม จึงเกิดการกลับมารวมตัวกันและเมื่อพอลิเมอร์ผสมนั้นถูกดันให้ไหลออกมาจากเครื่องอัดรีดก็จะเกิดการไหลไม่พร้อมกันจึงทำให้เกิดการแยกเฟสกันได้อย่างชัดเจน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงได้มีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมในระบบใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการอัดรีดและขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป โดยใช้ SAN ผสมกับยาง MNR และ ENR ซึ่งจากผลการทดลองนั้นพบว่าการใช้ยางผสมของ MNR กับ ENR นั้นจะทำให้สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ได้นั้นมีลักษณะของเฟส NR ที่เสถียรกว่าการใช้ SMA และ MA เป็นสารว่องไวปฏิกิริยา เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของหมู่แอนไฮไดรด์ใน MNR กับ หมู่เอพอกไซด์ใน ENR ทำให้เกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลยาง ส่งผลทำให้เฟสของยางคงตัวขึ้น

จากผลของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ในระบบ MNR และ ENR นั้นพบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ใช้ 3MNR นั้นจะมี tensile strength, elongation at break และ impact strength ที่ดีกว่า 5MNR ที่มีสัดส่วนของ MNR และ ENR เท่ากัน และเมื่อพิจารณาพอลิเมอร์ผสม SAN/NR ที่ใช้ 3MNR ร่วมกับ ENR นั้นพบว่าการใช้ 3MNR ต่อ ENR ในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 นั้นจะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีค่า tensile strength และ % elongation at break สูงกว่าสัดส่วนอื่นๆ และรองลงมาก็คือ 3MNR ต่อ ENR ในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 และ 90 ต่อ 10 ตามลำดับ แต่ค่า impact strength นั้นมีแนวโน้มในทิศทางตรงกันข้าม กล่าวคือ 3MNR ต่อ ENR ในอัตราส่วน 90 ต่อ 10 นั้นจะทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีค่า impact strength สูงที่สุด รองลงมาก็คือ 3MNR ต่อ ENR ในอัตราส่วน 70 ต่อ 30 และ 50 ต่อ 50 ตามลำดับ ซึ่งจากผลของสมบัติการดึงยืดและสมบัติการรับแรงกระแทกนั้นมีแนวโน้มในทิศทางที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการเลือกสูตรที่เหมาะสมไปทำการศึกษาผลของสัดส่วนการผสมของ SAN ต่อ NR และผลของการ ใช้ SAN และ SANog ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมนั้น จึงได้ทำการเลือกสูตรการผสมที่ใช้ 3MNR และมีสัดส่วนของ 3MNR ต่อ ENR เป็น 70 ต่อ 30 เนื่องจากจะได้ทั้งสมบัติการดึงยืดและสมบัติการรับแรงกระแทกที่พอดีกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การใช้ SANog ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมนั้น จะทำให้พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้มีค่าความแข็งแรงต่อการดึงยืดและมีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมโดยใช้ SAN เกรดปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของ SAN/NR ด้วยกระบวนการอัดรีดและขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปนั้น จะต้องทำให้เฟสของยางเกิดความคงรูป ซึ่งสามารถทำได้โดยการทำให้เกิดการเชื่อมขวางของเฟสยางในระหว่างกระบวนการผสม และสารว่องไวปฏิกิริยาที่ใช้ขึ้นนั้นก็ควรจะต้องไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมขวางที่เร็วจนเกินไป เพราะจะทำให้ยางเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนขนาดใหญ่และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไม่ดีขึ้น

5.2.2 ควรทำการปรับเปลี่ยนสัดส่วนของ MNR และ ENR ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมของ SAN/NR เพื่อให้เกิดระดับการเชื่อมขวางที่เหมาะสม ซึ่งระดับการเกิดการเชื่อมขวางที่เหมาะสมนั้นจะทำให้เกิดการกระจายตัวของเฟสยางที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะช่วยให้พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้นั้นมีสมบัติเชิงกลที่ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Thanit, Clearpoungpit. (2010). Data of SAN off grade, 29 April.
- [2] Brydson, John Andrew. (1989). **Plastic materials** . London. Butterworths.
- [3] Phinyocheep, P., Saelao J., and Buzaré J. Y. (2007). "Mechanical properties, morphology and molecular characteristics of poly(ethylene terephthalate) toughened by natural rubber." **Polymer** 48, 19 (September): 5702 - 5712
- [4] Bitinis, N. et al. (2011). "Structure and properties of polylactide/natural rubber blends." **Materials Chemistry and Physics** 129, 3 (October): 823 - 831.
- [5] Carone, E. et al. (2000). "In situ compatibilization of polyamide 6/natural rubber blends with maleic anhydride." **Polymer** 41, 15 (October): 5929-5935.
- [6] Tanrattanakul, Varaporn, Nutthorn Sungthong, and Phatchareeya Raksa. (2008). "Rubber toughening of nylon 6 with epoxidized natural rubber." **Polymer Testing** 27, 7 (October): 794 - 800.
- [7] George, Snoopy et al. (1999). "Rheological behaviour of thermoplastic elastomers from polypropylene/acrylonitrile-butadiene rubber blends: effect of blend ratio, reactive compatibilization and dynamic vulcanization." **Polymer** 40, 15 (July): 4325-4344.
- [8] Ptick, A. et al. (2007). "Morphology and thermal behaviour of SAN/EPDM blends." **Express Polymer Letters** 1, 6 (May): 370 - 377.
- [9] Harrats, C. et al. (2004). "Phase morphology development and stabilization in polycyclohexylmethacrylate/polypropylene blends: uncompatibilized and reactively compatibilized blends using two reactive precursors." **Polymer** 45, 24 (November): 8115-8126.
- [10] George, Benny, S. Maiti, and I. Varma. (2007). "Impact modification of SAN using NR-g-SAN copolymers." **Journal of Materials Science** 42, 19 (June): 8262-8270.
- [11] Brydson, John Andrew. (1989). **Plastic materials** . London. Butterworths.
- [12] พงษ์ธร แซ่ฮุย. (2548). ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. กรุงเทพฯ. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ.
- [13] Nakason, C. et al. (2002). "Rheological properties of maleated natural rubber and natural rubber blends." **Polymer Testing** 21, 4 (March): 449-455.

