

การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของ โพลีเอททีลีนและยางธรรมชาติเบสึ้นค้โดยวิธีฉายรังสีแกมมา
เพื่อให้เกิดครอสลิงค์บางส่วน



นายรักพงษ์ รุทธนานุรักษ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-1752-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MECHANICAL PROPERTIES IMPROVEMENT OF POLYETHYLENE-NATURAL
RUBBER BLEND BY PARTIAL CROSSLINKING WITH GAMMA-RAY



Mr.Rakpong Ruttananukrak

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Academic Year 2005

ISBN 974-14-1752-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเอททีลีนและยางธรรมชาติเบสไลน์
โดยวิธีฉายรังสีแกมมาเพื่อให้เกิดครอสลิงค์บางส่วน

โดย

นายรักพงษ์ รุทธนานุรักษ์


สาขาวิชา

นิเวศลิยร์เทคโนโลยี

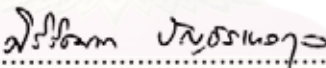
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์

คณะกรรมการศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

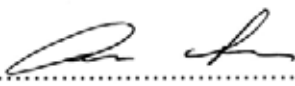

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.คิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมยศ ศรีสถิตย์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)

รักพงษ์ รุทธนานุรักษ์ : การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเอททีลินและยางธรรมชาติ
เบสตันด์โดยวิธีฉายรังสีแกมมาเพื่อให้เกิดครอสลิงค์บางส่วน. (MECHANICAL PROPERTIES
IMPROVEMENT OF POLYETHYLENE-NATURAL RUBBER BLEND BY PARTIAL
CROSSLINKING WITH GAMMA-RAY) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์, 81 หน้า.
ISBN 974-14-1752-7.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของโพลีเอททีลินความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และ
ยางธรรมชาติ (NR) เบสตันด์โดยวิธีการฉายรังสีแกมมา เพื่อให้เกิดครอสลิงค์บางส่วน โดย NR/LDPE
blend เตรียมขึ้นด้วยเครื่องผสมภายในร่วมกับฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และ
ฉายรังสีแกมมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพเชิงกลของ NR/LDPE blend การหาความเข้ากันได้ของ NR และ
LDPE ทำโดยหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน โดยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) และ
พิจารณาจาก Photomicrograph โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จากผลการทดสอบพบว่า NR/LDPE
blend ที่อัตราส่วน 50/50 60/40 และ 70/30 ที่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% เข้ากันได้ดี เมื่อ
NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนดังกล่าวไปทำการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 – 70 kGy แล้วทดสอบ
คุณสมบัติเชิงกล และหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกลกับปริมาณรังสี ได้ผลคือ ค่าความ
ต้านทานแรงดึง ค่าความแข็งแรงของ NR/LDPE blend มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่
อัตราส่วน 50/50 ส่วนค่าสัดส่วนความเป็นเจล ค่าดัชนีการไหล ค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจน
ต่ำสุดที่สามารถทำให้ลูกคิด ไฟได้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันค่าสัดส่วน
การบวมน้ำมันมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ค่าสัดส่วนความเป็นเจลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่
ปริมาณรังสีเท่ากับ 30 kGy หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี... ลายมือชื่อนิสิต.....รักพงษ์ รุทธนานุรักษ์
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา2548.....

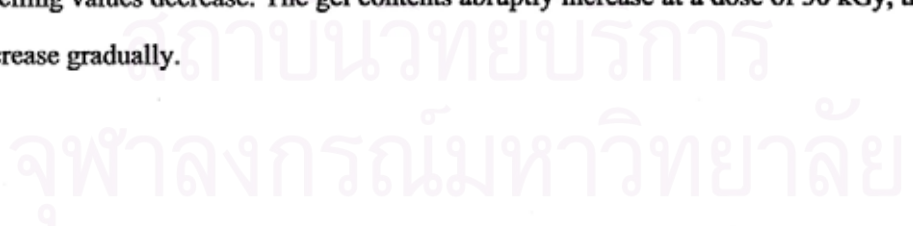
4570501121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: NATURAL RUBBER / LOW DENSITY POLYETHYLENE / PHTHALIC ANHYDRIDE/ RADIATION PARTIAL CROSSLINKED

RAKPONG RUTTANANUKRAK : MECHANICAL PROPERTIES IMPROVEMENT OF POLYETHYLENE-NATURAL RUBBER BLEND BY PARTIAL CROSSLINKING WITH GAMMA-RAY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHYAGRIT SIRI-UPATHUM

81 pp. ISBN 974-14-1752-7

Mechanical properties improvement of low density polyethylene (LDPE)-natural rubber (NR) blend by partial crosslinking with gamma-ray was studied. NR / LDPE blends were prepared by melt blending in an internal mixer at 140 °C using phthalic anhydride (PA) as compatibilizer. Morphology and glass transition temperature (T_g) of NR / LDPE blend with varied concentration of PA was investigated by photomicrographs using scanning electron microscope (SEM) and differential scanning calorimetry (DSC) respectively. It was found that 1.5% of PA produced well dispersed LDPE in a NR matrix. The result showed that NR/LDPE blend of 50/50, 60/40 and 70/30 with 1.5% PA were at optimum and were chosen to be irradiated at the doses from 10 to 70 kGy and tested for mechanical properties. The tensile and hardness properties were found to increase with radiation dose. Limiting oxygen index, melt flow index properties and gel contents were found to increase whereas swelling values decrease. The gel contents abruptly increase at a dose of 30 kGy, then the gel contents increase gradually.



DepartmentNuclear Technology.....	Student's signature..... <i>รศ.ดร. ชยกริต สิริอุพัทธ์</i>
Field of studyNuclear Technology.....	Advisor's signature..... <i>Chyagrit S.</i>
Academic year2005.....	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ความเข้าใจและกำลังใจอย่างดียิ่งจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีรวมทั้งขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ นิสิตภาควิชานิเวศลิษฐ์เทคโนโลยีโดยเฉพาะแจ่ม ม้อย หน้อย พีแอร์ พีโอ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้อทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบตัวอย่างและการใช้เครื่องมือ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ที่สนับสนุน ให้กำลังใจ และความรักมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณ คุณแม่ของนางสาว เขมะจิตติ เขมะโยธินที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านค่าทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 รังสีแกมมา.....	6
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นกับโพลีเมอร์ฉายรังสี.....	7
2.3 ผลของออกซิเจนที่มีต่อการเชื่อมโยงโมเลกุล.....	12
2.4 โพลีเมอร์ผสม.....	14
2.5 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์.....	16
2.6 ยางธรรมชาติ.....	18
2.7 โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ.....	22
3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 สารเคมี.....	27
3.2 เครื่องแก้ว.....	28

บทที่	หน้า
3.3 เครื่องมือ.....	28
3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.5 การเตรียมและขึ้นรูป NR/LDPE blend ที่ไม่มีการเติมคอมแพททิบิไลเซอร์.....	35
3.6 การเตรียมและการขึ้นรูป NR/LDPE blend ที่มีฟทาสิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride, PA) เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์.....	36
3.7 การฉายรังสี NR/LDPE blend	38
3.8 การทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติ และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเบสึน็ดก่อนทำการฉายรังสี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscope (SEM).....	40
3.9 การทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติ และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเบสึน็ดก่อนทำการฉายรังสีด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC).....	40
3.10 การทดสอบความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend และค่าโมดูลัส100% ของ NR/LDPE blend.....	41
3.11 การทดสอบความแข็งของ NR/LDPE blend.....	41
3.12 การทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend.....	42
3.13 การทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend.....	43
3.14 การทดสอบดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend.....	44
3.15 การทดสอบดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลุดติดไฟ ได้ของ NR/LDPE blend.....	44
4 ผลการทดลอง.....	46
4.1 ผลการทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ก่อนทำการ ฉายรังสีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning electron microscope (SEM).....	46
4.2 ผลการทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ก่อนทำการ ฉายรังสีด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC).....	48
4.3 ผลการศึกษาและทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสมกับปริมาณรังสีแกมมา.....	48

บทที่

4.4	ผลการศึกษาและทดสอบค่าความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสมกับปริมาณรังสีแกมมา.....	49
4.5	ผลการศึกษาและทดสอบค่าโมดูลัส 100% ของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสมกับปริมาณรังสีแกมมา.....	50
4.6	ผลการศึกษาและทดสอบค่าความแข็ง ของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสมกับปริมาณรังสีแกมมา.....	51
4.7	ผลการศึกษาและทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend กับปริมาณรังสีแกมมา.....	52
4.8	ผลการศึกษาและทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend กับปริมาณรังสีแกมมา.....	53
4.9	ผลการศึกษาและทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ของ NR/LDPE blend กับปริมาณรังสีแกมมา.....	54
4.10	ผลการศึกษาและทดสอบค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลูกติดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์กับปริมาณรังสีแกมมา.....	55
5	สรุปผลการทดลองและ ข้อเสนอแนะ.....	56
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	56
5.2	วิจารณ์ผลการทดลอง.....	62
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	62
	รายการอ้างอิง.....	63
	ภาคผนวก.....	66
	ภาคผนวก ก ผลการทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ ของ NR/LDPE blend ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC).....	67
	ภาคผนวก ข Grafting reaction to obtain graft copolymer of NR and PE with PA linkage (NR~PA~PE) using Phthalic anhydride as compatibilizer.....	68
	ภาคผนวก ค ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend.....	69
	ภาคผนวก ง ผลการทดสอบต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend.....	71

บทที่

ภาคผนวก จ ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัส 100% ของ NR/LDPE blend.....	74
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE blend.....	76
ภาคผนวก ช ผลการทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend.....	78
ภาคผนวก ซ ผลการทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend.....	79
ภาคผนวก ฌ ผลการทดสอบดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ถูกติดไฟได้ของ NR/LDPE blend.....	80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่า G (X) และ G (S) ของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ เมื่อฉายรังสีที่อุณหภูมิห้องภายใต้ สูญญากาศหรือบรรยากาศไนโตรเจน	11
2.2 ชนิดของโพลีเมอร์เมื่อได้รับการฉายรังสี.....	12
2.3 แสดงปฏิกิริยาที่ออกซิเจนรวมตัวกับอนุมูลอิสระของโพลีเมอร์ เกิดเป็นอนุมูล อิสระของเปอร์ออกซี peroxy radicals (RO ₂ •) ทำให้เกิดการตัดทอน โมเลกุล (degradation).....	13
3.1 คุณสมบัติของฟθαลิกแอนไฮไดรด์.....	27
3.2 คุณสมบัติของเม็ดพลาสติก โพลีเอททิลีนความหนาแน่นต่ำ	28
3.3 แสดงสัดส่วนและน้ำหนักในการผสมยางธรรมชาติ STR 5L เม็ดพลาสติก โพลีเอททิลีนความหนาแน่นต่ำ.....	35
3.4 แสดงสัดส่วนและน้ำหนักในการผสมยางธรรมชาติ เม็ดพลาสติกโพลีเอททิลีน ความหนาแน่นต่ำ และปริมาณฟθαลิกแอนไฮไดรด์.....	38
4.1 แสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่มีฟθαลิก- แอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5.....	54