- [14] Saelao, J., and P. Phinyocheep. (2005). "Influence of styrene on grafting efficiency of maleic anhydride onto natural rubber." **Journal of Applied Polymer Science** 95, 1 (January): 28-38.
- [15] Nakason, C. et al. (2006). "Rheological, thermal and morphological properties of maleated natural rubber and its reactive blending with poly(methyl methacrylate)." **Polymer Testing** 25, 5 (August): 656-667.
- [16] Jozef Bicerano. (2010). Compatibilizers. Accessed Date. Available from <http://www.plas2006.com/UploadFile/TopicFile/20063112235119.doc>
- [17] Koning, Cor et al. (1998). "Strategies for compatibilization of polymer blends." **Progress in Polymer Science** 23, 4 (August): 707-757.
- [18] Schneider, Michael, Tha Pith, and Morand Lambla. (1996). "Structured latex particles as impact modifiers for poly(styrene-co-acrylonitrile) blends." **Polymers for Advanced Technologies** 7, 7 (October): 577-588.
- [19] Hale, W., H. Keskkula, and D. R. Paul. (1999). "Effect of crosslinking reactions and order of mixing on properties of compatibilized PBT/ABS blends." **Polymer** 40, 13 (June): 3665-3676.
- [20] Kitayama, N., H. Keskkula, and D. R. Paul. (2000). "Reactive compatibilization of nylon 6/styrene-acrylonitrile copolymer blends. Part 1. Phase inversion behavior." **Polymer** 41, 22 (October): 8041-8052.
- [21] Oommen, Zachariah et al. (1997). "Melt rheological behaviour of natural rubber/poly(methyl methacrylate)/natural rubber-g-poly(methyl methacrylate) blends." **Polymer** 38, 22 (October): 5611-5621.
- [22] George, Snoopy et al. (1995). "Blends of isotactic polypropylene and nitrile rubber: morphology, mechanical properties and compatibilization." **Polymer** 36, 23 (October): 4405-4416.
- [23] Tacx, J. C. J. F. et al. (2002). "Phase behaviour of ternary system styrene - maleic anhydride (SMA) and two styrene - acrylonitrile (SAN) copolymers having different compositions." **Polymer** 43, 3 (February): 737-742.

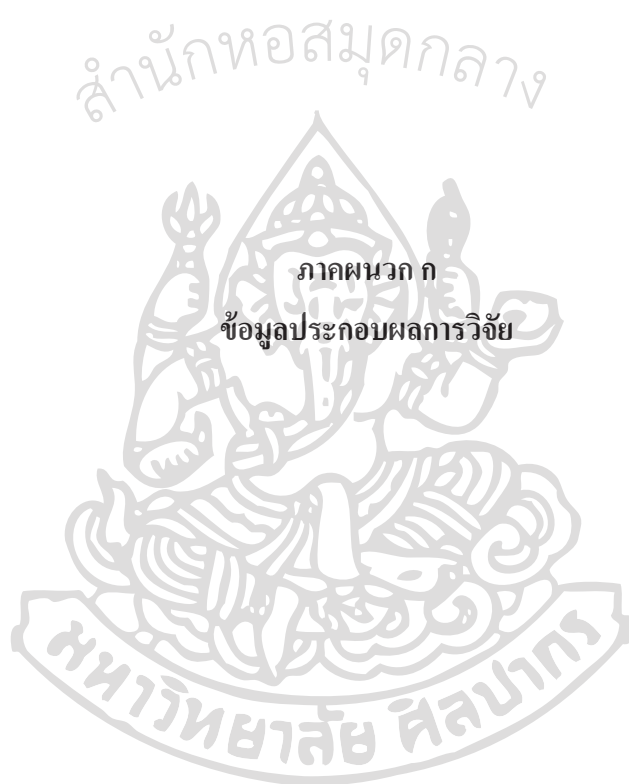
- [24] Hernández, M. et al. (2006). "Influence of Type of Vulcanization on Rheological and Thermal Properties of PP/NR Blends." **Polymer Bulletin** 56, 2 (December): 285-291.
- [25] Nakason, Charoen, Sitisaiyidah Saiwari, and Azizon Kaesaman. (2006). "Rheological properties of maleated natural rubber/polypropylene blends with phenolic modified polypropylene and polypropylene-g-maleic anhydride compatibilizers." **Polymer Testing** 25, 3 (November): 413-423.
- [26] Borggreve, R. J. M., R. J. Gaymans, and J. Schuijjer. (1989). "Impact behaviour of nylon-rubber blends: 5. Influence of the mechanical properties of the elastomer." **Polymer** 30, 1 (January): 71-77.



สำนักหอสมุดกลาง



ภาคผนวก



ก.1 ข้อมูลการทดลองของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

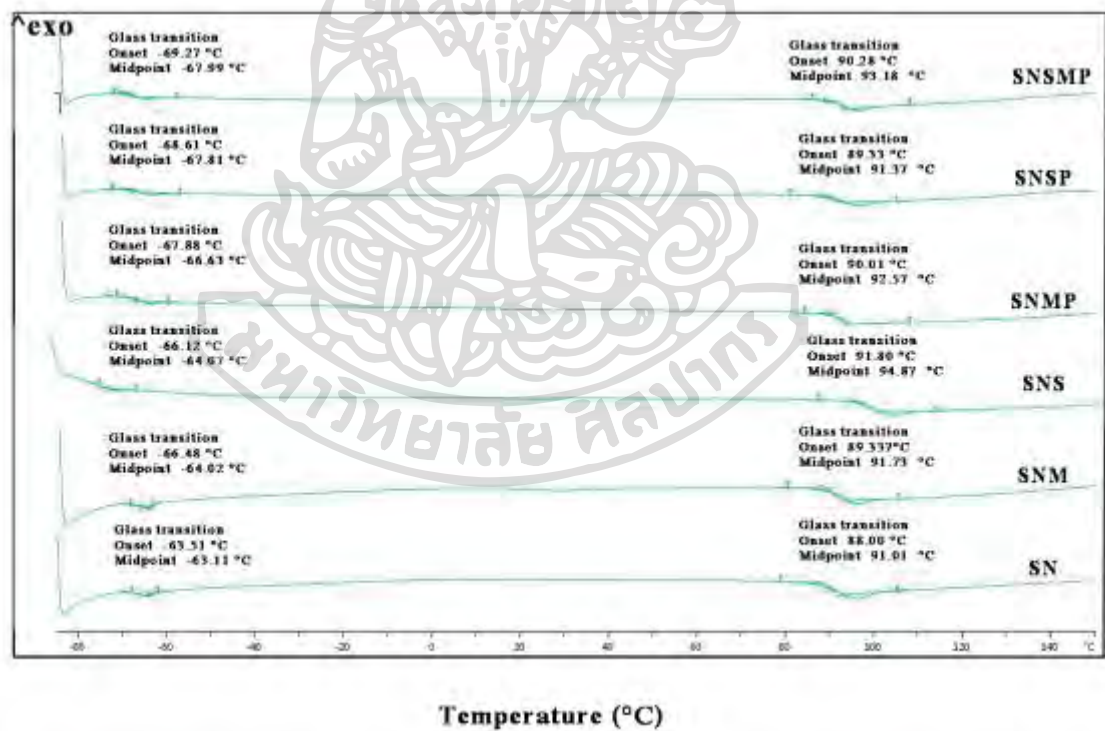
สูตร	ดัชนีการไหล (g/10min)
S	3.076 ±0.15
SN	19.683 ±0.72
SNM	10.098 ±0.38
SNS	11.107 ±0.57
SNSM	9.375 ±0.40
SNMP	2.026 ±0.08
SNSP	5.568 ±0.25
SNSMP	3.524 ±0.28