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีแกมมา โคบอลต์-60.....	7
2.2 แบบจำลองรูปแบบการผสมกันของโพลีเมอร์ในลักษณะต่างๆ.....	14
2.3 ตำแหน่งของบล็อค- และกราฟโคโพลีเมอร์ที่ตรงรอยต่อระหว่างผิว.....	15
2.4 Emulsification curve ของ EPR/PS (10/90) ที่เติม styrene-butylene-styrene triblock copolymer (SEBS).....	16
2.5 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ซึ่งเชื่อมช้อนกับยางและเทอร์โมพลาสติก.....	17
2.6 สูตรโครงสร้างของไอโซพรีน.....	18
2.7 กระบวนการผลิต ยางแท่ง STR 5L.....	21
2.8 กระบวนการผลิตโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำแบบใช้ถังความดันสูง.....	25
2.9 รูปลักษณะกึ่งก้านของ โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ โพลีเอททีลีนความหนาแน่นสูงและโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น.....	26
3.1 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง(two roll mill).....	29
3.2 เครื่องบดผสมภายใน (internal mixer).....	29
3.3 เครื่องฉายรังสีแกมมา (Gammacell 220 excell).....	30
3.4 เครื่องตัดโพลีเมอร์เป็นรูปดัมเบลล์ (cutting machine).....	30
3.5 อุปกรณ์ทำสัญลักษณ์ระยะ (gauge Length).....	31
3.6 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal testing machine).....	31
3.7 เครื่องทดสอบความแข็งโดยวิธี Durometer hardness (Durometer hardness test).....	31
3.8 เครื่องเคลือบทอง (ion sputtering).....	32
3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope,SEM).....	32
3.10 เครื่องทดสอบความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลุกติดไฟได้ (Limiting oxygen index, LOI).....	33
3.11 เครื่องทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI).....	33
3.12 ภาพขณะพลาสติกที่บรรจุแผ่น NR/LDPE blend ที่บรรจุในถุงผนึกสุญญากาศเพื่อนำไปทำการฉายรังสี.....	39

รูปที่

3.13 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณรังสีเพื่อตรวจสอบการกระจายของปริมาณรังสี.....	39
3.14 การจัดและติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดสอบสัดส่วนความเป็นเจล.....	43
4.1 ภาพของพื้นผิว NR/LDPE blend ในอัตราส่วน NR/LDPE เท่ากับ 70/30 จากกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่า.....	46
4.2 ภาพของพื้นผิว NR/LDPE blend ในอัตราส่วน NR/LDPE เท่ากับ 60/40 จากกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่า.....	47
4.3 ภาพของพื้นผิว NR/LDPE blend ในอัตราส่วน NR/LDPE เท่ากับ 50/50 จากกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 500 เท่า.....	47
4.4 แผนภูมิแสดงผลของปริมาณรังสีต่อค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อใช้ ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในปริมาณต่างๆ ในการผสม NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	48
4.5 แผนภูมิผลของปริมาณรังสีต่อค่าความต้านทานต่อการยืดขนาดเมื่อใช้ ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในปริมาณต่างๆ ในการผสม NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	49
4.6 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าโมดูลัส100%เมื่อใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็น คอมแพททิบิไลเซอร์ในปริมาณต่างๆ ที่อัตราส่วนต่างๆ ในการผสม NR/LDPE blend.....	50
4.7 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าความแข็งเมื่อใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็น คอมแพททิบิไลเซอร์ในปริมาณต่างๆ ที่อัตราส่วนต่างๆ ในการผสม NR/LDPE blend.....	51
4.8 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่มี ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5.....	52
4.9 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend ที่มี ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5.....	53
4.10 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลูก ติดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไล- เซอร์ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

โพลีเอททีลีนและยางเป็นโพลีเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม ด้วยเหตุผลเหล่านี้ทำให้การเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเอททีลีนและยางจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง และยังเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศให้มีประสิทธิภาพเพื่อการแข่งขันทางการค้าอีกด้วย วิธีการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเอททีลีนและยางคือการทำให้เกิดครอสลิงค์ขึ้นบางส่วนภายในโครงสร้างด้วยวิธีการทางรังสี หรือวิธีทางเคมี การเกิดครอสลิงค์ในโพลีเอททีลีนและยางทำให้เกิดโครงร่างแหสามมิติ (Three – dimension net work) ซึ่งจะทำให้โพลีเอททีลีนและยางมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม เช่นทนต่อความร้อน ทนต่อเปลวไฟ ทนต่อกรดด่าง มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การทำให้เกิดครอสลิงค์ขึ้นบางส่วนภายในโครงสร้างของโพลีเอททีลีนและยางด้วยวิธีฉายรังสีแกมมา วิธีการทางรังสีมีข้อดีกว่าวิธีทางเคมีคือไม่ต้องใช้ตัวเร่ง (catalyst) ดังนั้นจึงไม่มีสารพวกตัวเร่งตกค้างที่จะไปรบกวนต่อคุณสมบัติเชิงกลของสารนั้น ไม่ต้องใช้กระบวนการ การผ่านความร้อนซึ่งอาจจะทำให้ส่วนประกอบบางส่วนของวัสดุความร้อนเสื่อมลงได้ และปริมาณรังสีก็สามารถควบคุมได้ง่าย โดยเป็นกระบวนการที่ควบคุมได้จากภายนอก (reaction vessel)

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเอททีลีน และยางธรรมชาติเบสึ้นดด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาโดยการทำให้เกิดครอสลิงค์บางส่วน

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีแกมมาที่ฉายให้กับตัวอย่างยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) กับการเกิดครอสลิงค์บางส่วนขึ้นภายในตัวอย่างยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

1.3.2 เพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเบสึนดึจากอัตราส่วนต่างๆกัน และที่ปริมาณรังสีแกมมาต่างๆกัน

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาและคึนคึว่าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 เตรียมยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เบสึนดึที่ผสมกันใอัตราส่วนต่างๆ

1.4.3 ทดสอบความสามารถใด้านความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เบสึนดึ โดยเครื่อง (Differential scanning calorimetry, DSC) และกล้องจุลทรรศน์อเล็ก็ตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscope, SEM)

1.4.4 นำยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เบสึนดึที่ผ่านการซึนรูปเป็นแผ่นตัดเป็นซึนเล็กๆ (master batch) ทำการฉายรังสีแกมมาใปริมาณต่างๆกัน เพื่อทำใหัเกิดครอสลึคึบางส่วนซึนภายในโครงสร้าง และนำไปซึนรูปเป็นแผ่นด้วย hot pressแล้วทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

1.4.4.1 ทำการทดสอบพฤติกรรมการไหล (Melt flow index, MFI) ของ master batch

1.4.4.2 ความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength)

1.4.4.3 การยืดตัว (elongation)

1.4.4.4 ค่าโมดูลัส (modulus)

1.4.4.5 ค่าความแข็ง (hardness)

1.4.4.6 ทำการทดสอบสัดส่วนความเป็นเจล

1.4.4.7 ทำการทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมัน

1.4.4.8 การทดสอบดัชนีความเข้มของกัาซออกซิเจนต่ำสุด ที่สามารถทำใหัลุกติดไฟได้ (Limiting oxygen index, LOI)

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 ปี 1979 J. D. Hunt, G. Alliger[1] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การประยุกต์การฉายรังสีใยางใกระบวนการผลิตยางสำหรับผลิตยางล้อรถยนต์ทั้งนี้ เนื่องจากใช่วงปี 1976–1977 ได้มีการประดิษฐ์เครื่องกำเนิดอเล็ก็ตรอนพลังงานสูงที่สามารถควบคุมได้ ทางบริษัทฟรายสโตนได้ทดลองรังสีอเล็ก็ตรอนกับแผ่นยางที่ประกอบเป็นยางรถยนต์ ปฏิกริยาทางเคมีที่เกิซึนคือการครอสลึคึ

และการเสื่อมสลายโดยทั่วไปการฉายรังสียางจะเหมือนกับผลลัพท์เดียวกัน กับการที่ยางถูกวัลคาไนซ์ ด้วยซัลเฟอร์และความร้อนอย่างไรก็ตามวัลคาไนซ์บางส่วนด้วยรังสี (pre-cure) จะมีประโยชน์ที่ จำนวนการเกิดครอสลิงค์สามารถควบคุมได้ดีกว่า การเกิดครอสลิงค์สม่ำเสมอว่าการครอสลิงค์ ด้วยซัลเฟอร์และความร้อน ในอีกแง่หนึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดครอสลิงค์บนผิวของตัวอย่างมากกว่า ตรงกลางเพราะบริเวณตรงกลางจะนำความร้อนได้ดีกว่า โดยทั่วไปแล้วการฉายรังสีถูกนำมาใช้ในการ เกิดครอสลิงค์บางส่วนเป็นส่วนประกอบของยางรถยนต์ เพราะส่วนประกอบของยางรถยนต์จะ รักษารูปร่างและขนาดหลังทำการฉายรังสี แล้วจึงทำการวัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์และความร้อนใน ขั้นตอนสุดท้าย ข้อดีของการพรีเคียวด้วยรังสีคือ การลดการใช้วัสดุ การใช้ยางสังเคราะห์ยางธรรมชาติได้โดยยังมีความแข็งแรง ทนทาน