ตารางที่ ก.2 แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus (MPa)
S	60.63 ±2.63	8.10 ±0.09	813.00 ±33.80
SN	25.70 ±0.70	7.75 ±0.85	509.00 ±12.70
SNM	23.72 ±0.42	11.80 ±2.41	503.46 ±15.02
SNS	25.58 ±0.55	9.07 ±1.90	516.40 ±11.33
SNSM	24.20 ±0.41	18.13 ±2.39	530.00 ±12.60
SNMP	20.82 ±1.19	7.76 ±0.56	445.27 ±15.21
SNSP	24.62 ±1.29	7.71 ±1.57	533.90 ±14.73
SNSMP	23.20 ±1.81	8.12 ±1.51	495.11 ±14.53

ตารางที่ ก.3 แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ MA, SMA และ peroxide

สูตร	Impact strength (kJ/m ²)
S	1.76 ±0.36
SN	2.60 ±0.87
SNM	2.23 ±0.20
SNS	4.67 ±0.81
SNSM	2.60 ±0.57
SNMP	2.24 ±0.68
SNSP	2.08 ±0.48
SNSMP	1.72 ±0.43



ภาพที่ ก.1 แสดง DSC Thermogram ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide

ก.2 ข้อมูลการทดลองของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin

ตารางที่ ก.4 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin

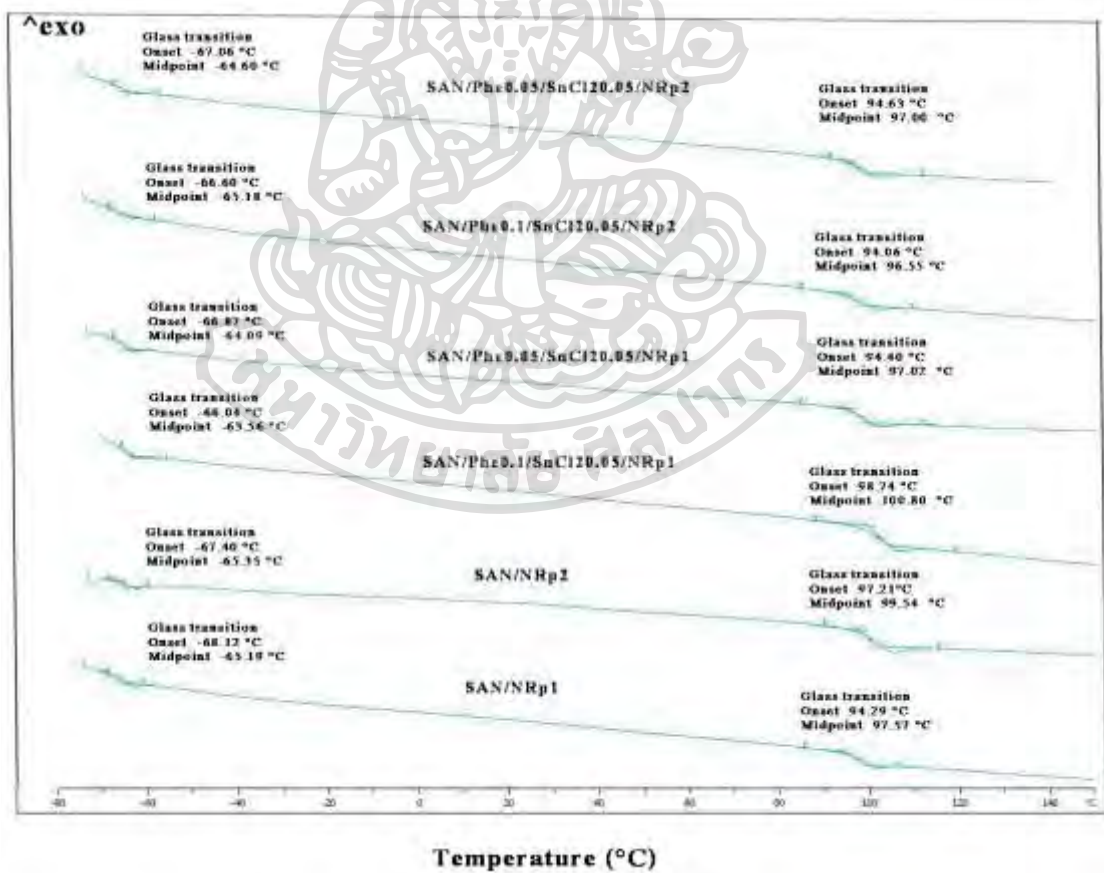
สูตร	ดัชนีการไหล (g/10min)
SAN/NR	19.68 ±0.72
SAN/NRp1	9.90 ±0.57
SAN/NRp2	14.94 ±1.07
SAN/Phe0.1/SnCl ₂ 0.05/NRp1	3.66 ±0.21
SAN/Phe0.05/SnCl ₂ 0.05/NRp1	5.58 ±0.21
SAN/Phe0.1/SnCl ₂ 0.05/NRp2	5.25 ±0.24
SAN/Phe0.05/SnCl ₂ 0.05/NRp2	6.42 ±0.23

ตารางที่ ก.5 แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus (MPa)
SAN/NR	25.70 ±0.70	7.75 ±0.85	509.00 ±12.70
SAN/NRp1	29.12 ±0.63	8.66 ±1.18	500.00 ±12.70
SAN/NRp2	29.22 ±0.55	8.44 ±0.49	506.00 ±8.05
SAN/Phe0.1/SnCl ₂ 0.05/NRp1	31.41 ±2.06	7.57 ±0.88	518.44 ±17.56
SAN/Phe0.05/SnCl ₂ 0.05/NRp1	28.88 ±1.95	7.13 ±0.91	511.00 ±10.98
SAN/Phe0.1/SnCl ₂ 0.05/NRp2	28.38 ±0.91	7.52 ±0.91	491.00 ±10.90
SAN/Phe0.05/SnCl ₂ 0.05/NRp2	29.40 ±1.38	7.70 ±0.96	507.00 ±15.30

ตารางที่ ก.6 แสดง impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ phenolic resin

สูตร	Impact strength (kJ/m ²)
SAN/NR	2.60 ±0.87
SAN/NRp1	1.29 ±0.33
SAN/NRp2	1.93 ±0.49
SAN/Phe0.1/SnCl2 0.05/NRp1	2.50 ±0.82
SAN/Phe0.05/SnCl20.05/NRp1	2.67 ±0.81
SAN/Phe0.1/SnCl2 0.05/NRp2	2.22 ±0.76
SAN/Phe0.05/SnCl2 0.05/NRp2	2.18 ±0.55



ภาพที่ ก.2 DSC Thermogram ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับสารว่องไวปฏิกิริยาในระบบ phenolic resin

ก.3 ข้อมูลผลการทดลองของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide ซึ่งผสมในกระบวนการอัดรีด

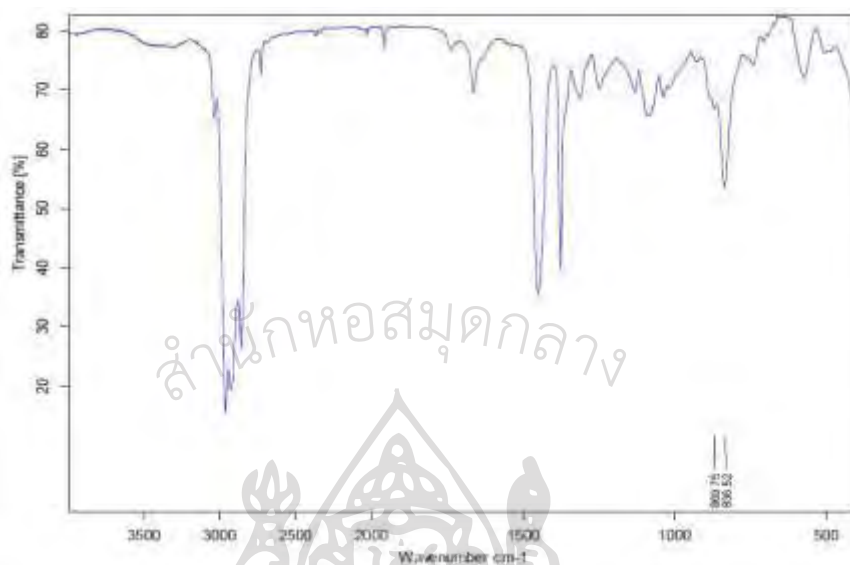
ตารางที่ ก.7 แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide ซึ่งผสมในกระบวนการอัดรีด

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus (MPa)
S	57.369 ±4.15	5.230 ±0.55	1543.826 ±38.42
SN	23.300 ±1.33	6.370 ±0.73	655.000 ±182.00
SNS	21.000 ±1.02	7.090 ±0.61	525.000 ±142.00
SNSM	19.700 ±0.14	6.020 ±0.28	644.000 ±77.30
SNSMP	28.500 ±0.51	6.060 ±0.34	873.000 ±37.6

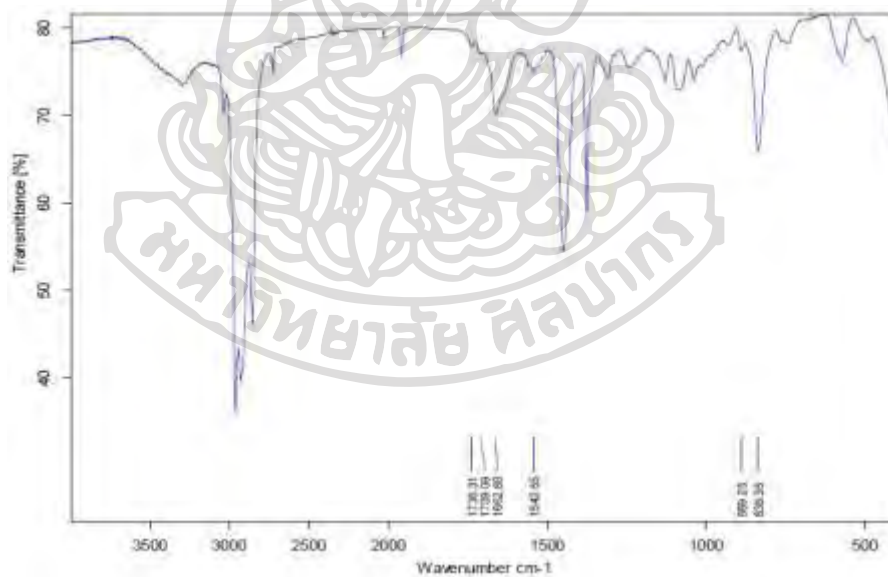
ตารางที่ ก.8 แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR กับ สารว่องไวปฏิกิริยา ในระบบ MA, SMA และ peroxide ซึ่งผสมในกระบวนการอัดรีด

สูตร	Impact strength (kJ/m ²)
S	1.80 ±0.39
SN	3.07 ±0.40
SNS	3.17 ±0.32
SNSM	2.92 ±0.20
SNSMP	2.27 ±0.27

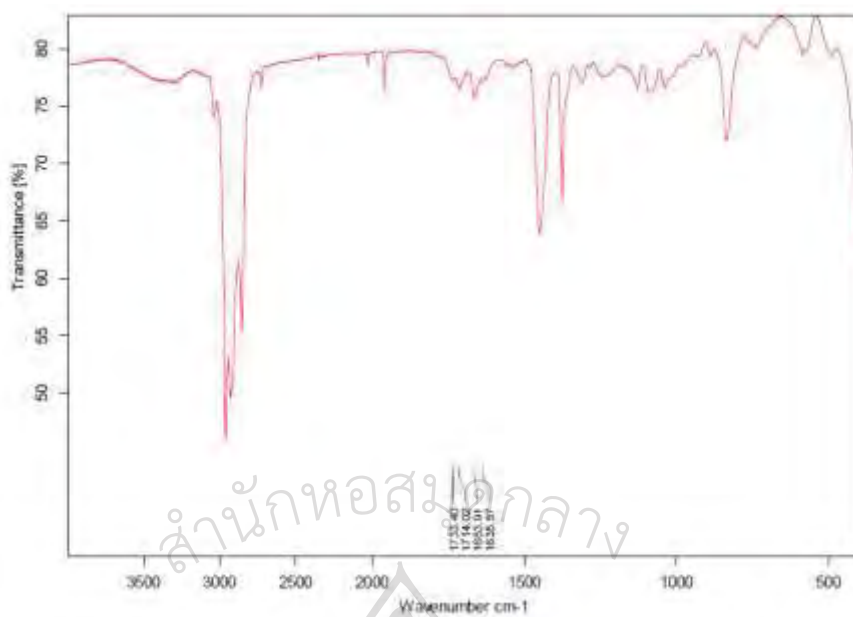
ก.4 ข้อมูลผลการทดลองของพอลิเมอร์ผสม SAN/NR โดยใช้ NR ที่มีการตัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR โดยกระบวนการอีดรีด