1.5.2 ปี 1989 มาลี กลิ่นกุหลาบ[2] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การใช้รังสีแกมมามาเหนี่ยวนำให้เกิดครอสลิงค์ในเมทิลเมทาคริเลต กรดอะคริลิกและโพลีไวนิลคลอไรด์ร่วมกับสารไวปฏิกิริยาบางตัว โดยได้ศึกษาการเกิดครอสลิงค์ในเมทิลเมทาคริเลต (MMA) กรดอะคริลิกและโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ร่วมกับสารไวปฏิกิริยา 2 – เอทิลเฮกซิลอะคริเลต (2EHA) คาร์บอนเตตราคลอไรด์ (CCl_4) และนอร์มอลบิวทิลอะคริเลต (n-BA) โดยใช้รังสีแกมมา และทำการทดลองคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง การยืดตัว ความแข็ง ปริมาณเจล และการบวมตัว จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสม MMA(9 cc.) : PVC (1g) และ MMA(9.5 cc.) : PVC (0.5g) จะให้ปริมาณเจลสูงสุด 89% และ 87% ตามลำดับ ที่ปริมาณรังสี 25.6 kGy และมีเปอร์เซ็นต์การบวมต่ำสุดในทำนองเดียวกัน ที่อัตราส่วนผสมดังกล่าว ซึ่งไม่มีสารไวปฏิกิริยามาเคลือบผิวไม้ จะระเหยค่อนข้างช้า และเกาะติดเป็นแผ่นฟิล์มบนผิวไม้ได้ดีกว่า ในกรณีของ MMA/PVC ที่มีสารไวปฏิกิริยาร่วมด้วย ในกลุ่มของ กรดอะคริลิก/PVC (ร่วมกับ 2EHA, n-BA และ CCl_4) ได้เลือกใช้อัตราส่วนผสม ระหว่างกรดอะคริลิก(10 cc.) : n-BA(0.1 cc.) เนื่องจากให้ปริมาณเจล 101% ที่ปริมาณรังสี 6 kGy และเคลือบผิวไม้ได้ดีไม่แยกชั้น

ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงของสารผสม MMA(9 cc.) : PVC (1g) และ MMA (9.5 cc.) : PVC (0.5g) ที่ปริมาณรังสี 25.6 kGy ให้ความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 6 kgf/mm² และ 5.7 kgf/mm² ตามลำดับ ส่วนสารผสมกรดอะคริลิก(10 cc.) : n-BA(0.1 cc.) ที่ปริมาณรังสี 8.2 kGy จะให้ความต้านทานแรงดึงสูงสุด 1.7 kgf/mm² การยืดตัวในกลุ่ม MMA(9 cc.) : PVC (1g) และ MMA (9.5 cc.) : PVC (0.5g) มีค่าน้อยกว่า 3 % ส่วนกรดอะคริลิก/n-BA มีค่าการยืดตัวเท่ากับศูนย์ในส่วนของความแข็งพบว่าอัตราส่วนผสมระหว่าง MMA(9 cc.) : PVC (1g) และ MMA(9.5 cc.) : PVC (0.5g) ที่ปริมาณรังสี 25.6 kGy มีค่า 48.9HRH และ 50 HRH ตามลำดับ ในกรณีกรดอะคริลิก (10 cc.) : n-BA(0.1 cc.) มีค่าความแข็งสูงสุด 25.7 HRH ที่ปริมาณรังสี 8.2 kGy

1.5.3 ปี 1995 Ibrahim Abdullah, Sahrim Ahmad, and Che Som Sulaiman[3] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การเบล็นด์ระหว่างยางธรรมชาติ (NR) กับโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Low linear density polyethylene, LDPE) การเบล็นด์ทำในเครื่องสำหรับผสมพลาสติก โดยทำการปรับค่าของอุณหภูมิในการเบล็นด์ ตามค่าอุณหภูมิจุดหลอมเหลวของโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Low linear density polyethylene, LDPE) และทำการปรับอัตราความเร็วของการผสม จากการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิผสมเท่ากับ 135 องศาเซลเซียส และอัตราความเร็วในการผสมเท่ากับ 55 รอบต่อนาที จะทำให้คุณสมบัติการต้านทานแรงดึงมีค่าดีขึ้น โดยในการผสมมีการเติมยางเหลวธรรมชาติด้วย ในการผสมใช้ปริมาณยางธรรมชาติ 50% และยางเหลวธรรมชาติ 10-15 % คุณสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติกับโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเบล็นด์จะมีค่าที่ดีขึ้น และเมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า การผสมมีการกระจายตัวได้ดีเมื่อเติมยางเหลวธรรมชาติ และการเติมยางเหลวธรรมชาติจะทำให้แรงกระทำระหว่างผิวสัมผัสของโพลีเมอร์ทั้งสองลดลง ระหว่างการเบล็นด์

1.5.4 ปี 2000 H. M. Dahlan, M. D. Khairul Zaman, A. Ibrahim[4] ได้ทำการศึกษาเรื่องยางเหลวธรรมชาติ (Liquid natural rubber) เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ในการเบล็นด์ของโพลีเมอร์สองชนิดระหว่างยางธรรมชาติ (NR) กับ โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Low linear density polyethylene, LDPE) การผสมใช้ปริมาณของยางเหลวธรรมชาติเท่ากับ 15-25% และการเติมยางเหลวธรรมชาติ ยางเหลวธรรมชาติจะไปลดแรงดึงระหว่างผิวสัมผัสของโพลีเมอร์ทั้งสองในการเบล็นด์ ผลการศึกษาพบว่าน้ำหนักโมเลกุลของยางเหลวธรรมชาติมีผลอย่างมากต่อการเบล็นด์ โดยในการเบล็นด์ระหว่างยางธรรมชาติ (NR) กับโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Low linear density polyethylene, LDPE) เมื่อใช้ยางเหลวธรรมชาติที่มี M_w เท่ากับ 4.8×10^5 และมี M_n เท่ากับ 4.8×10^5 จะได้โพลีเมอร์ผสมที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด แต่ยางเหลวธรรมชาติจะไม่ส่งผลต่อโพลีเมอร์ผสมถ้าการผสมเป็นการผสมที่มีความไม่สม่ำเสมอ

1.5.5 ปี 2000 Indranil Banik, Anil K. Bhowmick[5] ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลกระทบของรังสีลำอิเล็กตรอนที่มีต่อคุณสมบัติของยางที่ถูกทำให้เกิดครอสลิงค์ อิทธิพลของลำรังสีอิเล็กตรอนต่อคุณสมบัติเชิงกลของยางเอ็กซาคาร์บอน (FKM) ยางธรรมชาติ (NR) ยางเอททีลีนโพลีไพลีนไดอีน-โมโนเมอร์ (EPDM) และยางไนไตรล์ (NBR) ที่ถูกทำให้เกิดครอสลิงค์ โดยทำการศึกษาในเรื่อง โมดูลัส สักส่วนเจล อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) และการเพิ่มขึ้นของโมดูลัสในขณะที่ การยืดที่จุดแตกหัก tangent ($\tan \delta$) T_g จะมีค่าลดลง จากการวัดคาบในซ์ FKM และ NBR แสดงให้เห็นว่าทำให้สามารถต้านทานรังสีลำอิเล็กตรอนได้ถึง 1500 kGy

1.5.6 ปี 2001 Gomoll. A., Wanich T., Bellare A.[6] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การวัดปริมาณ โครงสร้างและความทนทานต่อการแตกร้าวของการเกิดครอสลิงค์ของ Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) โดยรังสี เนื่องด้วยผลของการสวมใส่ใช้งาน Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) ที่ใช้เป็นอวัยวะเทียมแทนส่วนของข้อต่อ การฉายรังสีเพื่อให้เกิดครอสลิงค์ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาการลดลงของเวลาในการสวมใส่ใช้งาน โดยทางห้องปฏิบัติการได้ทำการทดสอบการสวมใส่ใช้งานได้แสดงผลว่า Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) ที่ถูกทำให้เกิดการครอสลิงค์มีระยะเวลาในการสวมใส่ต่ำกว่า Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) ที่ไม่ได้ทำให้เกิดการครอสลิงค์ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาแสดงว่า การครอสลิงค์ทำให้ความทนทานต่อรอยแตกร้าวและแตกหักลดลง และผลการศึกษายังพบอีกว่า ความทนทานต่อรอยแตกร้าวลดลงเป็นเส้นตรงเมื่อเทียบกับ ปริมาณรังสีแกมมาในช่วง 5 – 20 Mrad

1.5.7 ปี 2002 ธเนศ อินทรลักษณ์[7] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาท่อโพลีเอททีลีน/เอททีลีน ไวนิลอะซีเตต หดตัวได้ด้วยความร้อน โดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาท่อโพลีเอททีลีน/เอททีลีน ไวนิลอะซีเตต หดตัวได้ด้วยความร้อน โดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60 ภายใต้เงื่อนไขของปริมาณรังสีแกมมาและปริมาณของ เอททีลีน ไวนิลอะซีเตต รวมทั้งทำการทดสอบหาสมบัติเชิงกล หาสัดส่วนเจล และหาจุดหลอมเหลว โดยผลการวิจัยทำให้ทราบว่า การเพิ่มของปริมาณรังสีแกมมาหรือ การเพิ่มขึ้นของปริมาณเอททีลีน ไวนิลอะซีเตต จะทำให้ท่อมีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นและค่าความยืดลดลง อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของปริมาณของเอททีลีน ไวนิลอะซีเตตยังส่งผลทำให้โพลิเมอร์มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น การเลือกปริมาณรังสีและสัดส่วนผสมที่เหมาะสม จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำท่อโพลีเอททีลีน/เอททีลีน ไวนิลอะซีเตตหดตัว ได้ด้วยความร้อนไปใช้งาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เงื่อนไขในการผลิตเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอททีลีน และยางธรรมชาติเบสตันด์ที่ครอสลิงค์บางส่วน โดยรังสีเพื่อนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รังสีแกมมา (Gamma Radiation)

รังสีแกมมาเป็นรังสีชนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic radiation) ไม่มีประจุ ไม่มีมวล ไม่เบี่ยงเบนในสนามไฟฟ้า มีความเร็วเท่ากับแสงมีขนาดพลังงานแปรตามความถี่ (frequency) ของรังสีนั้นๆ

$$E = h\nu \quad (2.1)$$

เมื่อ E คือ พลังงานของรังสีแกมมา (eV)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck's constant = 4.135×10^{-15} eV.s)

ν คือ ความถี่ของคลื่น (sec^{-1})

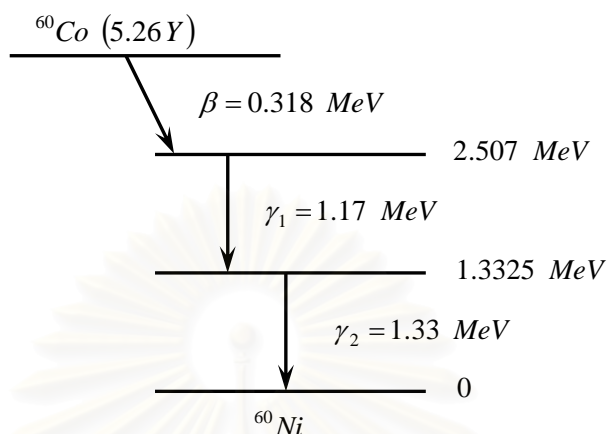
เมื่อนิวเคลียสเกิดการเปลี่ยนแปลง หลังจากการสลายตัวหรือเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ นิวเคลียสจะอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) การลดระดับพลังงานลงมาอยู่ในสถานะพื้น (ground state) จะปลดปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในรูปรังสีแกมมา ถ้าให้สถานะเริ่มต้นนิวเคลียสมีระดับพลังงาน E_i (สถานะกระตุ้น) และ E_f เป็นสถานะสุดท้าย ถ้าสถานะสุดท้ายเป็นสถานะพื้น การลดระดับพลังงานจะสิ้นสุด แต่ถ้าสถานะสุดท้ายยังเป็นสถานะกระตุ้นอยู่ การลดระดับพลังงานก็จะเกิดขึ้นอีกจนกระทั่งเป็นสถานะพื้น พลังงานของรังสีแกมมาที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะเท่ากับผลต่างระหว่างพลังงานของสถานะเริ่มต้นกับพลังงานของสถานะสุดท้าย ตามสมการดังนี้

$$h\nu = \Delta E = E_i - E_f \quad (2.2)$$

2.1.1 ต้นกำเนิดรังสีแกมมา

เมื่อสารกัมมันตรังสีสลายให้รังสีบีตา รังสีแอลฟา หรือการจับอิเล็กตรอน นิวไคลด์ลูกที่เกิดขึ้นมักจะอยู่ในสถานะกระตุ้น และจะลดระดับพลังงานมาสู่สถานะพื้น โดยการ

ปล่อยรังสีแกมมาออกมา อาจจะมีพลังงานพลังงานเดียวหรือหลายพลังงานก็ได้ ตัวอย่างแผนผังการสลายตัวของ Co-60 ให้รังสีแกมมา แสดงไว้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนผังการสลายตัวของต้นกำเนิดรังสีแกมมา โคบอลต์-60[8]

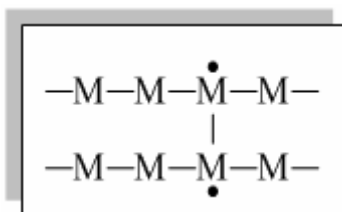
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นกับโพลีเมอร์ฉายรังสี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญที่สุดที่เกิดขึ้นกับโพลีเมอร์ฉายรังสี คือ การเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslinking) และการตัดทอนโมเลกุล (degradation) การเชื่อมโยงโมเลกุล มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลคือจะทำให้ความแข็ง (hardness) และความต้านทานแรงดึง (tensile strength) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังลดค่าความยืดที่จุดขาด (elongation at failure) และความสามารถในการละลายในตัวทำละลาย (solubility) ในทางกลับกันเมื่อโพลีเมอร์เกิดการตัดทอนโมเลกุลจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลในทางตรงกันข้ามกับคุณสมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล

2.2.1 ทฤษฎีของการเชื่อมโยงโมเลกุล[9]

ทฤษฎีของการเชื่อมโยงโมเลกุลเสนอโดย ชาร์ลส์บี (Charlesby) โดยตั้งสมมติฐานของการเชื่อมโยงโมเลกุล ดังนี้

1. การเชื่อมโยงโมเลกุลเป็นการเชื่อมโยงแบบ “tetrafunctional”



2. การเชื่อมโยงโมเลกุลเกิดแบบสุ่มตามโครงสร้าง

3. ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslinking density, q)

คือ สัดส่วนของจำนวนโมโนเมอร์ทั้งหมดที่เกิดการเชื่อมโยง

$$q = q_0 \times D \quad (2.3)$$

โดย q_0 คือ สัดส่วนของจำนวนโมโนเมอร์ทั้งหมดที่เกิดการเชื่อมโยงต่อปริมาณรังสี

D คือ ปริมาณรังสีต่อหน่วยน้ำหนัก

q_0 สามารถแสดงในรูปของจำนวนการเชื่อมโยงต่อ 100 อีเล็กตรอนโวลต์ (G(crosslinked units)) ถ้า n คือ จำนวนโมโนเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงหลังจากได้รับปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ และ n_0 คือ จำนวนโพลิเมอร์ 1 กรัม ดังนั้นจะได้

$$q_0 = \frac{n}{n_0} \quad (2.4)$$

$$n = G (\text{crosslinked unit}) \times 6.24 \times 10^{16} \quad (2.5)$$

เมื่อปริมาณรังสี 1 กิโลเกรย์ เท่ากับการดูดซับพลังงาน 6.24×10^{18} อีเล็กตรอนโวลต์ต่อกรัม และ

$$n_0 = \frac{6.02 \times 10^{23}}{M_0} \quad (2.6)$$

โดย M_0 คือ น้ำหนักโมเลกุลของโมโนเมอร์

จากสมการ (2.4) ถึง (2.6) จะได้

$$q_0 = \frac{M_0 \times G \text{ (crosslinked unit)}}{0.96 \times 10^7} \quad (2.7)$$

ให้

$$\delta = q \times X_w \quad (2.8)$$

โดย δ คือ จำนวนของหน่วยที่เกิดการเชื่อมโยงต่อน้ำหนัก
โมเลกุลเฉลี่ย (crosslinking coefficient)

เมื่อ δ มีค่าเท่ากับ 1 จะทำให้ค่า weight average (M_w) มีค่าไม่จำกัด ซึ่งเป็นจุดที่
เริ่มเกิดโครงสร้างเจล โดยปริมาณรังสีที่จุดนี้ เรียกว่า “the gelling dose (D_{gel})”

จากสมการ (2.3) และ (2.8) จะได้

$$\delta = q_0 \times X_w \times D \quad (2.9)$$

จากนิยามของ D_{gel} จะได้

$$1 = q_0 \times X_w \times D_{gel} \quad \text{และ} \quad D_{gel} = \frac{1}{q_0 \times X_w} \quad (2.10)$$

จากสมการ (2.7) และ (2.10) จะได้

$$G \text{ (crosslinked units)} = \frac{0.96 \times 10^7}{D_{gel} \times M_w} \quad (2.11)$$

เมื่อ 1 การเชื่อมโยง เกิดจากหน่วยที่เกิดการเชื่อมโยง 2 หน่วย และ $G(X)$ คือ ค่าจี
ของการเชื่อมโยงโมเลกุล (G value for crosslinking) จะได้

$$G(X) = \frac{0.48 \times 10^7}{D_{gel} \times M_w} \quad (2.12)$$

2.2.2 ทฤษฎีของการตัดทอนโมเลกุล[9]

เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{1}{M_n}$ กับปริมาณรังสีที่ได้รับ (absorbed dose, D) จะได้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ตามสมการ

$$\frac{1}{M_n} = \frac{1}{M_{n,0}} + \frac{G(S) \times D}{100 \times N_A} \quad (2.13)$$

โดย $M_{n,0}$ คือ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยเริ่มต้นคิดในรูปจำนวน
 D คือ ปริมาณรังสีที่ได้รับ (absorbed dose) มีหน่วย
 เป็นอิเล็กตรอน โวลต์ต่อกรัม
 N_A คือ เลขอะโวกาโดร (Avogadro's number)

2.2.3 การเกิดการเชื่อมโยงและการตัดทอนโมเลกุลในเวลาเดียวกัน[9]

เมื่อโพลีเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิดการเชื่อมโยง และการตัดทอนโมเลกุลในเวลาเดียวกัน ดังนั้นสมการ (2.13) จะเปลี่ยนแปลงเป็น

$$\frac{1}{M_n} = \frac{1}{M_{n,0}} + \frac{[G(S) - G(X)] \times D}{100 \times N_A} \quad (2.14)$$

ซึ่งสมการนี้ เหมาะสำหรับการใช้อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นกับโพลีเมอร์ฉายรังสี ในช่วงที่เรียกว่า “pre – gel” นอกจากนี้สมการนี้ยังคล้ายกับสมการซึ่งเสนอโดย คลิป (Kilb) ที่ว่า

$$\frac{1}{M_w} = \frac{1}{M_{w,0}} + \frac{[G(S) - 4G(X)] \times D}{200 \times N_A} \quad (2.15)$$

ซึ่งสมการ (2.15) มีสมมติฐานดังนี้

1. การเกิดการเชื่อมโยงและการตัดทอนโมเลกุล เป็นกระบวนการแบบสุ่ม
2. ค่า G (S) และ G (X) ไม่ขึ้นกับปริมาณรังสีที่ได้รับ
3. การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล เริ่มต้นเป็นการกระจายตัวแบบปกติ

ถ้าการเชื่อมโยงมีอิทธิพลมากกว่าการตัดทอนโมเลกุล โพลีเมอร์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง เมื่อค่า D มีค่ามากกว่า D_{gel} ทำให้โมเลกุลเริ่มต้นมีการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่าย ซึ่ง

ไม่ละลายในตัวทำละลาย ส่วนที่ไม่ละลายนี้ เรียกว่า สัดส่วนเจล (gel fraction) ในทางตรงกันข้าม ส่วนที่ละลาย เรียกว่า สัดส่วนโซล (sol fraction)

สำหรับในช่วงที่เรียกว่า “post – gel” นั้น ค่า $G(S)$ และ $G(X)$ จะสอดคล้องกับสมการของ ชาร์ลสบีและพินเนอร์ (Charlesby – Pinner equation) ที่ว่า

$$S + S^{1/2} = \frac{G(S)}{2G(X)} + \frac{100 \times N_A}{G(X) \times M_w \times D} \quad (2.16)$$

โดย S คือ สัดส่วนโซล (sol fraction)