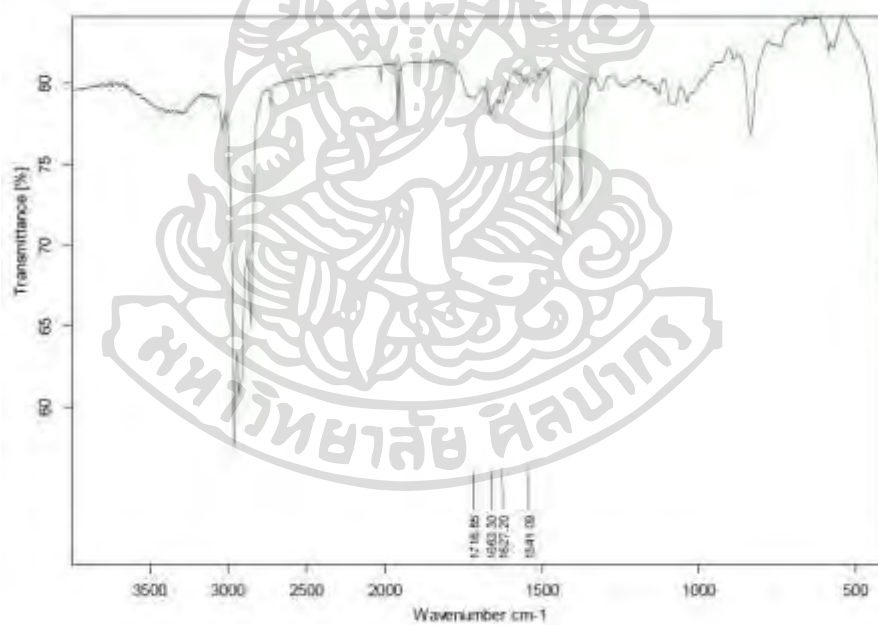
ภาพที่ ก.3 แสดงกราฟ FTIR ของยาง ENR



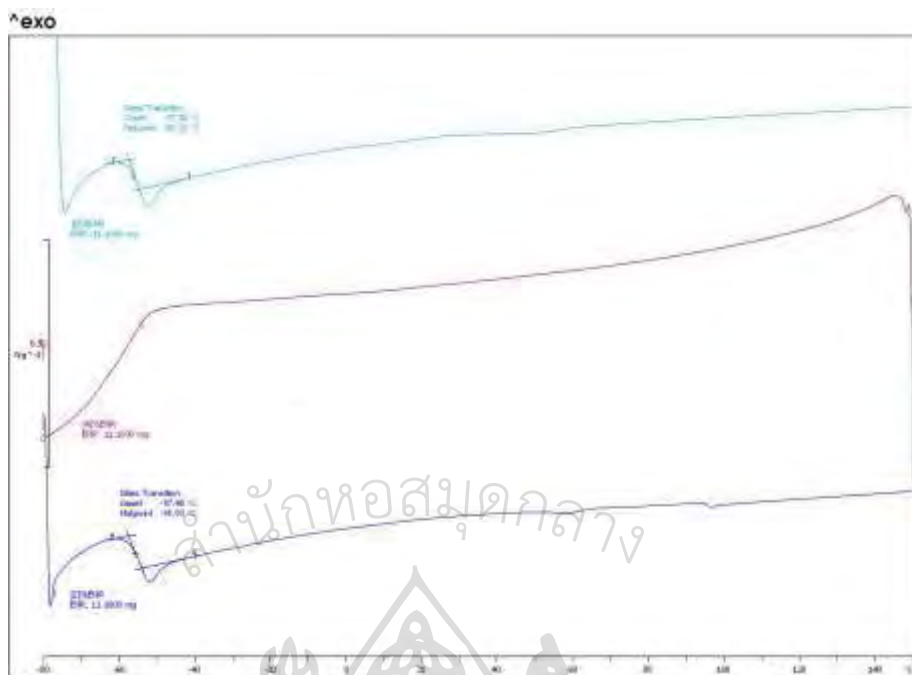
ภาพที่ ก.4 แสดงกราฟ FTIR ของยาง NR



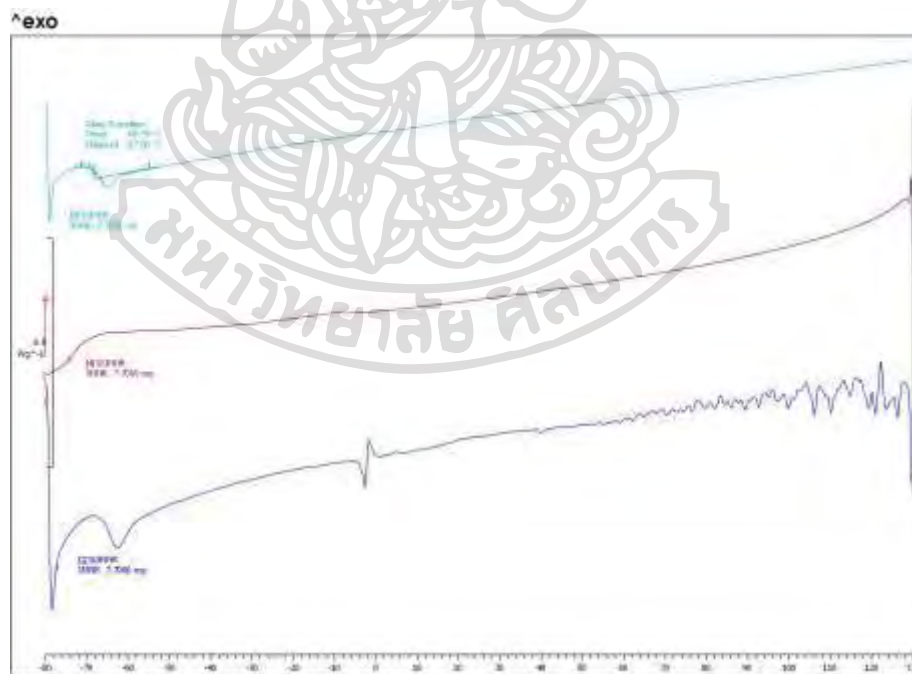
ภาพที่ ก.5 แสดงกราฟ FTIR ของยาง 3MNR



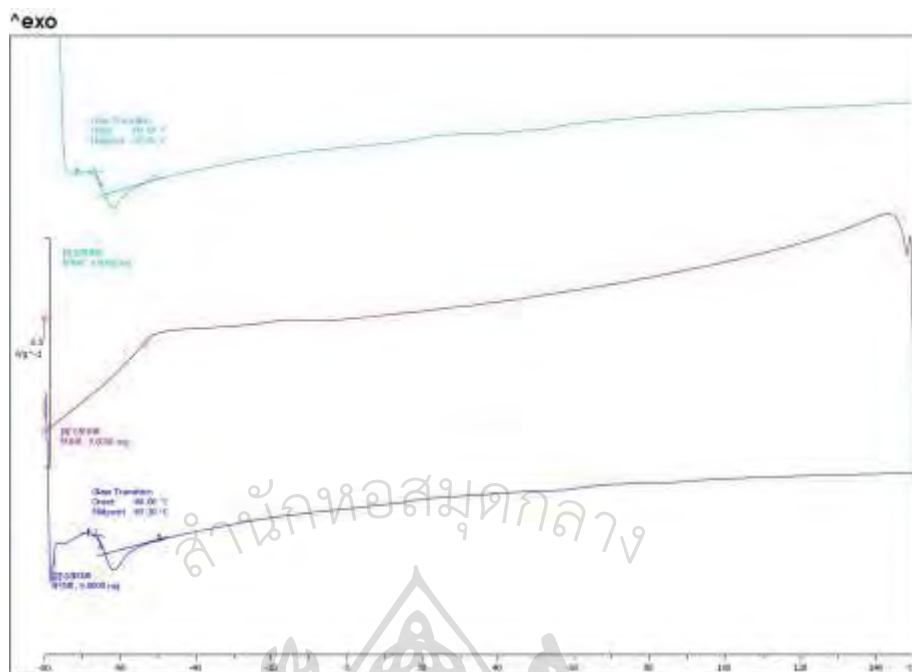
ภาพที่ ก.6 แสดงกราฟ FTIR ของยาง 5MNR



ภาพที่ ก.7 DSC thermogram ของยาง ENR



ภาพที่ ก.8 DSC thermogram ของยาง 3MNR



ภาพที่ ก.9 DSC thermogram ของยาง 5MNR

ตารางที่ ก.9 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสม SAN และยางธรรมชาติดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR ที่เตรียมโดยกระบวนการอีดรีด

สูตร	ดัชนีการไหล (g/10min)
3MNR	4.71 ±0.25
5MNR	3.11 ±0.11
ENR 100	4.56 ±0.36
3MNR90 ENR10	1.32 ±0.13
3MNR70 ENR30	0.65 ±0.04
3MNR50 ENR50	0.53 ±0.03
5MNR90 ENR10	0.97 ±0.06
5MNR70 ENR30	0.75 ±0.03
5MNR50 ENR50	0.72 ±0.03

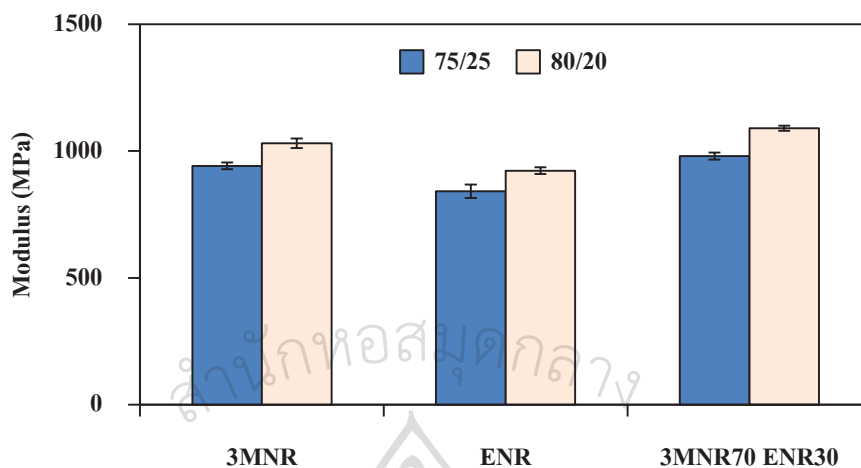