สมการ (2.16) ถือเป็นสมการที่ใช้อธิบายการเชื่อมโยงและการตัดทอนโมเลกุลซึ่งเกิดในเวลาเดียวกันของโพลีเมอร์ โดยการเชื่อมโยงและการตัดทอนนั้นเกิดขึ้นแบบสุ่มซึ่งมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลเริ่มต้นของโพลีเมอร์เป็นการกระจายตัวแบบปกติ

ตารางที่ 2.1 ค่า $G(X)$ และ $G(S)$ ของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ เมื่อฉายรังสีที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้สุญญากาศหรือบรรยากาศในโตรเจน[10]

โพลีเมอร์	$G(X)$	$G(S)$
โพลีเอททีลีน (Polyethylene)	3.0	0.88
โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene)	2.53	0.4
โพลีโพรพิลีน (Polypropylene)	0.6	0.11
ยางธรรมชาติ (Natural rubber)	1.1	0.22
โพลีไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride))	2.15	-
โพลีสไตรีน (Polystyrene)	0.045	< 0.018
โพลีเมทิลเมทาคริเลต (Poly(methyl methacrylates))	-	1.22 – 3.5
โพลีไดเมทิลไซลอกเซน (Polydimethylsiloxane)	2.7	< 0.54
บิวทาไดอิน – สไตรีน โคโพลีเมอร์ (Butadiene–styrene copolymer, 77 : 23)	2.8	0.39
โพลีโพรพิลีนออกไซด์ (Polypropylene oxide)	0.15	0.22
ไนลอน – 6 (Polycaprolactam, Nylon – 6)	0.33	0.23
ไนลอน – 6, 6 (Poly(hexamethylene adipamide), Nylon – 6, 6)	0.5	0.6

เมื่อโพลีเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิดการเชื่อมโยง และการตัดทอนโมเลกุลในเวลาเดียวกันในการพิจารณาว่าโพลีเมอร์ชนิดใด เป็นโพลีเมอร์ที่เมื่อได้รับการฉายรังสีแล้วจะเป็นโพลีเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงหรือเป็นโพลีเมอร์ที่เกิดการตัดทอนสามารถพิจารณาได้ โดยพิจารณาจากการที่โพลีเมอร์ถูกฉายรังสีแล้วกระบวนการใดจะมีอิทธิพลมากกว่ากัน ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากกว่าโพลีเมอร์ชนิดนั้นก็จะเป็นโพลีเมอร์ที่เมื่อได้รับการฉายรังสีแล้วจะเป็นโพลีเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการตัดทอนมากกว่าก็จะเป็นโพลีเมอร์ที่เมื่อได้รับการฉายรังสีแล้วจะเป็น โพลีเมอร์ที่เกิดการตัดทอน

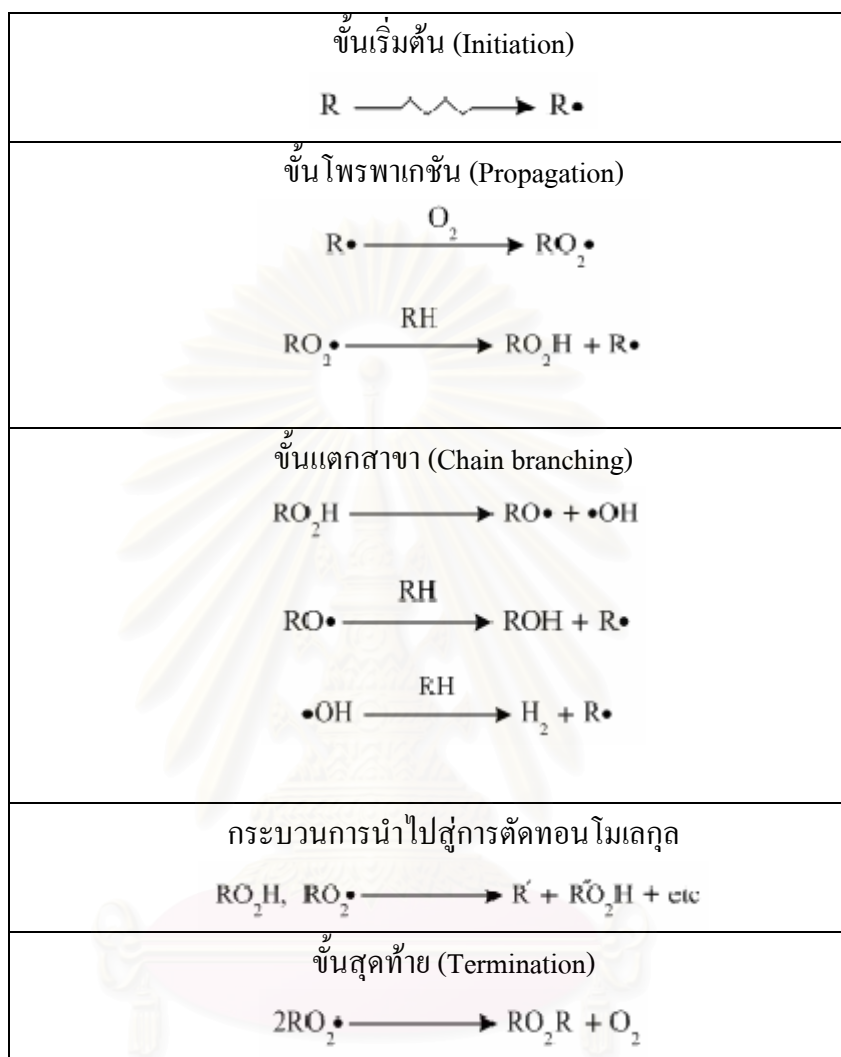
ตารางที่ 2.2 การเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลหรือเกิดการตัดทอนโมเลกุลของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆเมื่อฉายรังสี[11]

ชนิดเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล	ชนิดเกิดการตัดทอน โมเลกุล
โพลีเอททีลีน (Polyethylene)	โพลีไอโซบิวทีลีน (Polyisobutylene)
โพลีโพรพีลีน (Polypropylene)	โพลีอัลฟาเมทิลสไตรีน (Poly(α -methylstyrene))
โพลีสไตรีน (Polystyrene)	เซลลูโลส (Cellulose)
โพลีเอททีลีนออกไซด์ (Polyethylene oxide)	เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate)
โพลีไวนิลคลอไรด์ (Poly(vinyl chloride))	เซลลูโลสไนเตรต (Cellulose nitrate)
โพลีไวนิลอะซิเตต (Poly(vinyl acetate))	โพลีเตตราฟลูออโรเอททีลีน (Polytetrafluoroethylene)
โพลีเอไมด์ (Polyamides)	ไอโซบิวทีน – สไตรีน โคโพลีเมอร์ (Isobutylene – styrene copolymer)
โพลีเอสเทอร์ (Polyesters)	(Isobutylene – isoprene copolymer)
ยางธรรมชาติ (Natural rubber)	โพลีเมทาคริเลต (Polymethacrylates)
โพลีบิวทาไดเอน (Polybutadiene)	โพลีเมทาคริลเอไมด์ (Polymethacrylamide)
โพลีซิลอกเซน (Polysiloxanes)	โพลีไวนิลิดีนคลอไรด์ (Poly(vinylidene chloride))

2.3 ผลของออกซิเจนที่มีต่อการเชื่อมโยงโมเลกุล

เมื่อโพลีเมอร์ถูกฉายรังสีจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น โดยเมื่อมีการฉายรังสีโพลีเมอร์บางชนิดจะเกิดอนุมูลอิสระของตัวโพลีเมอร์ ซึ่งถ้ามีออกซิเจนอยู่ในระหว่างการฉายรังสี ออกซิเจนจะรวมตัวกับอนุมูลอิสระของโพลีเมอร์ เกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกซี (peroxy radicals, $RO_2 \cdot$) ทำให้เกิดการตัดทอนโมเลกุล (degradation) ของโพลีเมอร์ ออกซิเจนที่มีอยู่ระหว่างการฉายรังสีเป็นปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการแตกตัวด้วยรังสี (radiolysis) โดยปรกติอนุมูลอิสระของโพลีเมอร์จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslinking) โดยแสดงด้วยปฏิกิริยาดังนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงปฏิกิริยาที่ออกซิเจนรวมตัวกับอนุมูลอิสระของโพลีเมอร์ เกิดเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกซี peroxy radicals ($RO_2 \cdot$) ทำให้เกิดการตัดทอน โมเลกุล (degradation)



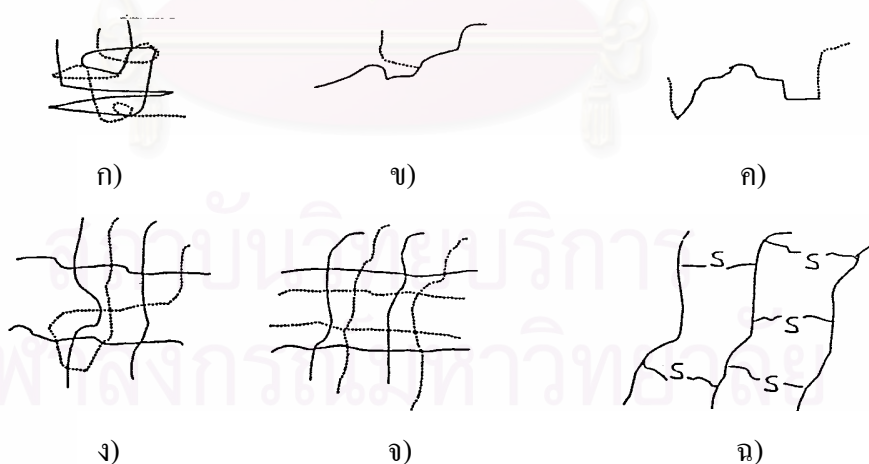
ในปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นเมื่อโพลีเมอร์ได้รับรังสีจะเกิดอนุมูลอิสระของตัวโพลีเมอร์ โดยอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับออกซิเจนเกิดเป็นเปอร์ออกซี (peroxy radicals, $RO_2 \cdot$) เปอร์ออกซี จะเกิดการรวมตัวกับไฮโดรเจนจากโมเลกุลของโพลีเมอร์โดยแสดงในขั้นตอนโพรพาเกชัน (Propagation) เกิด hydro peroxides (RO_2H) และเมื่อให้ความร้อนแก่โพลีเมอร์ hydro peroxides (RO_2H) จะสลายตัวให้อนุมูลอิสระ เกิดกระบวนการนำไปสู่การตัดทอนโมเลกุล