ตารางที่ ก.10 แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสม SAN และยางธรรมชาติดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR ที่เตรียมโดยกระบวนการอัดรีด

สูตร	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Modulus (MPa)
3MNR	31.70 ±1.08	5.88 ±0.24	941.00 ±13.2
5MNR	30.00 ±1.13	5.42 ±0.33	929.00 ±10.3
ENR100	24.70 ±2.27	6.27 ±0.20	841.00 ±26.2
3MNR90 ENR10	35.90 ±0.97	5.99 ±0.25	1000.00 ±13.9
3MNR70 ENR30	35.80 ±0.37	7.38 ±0.34	980.00 ±14.2
3MNR50 ENR50	39.00 ±0.33	8.08 ±0.39	1030.00 ±13.3
5MNR90 ENR10	36.80 ±0.31	7.41 ±0.49	998.00 ±20.6
5MNR70 ENR30	35.50 ±0.36	7.86 ±0.46	974.00 ±10.7
5MNR50 ENR50	36.80 ±0.31	7.41 ±0.49	998.00 ±20.6

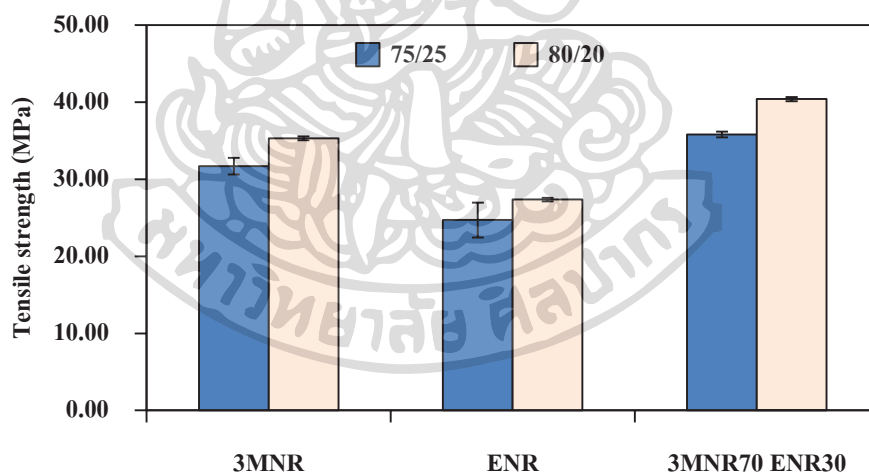
ตารางที่ ก.11 แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN และยางธรรมชาติดัดแปลงหมู่ฟังก์ชัน MNR และ ENR ที่เตรียมโดยกระบวนการอัดรีด

สูตร	Impact strength (kJ/m ²)
3MNR	1.88 ±0.10
5MNR	1.57 ±0.12
ENR100	2.16 ±0.18
3MNR 90 ENR10	2.65 ±0.17
3MNR 70 ENR30	2.31 ±0.16
3MNR 50 ENR50	2.25 ±0.16
5MNR 90 ENR10	2.43 ±0.10
5MNR 70 ENR30	2.10 ±0.18
5MNR 50 ENR50	1.85 ±0.20

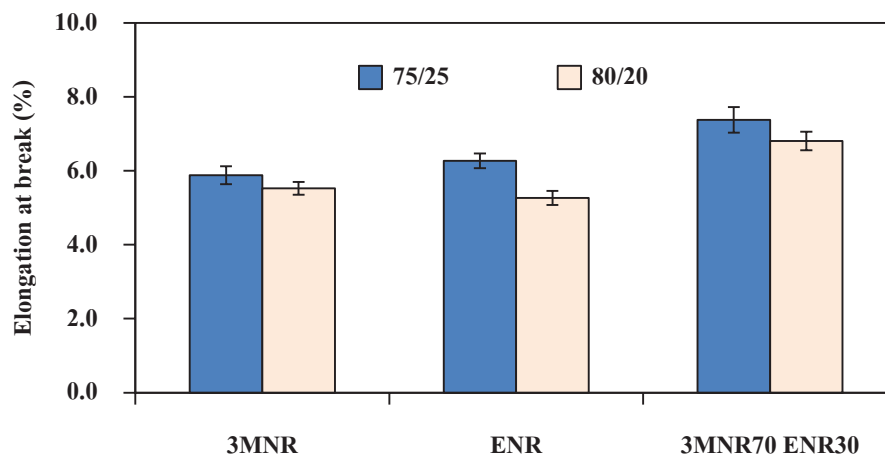
ก.4 ข้อมูลผลการทดลองการเปรียบเทียบผลของสัดส่วนในการผสมระหว่าง SAN กับ NR ที่ได้จากระบวนการอัดรีด



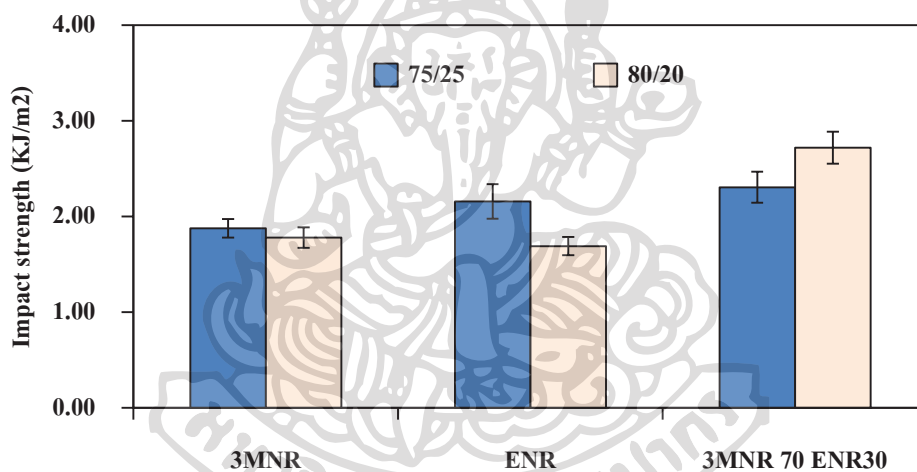
ภาพที่ ก.10 แผนภูมิแสดงค่า modulus ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR, SAN/ENR, SAN/3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20



ภาพที่ ก.11 แผนภูมิแสดงค่า tensile strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20



ภาพที่ ก.12 แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR70 ENR30 ใน สัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20



ภาพที่ ก.13 แผนภูมิแสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสม SAN/3MNR70 ENR30 ใน สัดส่วน SAN/NR = 75/25 และ 80/20

ตารางที่ ก.12 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR, ENR และ 3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN ต่อ NR ในสัดส่วน 75/25 และ 80/20

สูตร	ดัชนีการไหล (g/10min)	
	75/25	80/20
3MNR	4.71 ±0.25	4.56 ±0.23
ENR100	4.56 ±0.36	3.70 ±0.10
3MNR70 ENR30	0.65 ±0.04	1.63 ±0.08

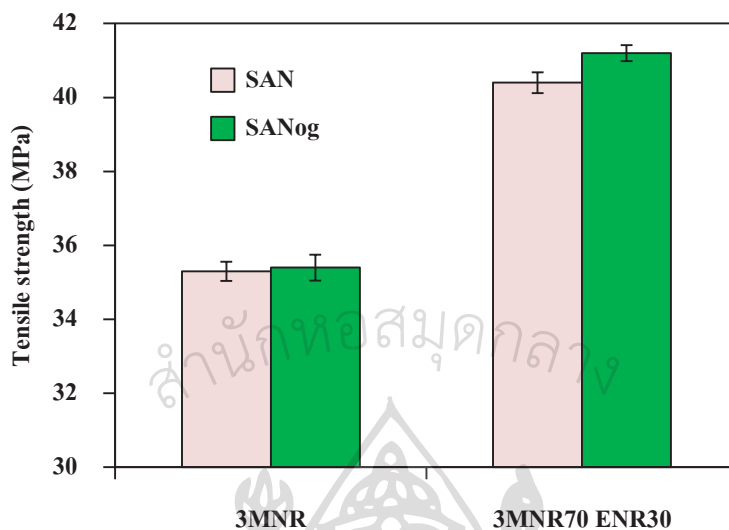
ตารางที่ ก.13 แสดงสมบัติการดึงยึดของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR, ENR และ 3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN ต่อ NR ในสัดส่วน 75/25 และ 80/20

Tensile properties	สัดส่วน SAN/NR	สูตร		
		3MNR	ENR100	3MNR70 ENR30
Tensile strength (MPa)	75/25	31.70 ±1.08	24.70 ±2.27	35.80 ±0.37
	80/20	35.30 ±0.26	27.36 ±0.24	40.40 ±0.28
Elongation at break (%)	75/25	5.88 ±0.24	6.27 ±0.20	7.38 ±0.34
	80/20	5.53 ±0.17	5.26 ±0.19	6.81 ±0.25
Modulus (MPa)	75/25	941.00 ±13.20	841.00 ±26.20	980.00 ±14.20
	80/20	1030.00 ±18.90	922.44 ±13.23	1090.00 ±10.40