2.4 โพลีเมอร์ผสม (Polymer Blend)[12]

หมายถึงการที่โพลีเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมกันในรูปแบบต่างๆดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปแล้วจุดประสงค์ในการทำโพลีเมอร์ผสมก็เพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติบางประการของโพลีเมอร์ที่มีอยู่แล้ว โดยการดึงเอาสมบัติที่ต้องการจากโพลีเมอร์อีกตัวหนึ่งเช่นการปรับปรุง (Polystyrene,PS) ให้มีสมบัติด้านการรับแรงกระแทกให้ดีขึ้น โดยการผสมกับยาง SBR หรือยางบิวตะไดอิน

การทำให้โพลีเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันได้ นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมสารโดยสารที่ว่าคือ compatibilizer, emulsifying agent หรือ interfacial agent หรืออาจทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นพร้อมกัน (in situ chemical reaction) ในระหว่างการผสม ความเข้ากันได้ถ้ามองในระดับโมเลกุล บางครั้งจะหมายถึง miscibility แต่ compatible blends ในที่นี้อาจจะหมายถึงการผสมโพลีเมอร์ที่สามารถเข้ากันได้ โดยสามารถนำไปขึ้นรูปและใช้งานได้ดี โดยมีสมบัติเชิงกลที่ยอมรับได้

สมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์ผสม จะไม่ขึ้นอยู่กับสมบัติของส่วนประกอบของโพลีเมอร์ที่นำมาผสมเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับโครงสร้างจุลภาคและการยึดเกาะระหว่างผิวของโพลีเมอร์ผสมอีกด้วยทั้งคู่เป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความเครียด (stress transfer) ภายหลังจากการผสม โดยโครงสร้างจุลภาคจะถูกกำหนดโดย processing history ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ชนิดของผสม, อัตราเร็วในการผสม, อุณหภูมิในการผสม, พฤติกรรมการไหลของโพลีเมอร์ และแรงตึงผิวระหว่างเฟส (interfacial tension) ในขณะที่หลอมเหลวเป็นต้น

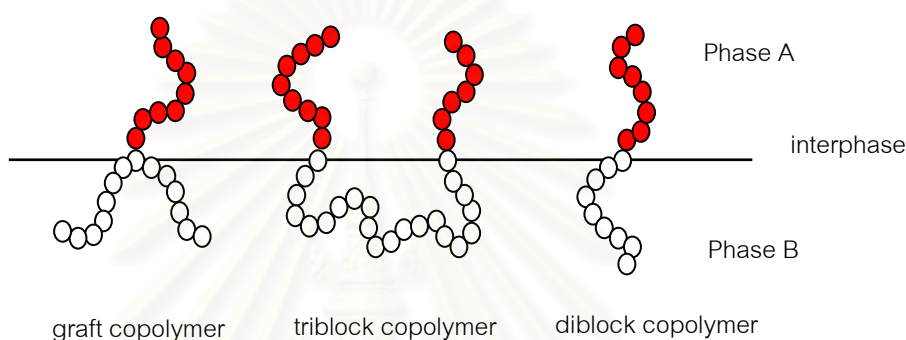


รูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองรูปแบบการผสมกันของโพลีเมอร์ในลักษณะต่างๆ[13]

- | | |
|------------------------|------------------------|
| ก) โพลีเมอร์ผสมแบบปกติ | ข) กราฟโคโพลีเมอร์ |
| ค) บล็อกโคโพลีเมอร์ | ง) semi-IPN |
| จ) IPN | ฉ) crosslinked polymer |

2.4.1 การเติมบล็อกหรือกราฟโคโพลิเมอร์ลงไปโพลีเมอร์ผสม

การเติมสารคอมแพททิบิไลเซอร์ เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงสมบัติการเข้ากัน (compatibility) ในการทำโพลีเมอร์ผสม ซึ่งสารคอมแพททิบิไลเซอร์ ที่ใช้มักจะเป็นพวกโคโพลิเมอร์ประเภทต่างๆเช่น ไคบล็อก-, ไตรบล็อก- และกราฟโคโพลิเมอร์ โดยมีลักษณะโครงสร้างทางเคมีของแต่ละบล็อกเหมือนหรือใกล้เคียงกับลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโพลีเมอร์แต่ละชนิด ที่นำมาผสมกัน แสดงดังรูป



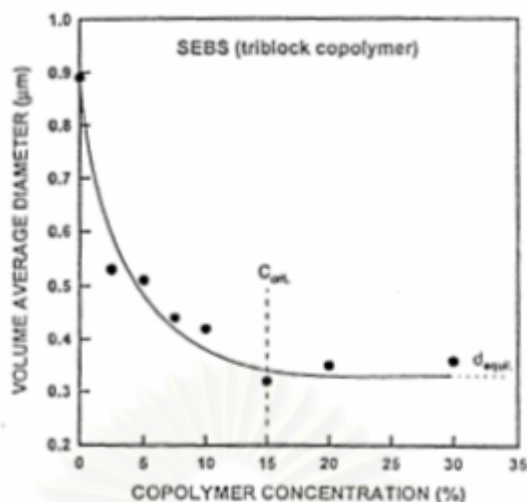
รูปที่ 2.3 รูปแสดงตำแหน่งของบล็อก- และกราฟโคโพลิเมอร์ที่ตรงรอยต่อระหว่างผิว[14]

ประสิทธิภาพการทำให้เกิด compatibilisation ของโพลีเมอร์สองชนิดที่ไม่สามารถผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียว (immiscible) ขึ้นอยู่กับความสามารถในการแพร่เข้าไปอยู่ตรงรอยต่อระหว่างผิวซึ่งต้องอาศัยแรงผลักดันทางเทอร์โมไดนามิกส์ซึ่ง ในทางจลศาสตร์ (kinetic) แล้วการแพร่จะเกิดขึ้นได้ยากเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของบล็อกโคโพลิเมอร์เพิ่มขึ้น

ปัจจัยที่สำคัญที่บ่งชี้ว่าคอมแพททิบิไลเซอร์นั้นมีประสิทธิภาพดี ได้แก่ การลดขนาดอนุภาค การทำให้อนุภาคมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ หรือการทำให้ค่าแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress, UTS) ของโพลีเมอร์ผสมสูงขึ้น

การตรวจสอบประสิทธิภาพของบล็อกโคโพลิเมอร์ สามารถศึกษาได้จากหลายข้อมูล เช่น การตรวจวัดอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Glass transition temperature, T_g) ภาพถ่ายจาก SEM จากกราฟแรงดึงและการพิจารณาจากกราฟอิมัลซิฟิเคชัน (The emulsification curve)

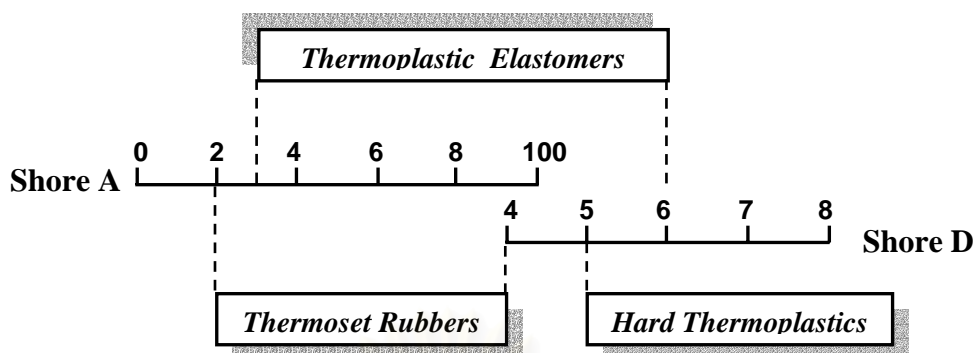
จากกราฟในรูปที่ 2.4 จะสามารถหาปริมาณของคอมแพททิบิไลเซอร์ ที่น้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ emulsion ขึ้น ซึ่งจุดนี้เรียกว่า “Critical concentration, C_{crit} ” ซึ่งเป็นจุดที่ขนาดอนุภาคลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการที่บล็อกโคโพลิเมอร์อยู่ที่รอยต่อระหว่างผิว จะช่วยให้แรงดึงผิวลดลง และโอกาสในการเกิด coalescence ของอนุภาคลดลง



รูปที่ 2.4 Emulsification curve ของ EPR/PS (10/90) ที่เติม styrene-butylene-styrene triblock copolymer (SEBS)[15]

2.5 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers, TPEs)

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์คือ โพลีเมอร์ชนิดหนึ่งที่รวมเอาสมบัติของทั้งยางและพลาสติกเข้าด้วยกัน เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะมีกระบวนการขึ้นรูปแบบเดียวกับพลาสติกทั่วไป เช่น โพลีเอทิลีน หรือ โพลีไวนิลคลอไรด์ แต่เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะมีสมบัติและการใช้งานเหมือนยางคงรูป เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์สามารถเตรียมได้จากการทำโพลีเมอร์ผสม (polymer blend) ระหว่างยางกับเทอร์โมพลาสติก ซึ่งทำให้วัสดุที่ได้มีทั้งส่วนที่แข็ง (hard segment) และส่วนที่อ่อน (soft segment) อยู่รวมกัน นอกจากนี้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ยังสามารถเตรียมได้จากการกราฟต์โคโพลีเมอร์อีกด้วย โดยให้โมโนเมอร์เกิดโคโพลีเมอร์เช่นบนโมเลกุลของยาง ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จึงเป็น วัสดุที่สามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปได้เช่นเดียวกับเทอร์โมพลาสติกทั่วไป ซึ่งเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์สามารถเป็นไปได้อย่างและเทอร์โมพลาสติกเนื่องจากแสดงคุณสมบัติยืดหยุ่น (elastic property) เช่น การโค้งงอ (flexibility) การบิดเบี้ยว (distortion) ภายใต้อิทธิพลแรงกระทำ และสามารถที่คืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิมได้หลังจากปล่อยแรงกระทำภายนอก ส่วนคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกคือ สามารถหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิสูงและขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีดได้ และที่ต่างจากยางคือเศษชิ้นงานของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ที่เหลือจากกระบวนการผลิตสามารถนำไปรีไซเคิลได้ ขณะที่เศษชิ้นงานของยางไม่สามารถรีไซเคิลได้