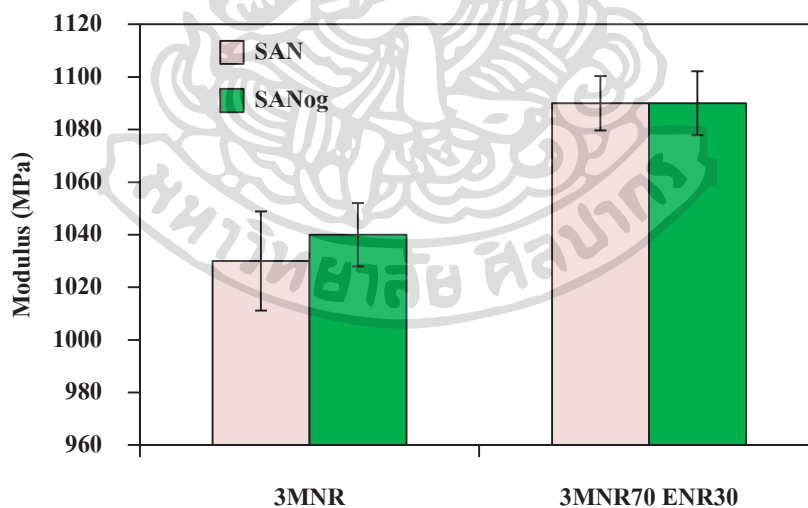
ตารางที่ ก.14 แสดงค่า impact strength ของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR, ENR และ 3MNR70ENR30 ในสัดส่วน SAN ต่อ NR ในสัดส่วน 75/25 และ 80/20

สูตร	Impact strength (kJ/m ²)	
	75/25	80/20
3MNR	1.88 ±0.1	1.78 ±0.11
ENR100	2.16 ±0.18	1.69 ±0.10
3MNR70 ENR30	2.31 ±0.16	2.72 ±0.17

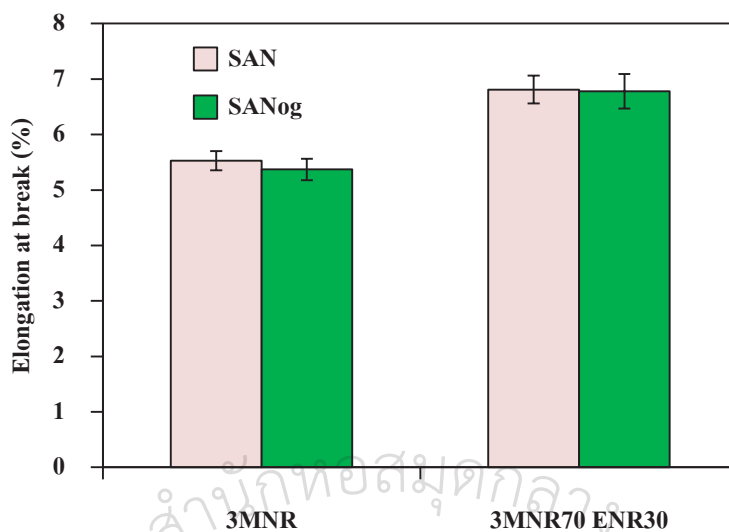
ก.5 ข้อมูลผลการเปรียบเทียบการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสม SAN/NR (80/20)



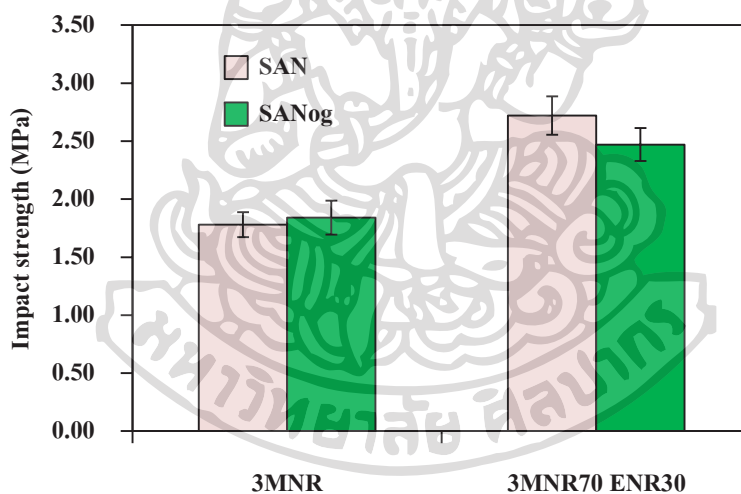
ภาพที่ ก.14 แผนภูมิแสดงค่า tensile strength เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20)



ภาพที่ ก.15 แผนภูมิแสดงค่า modulus เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20)



ภาพที่ ก.16 แผนภูมิแสดงค่า % elongation at break เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20)



ภาพที่ ก.17 แผนภูมิแสดงค่า impact strength เปรียบเทียบผลของการใช้ SAN เกรดปกติและ SANog เพื่อเตรียมพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70 ENR30 (80/20)

ตารางที่ ก.15 แสดงค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมในสูตร 3MNR และ 3MNR70ENR30 ที่เตรียมด้วย SAN และ SANog

SAN ที่ใช้	สูตร	Melt flow index (g/10min)
SAN	3MNR	4.56 ±0.23
	3MNR70 ENR30	1.63 ±0.08
SANog	3MNR	4.48 ±0.24
	3MNR70 ENR30	1.59 ±0.06



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวจารีนุช โรจน์เสถียร
 ที่อยู่ 47/2 หมู่ 3 ตำบลพงศัประศาสน์ อำเภอบางสะพาน จังหวัด
 ประจวบคีรีขันธ์ 77140
 E-mail address ja_35mom@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุ
 พอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยศิลปากร
 พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิ
 เมอร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการฝึกงาน

พ.ศ. 2553 ฝึกงานที่บริษัท ไทยนาม พลาสติกส์ จำกัด (มหาชน) แผนกวิจัยและ
 พัฒนาผลิตภัณฑ์

ทุนที่ได้รับระหว่างการศึกษา

พ.ศ. 2553 – 2554 ทุนการศึกษาและทุนผู้ช่วยอาจารย์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ
 คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผลงานวิจัย

1. Jareenuch Rojsatean, Supakij Suttireungwong, and Manus Seadan. (2012).
 “Properties of Compatibilized SAN/NR Blends.” **Advance Materials Research**
 488-489, 62 (March): 62 - 66