รูปที่ 2.5 ความแข็งของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ซึ่งเชื่อมช้อนกับยางและเทอร์โมพลาสติก

จากรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่เชื่อมช้อนกับทั้งยางและเทอร์โมพลาสติกได้จากค่าความแข็ง แต่จะมีแนวโน้มมาทางยางมากกว่า ซึ่งเป็นเหตุให้สามารถนำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ไปใช้ได้ทั้งในอุตสาหกรรมยางและเทอร์โมพลาสติก โดยเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะประกอบไปด้วยโพลีเมอร์อย่างน้อยสองเฟสคือ เฟสที่เป็นส่วนที่แข็งของเทอร์โมพลาสติก (hard thermoplastic phase) รวมตัวอยู่กับเฟสอ่อนนุ่มของยาง (soft elastomer phase) ดังนั้นคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะมาจากคุณสมบัติของแต่ละเฟสและจากการทำปฏิกิริยากันเองของเฟสทั้งสอง

คุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ขึ้นกับ อุณหภูมิหลอมเหลวของเทอร์โมพลาสติก และอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ของยางมีช่วงของอุณหภูมิที่นำไปใช้งานจะอยู่ระหว่างอุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ซึ่งภายในช่วงอุณหภูมินี้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะแสดงคุณสมบัติของยางตามที่ต้องการแต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว เฟสของเทอร์โมพลาสติกจะหลอมเหลวทำให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์กลายเป็นของไหลและสามารถขึ้นรูปโดยเทคนิคที่ใช้กับเทอร์โมพลาสติกทั่วไปได้แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน จะทำให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เปราะ และสูญเสียคุณสมบัติของยาง[16]

2.5.1 ข้อดีของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เมื่อเปรียบเทียบกับยางคงรูป[17]

2.5.1.1 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีค่า compression set สูงกว่า (มีความยืดหยุ่นต่ำกว่ายางคงรูป)

2.5.1.2 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่ายางคงรูป

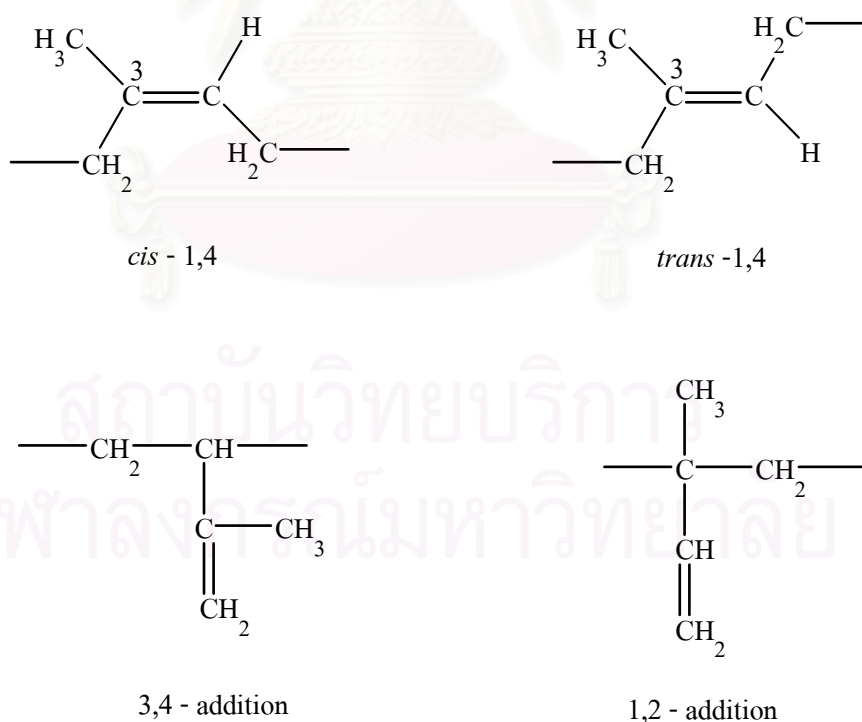
2.5.1.3 เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ สามารถหลอมและไหลได้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานในที่อุณหภูมิสูงมากๆ ได้

2.5.1.4 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ส่วนใหญ่มีความแข็งค่อนข้างสูง

2.5.1.5 บางครั้งอาจจำเป็นต้องนำเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ ไปทำการอบเพื่อ
ไล่ความชื้นก่อนนำไปผ่านกระบวนการผลิต

2.6 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีมวลโมเลกุลสูงและมีหน่วยซ้ำเป็นไอโซพรีน (C_5H_8) พบมากในพืชชั้นสูงและพืชชั้นต่ำ จากการศึกษาโดยใช้เอกซเรย์ดิฟแฟรคชันพบว่า ไอโซพรีนที่พบในยางธรรมชาตินั้น จะมีการเรียงตัวในลักษณะที่มีโครงสร้างเป็นแบบซิสไอโซพรีน นอกจากนี้ ไอโซพรีนยังมีการจัดเรียงตัวได้อีกดังแสดงในรูปที่ 2.6 ไอโซพรีนนอกจากจะได้จากธรรมชาติแล้ว ในปี 1956 ไอโซพรีนถูกสังเคราะห์ขึ้นมาได้ โดยใช้ Ziegler catalyst โดยเตรียมจากไททานเนียมเตตระคลอไรด์ไตรเอทิลอลูมิเนียม โดยโครงสร้างที่สังเคราะห์ได้นั้นมีโครงสร้างเป็นทราน 1,4 ไอโซพรีน แต่สมบัติของยางที่ได้จากการสังเคราะห์มีสมบัติที่แตกต่างจากไอโซพรีนที่ได้จากธรรมชาติโดยเฉพาะ มีการนำความร้อนได้ต่ำกว่ายางธรรมชาติ



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างของไอโซพรีน

2.6.1 ยางแห้ง[18,19]

วัตถุดิบยางธรรมชาติผลิตจำหน่ายเป็นยางแห้งชนิดต่างๆ ซึ่งอาจแบ่งเป็นกลุ่มๆ ได้ 3 กลุ่มหลัก คือ

2.6.1.1 ยางที่ระบุคุณภาพด้วยมาตรฐานเชิงวิชาการ

ได้แก่ยางแห้งชนิดต่างๆ จำแนกโดยทดสอบตามข้อกำหนดของมาตรฐานสากล ซึ่งจะมีชั้นหลักๆ คือ 5L, 5, 10 และ 20 (STR 5L, 5, 101, 20) เป็นต้น โดยผู้ผลิตจะเรียกชื่อยางแห้งตามแหล่งการผลิต เช่น

STR (Standard Thai Rubber)	ยางแห้งที่ผลิตโดยประเทศไทย
SMR (Standard Malaysian Rubber)	ยางแห้งที่ผลิตโดยประเทศมาเลเซีย
SIR (Standard Indonesian Rubber)	ยางแห้งที่ผลิตโดยประเทศอินโดนีเซีย

การผลิตยางแห้งในแต่ละประเทศ อาจมีข้อกำหนดเกรดยางที่แตกต่างกันออกไปบ้าง แต่อย่างไรก็ตาม ยางแห้งที่เป็นเกรดเดียวกันจะมีคุณภาพใกล้เคียงกัน เพราะทุกประเทศจะจัดเกรดยางแห้งตามพื้นฐานข้อกำหนดขององค์การมาตรฐานสากล (ISO, International Organization for Standardizations)

2.6.1.2 ยางที่ระบุคุณภาพด้วยสายตาได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet, RSS) ยางเครพ (crepe) โดยตรวจดูความสะอาด การรมควัน ความหนา และความสม่ำเสมอของแผ่นยางเป็นหลัก

2.6.1.3 ยางชนิดอื่นๆ คือ ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dried sheet, ADS) ยางสกิน (skim) และยางที่มีความหนืดคงที่ (Constant viscosity, CV) เป็นต้น

2.6.2 ขั้นตอนและขบวนการผลิต ยางแห้ง STR 5L[20]

2.6.2.1 นำน้ำยางสดที่รวบรวมจากสวนยาง จะต้องคำนึงถึงความสะอาดของภาชนะที่ใส่ยางเป็นอย่างมาก น้ำยางจากสวนในช่วงที่ฝนตกจะพบปัญหาน้ำยางจับตัวบางส่วนเป็นเม็ดพริก ทำให้ไม่สามารถกรองสิ่งสกปรกได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่สารเคมีป้องกันการจับตัว โดยใช้สารโซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulphite) ความเข้มข้น 2 – 5 เปอร์เซ็นต์ ใส่ในปริมาณ 0.02 – 0.03 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตรลงในถังรวบรวมน้ำยาง กรณีที่ฝนไม่ตกไม่จำเป็นต้องใส่สารเคมีนี้

2.6.2.2 บ่อรวบรวมน้ำยางอาจทำด้วยอะลูมิเนียม คอนกรีต หรือปูนด้วยกระเบื้อง น้ำยางที่จะใส่ลงในบ่อนี้จะต้องผ่านการกรองด้วยตะแกรง ขนาด 40 หรือ 60 เมช ก่อน เพื่อให้สิ่ง

สกปรกแยกตัวออกไป ควรรองกันบ่อด้วยน้ำสะอาด 1 – 2 เซนติเมตร เพื่อป้องกันน้ำยางเกิดการจับตัวที่กันบ่อรวบรวมน้ำยาง (หากน้ำยางสดที่รวบรวมมาเริ่มเกิดการจับตัวให้รองกันบ่อด้วยสารละลาย โซเดียมเมตะไบซัลไฟด์)

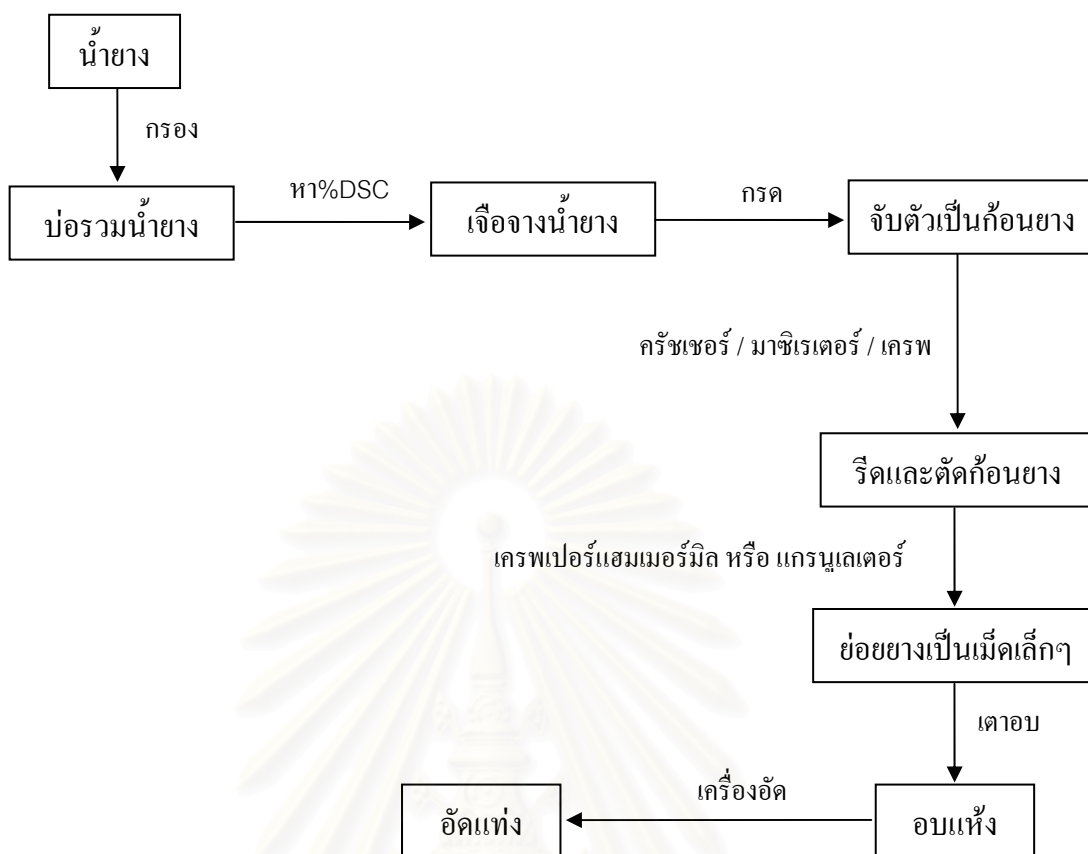
2.6.2.3 น้ำยางสดที่รวบรวมมาจากสวน จำเป็นต้องมีการตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางโดยนำน้ำยางสด 1 ลิตร มาเจือจางด้วยน้ำ 1:1 แล้ววัดด้วยเครื่องเมโทรเลค อ่านตัวเลขที่ได้ คูณด้วย 2 จะได้ค่าปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยาง หรืออาจใช้วิธีการทำแผ่นแห้ง ซึ่งจะให้ค่าที่ถูกต้องแต่เสียเวลากว่า โดยทั่วไปก่อนทำให้น้ำยางเกิดการจับตัว จะทำให้น้ำยางมีความเจือจางประมาณ 15 – 20 เปอร์เซ็นต์

2.6.2.4 สารเคมีที่ใช้ทำให้น้ำยางเกิดการจับตัว ได้แก่ กรดฟอร์มิก หรือกรดอะซิติก และบางครั้งอาจใช้น้ำตาลเป็นสารทำให้เกิดการจับตัว นอกจากนี้อาจใส่สารเคมี เช่น โซเดียมเมตะไบซัลไฟด์ เพื่อฟอกสียางหรือทำให้น้ำยางมีสีไม่คล้ำ โดยจะใส่ลงไปใต้น้ำยางก่อนที่จะต้องเติมกรดลงไป

2.6.2.5 การรีดหรือตัดยางก้อนจับตัวที่แช่น้ำในบ่อจับตัว อาจใช้ป้อนน้ำเพื่อล้างกรดที่เหลืออกจากยางก้อนก่อน แล้วป้อนยางเข้าเครื่องรีดและตัดยางให้มีขนาดเล็กลง เช่น การป้อนยางเข้าสู่เครื่องครัชเซอร์ มาซิเรเตอร์ และเครื่องเครพ เครื่องครัชเซอร์ที่ใช้ในการรีดยาง อาจมีลักษณะของผิวลูกกลิ้งเป็นปุ่มนูนขึ้นสำหรับจับและยึดยางไว้บนผิวของลูกกลิ้งรีดยาง

2.6.2.6 หลังจากป้อนยางผ่านเข้าสู่เครื่องเครพ 3 – 4 ครั้ง ด้วยสายพานแล้ว จะป้อนยางเข้าสู่เครื่องย่อย เพื่อย่อยยางให้เป็นเม็ดเล็กๆ (crumb) ให้มีพื้นที่ผิวมาก สามารถระบายความร้อนออก ได้เร็วขณะอบให้แห้ง โดยใช้เครื่องย่อยยาง ได้แก่ เครื่องเครพเปอร์-แฮมเมอร์มิล เครื่องเชิร์ตเตอร์ เครื่องแกรนูลเตอร์หรือเครื่องเพเลไตเซอร์

2.6.2.7 ยางที่ย่อยเป็นเม็ดเล็กๆแล้ว จะนำมาบรรจุแบบหลวมๆในกะบะหรือตะกุงบรรจุยาง ซึ่งเรียกว่า Trolley ทำใหยางกระจายในกะบะใส่ยาง ไม้ให้น้ำยางเกาะกันเป็นก้อน และกะบะใส่ยางนี้ต้องไม่มียางที่อบผ่านมาแล้วเหลือติดอยู่ เพราะอาจทำให้น้ำยางนั้นมีสีเข้มและสกปรกติดกะบะยางที่จะอบใหม่ เม็ดยางจะถูกทำให้แห้งโดยการไล่น้ำและสิ่งระเหยที่มีอยู่ในยางออกไปด้วยความร้อน ซึ่งความร้อนนี้ได้จากการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงในเตาเผา แล้วปล่อยความร้อนออกมาตามท่อ มีพัดลมเป่าเพื่อให้ความร้อนกระจายและถ่ายเททั่วถึงภายในเตา มีท่อระบายความชื้นหรือน้ำออกสู่ภายนอก อุณหภูมิของเตาอบยางให้แห้งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 100 – 125 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 – 4 ชั่วโมง เมื่ออบแล้วทำการอัดเม็ดยางด้วยเครื่องไฮดรอลิกให้เป็นแท่ง



รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงกระบวนการผลิต ยางแท่ง STR 5L

2.6.3 สมบัติของยางธรรมชาติ[19]

2.6.3.1 ความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ยางธรรมชาติเป็นสาร โมเลกุลใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยไอโซพรีนเป็นหน่วยซ้ำ มีมวลโมเลกุลประมาณ 200,000 ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบของไอโซพรีนมาต่อกันอย่างเป็นระเบียบ ส่งผลให้ยางธรรมชาติมีความสามารถในการเกิดผลึกได้ง่ายเมื่อมีการดึง ซึ่งจะทำให้เนื้อยางมีความแข็งแรงขึ้น ในการนำไปใช้งานบางครั้งจำเป็นต้องมีการเติมสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้ดีขึ้น เช่น การเติมผงคาร์บอนหรือซิลิกาเพื่อเป็นสารเสริมแรง ส่งผลให้ยางสามารถทนแรงดึงได้สูงถึง 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

2.6.3.2 ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) ผลจากการที่ยางสามารถตกผลึกได้ ทำให้ความสามารถในการทนทานต่อการฉีกขาดดีกว่ายางสังเคราะห์เป็นอย่างมาก ในยางธรรมชาติเมื่อนำไปหลอมในบ้นแล้วเวลาแกะแล้วจะไม่มีปัญหาการฉีกขาดของชิ้นงาน

2.6.3.3 ความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion resistance) ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของยางธรรมชาติค่อนข้างจะเป็นจุดด้อย ของยางธรรมชาติเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ แต่ก็ยังถือว่าอยู่ในระดับที่สูง

2.6.3.4 สมบัติการเสื่อมสภาพ (Aging properties) ยางธรรมชาติมักจะเกิดการเสื่อมได้ง่ายที่ผิวของยาง โดยเฉพาะการเสื่อมจากโอโซน ซึ่งโอโซนจะไปทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้เกิดการรอยแตกได้ง่าย แต่ในทางอุตสาหกรรมสามารถแก้ไขได้โดยการเติมสารต้านการเสื่อมลงไป

2.6.3.5 ความทนทานต่อสารเคมี (Chemical resistance) เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นยางธรรมชาติจึงสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะทนทานต่อตัวทำละลายที่มีขั้วสูงๆ เช่น น้ำ อะซิโตน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น ยางธรรมชาติจะทนทานต่อสารละลายกรดเจือจางแต่จะไม่ทนต่อกรดเข้มข้น เช่น กรดกำมะถันและกรดไนตริก

2.6.3.6 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Electrical resistance) ยางธรรมชาติมีค่าดัชนีความต้านทานจำเพาะสูงถึง 1,015 โอ.ม.ซม. ดังนั้นจึงมีสมบัติการต้านทานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

2.6.3.7 T_g ช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานยางมีอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ -70°C และมีอุณหภูมิการหลอมเหลวประมาณ 70°C จึงทำให้ช่วงการใช้งานได้กว้าง แต่ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ ยางธรรมชาติจะมีสมบัติที่แตกต่างออกไป

2.6.3.8 สมบัติการกระดอนกลับของยาง (Rebound resilience) ยางธรรมชาติมีความกระด้างตัวสูง มีความร้อนสะสมต่ำ ทำให้ยางธรรมชาตินิยมนำมาใช้เป็นยางรถบรรทุก ซึ่งเป็นยางที่ต้องรับน้ำหนักสูงและมักจะเกิดความร้อนได้ง่าย

2.6.3.9 การติดกันของยาง (Tacky) ยางธรรมชาติมีสมบัติติดกันเองได้ดี ทำให้สามารถทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีชิ้นส่วนประกอบกันได้ดี เช่น ในกรณีของยางรถยนต์

2.6.3.10 ราคา (Cost) เนื่องจากสามารถผลิตได้ในปริมาณมากและมีคุณภาพหลายระดับ ยางธรรมชาติจึงมีราคาถูกและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย

2.7 โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)[21]

โพลีเอททีลีนเป็นพลาสติกสังเคราะห์ประเภทเทอร์โมพลาสติก ที่ประกอบด้วยโครงสร้างโมเลกุลอย่างง่าย ๆ สูตรโมเลกุลคือ $(\text{CH}_2)_n$ จัดเป็นพลาสติกที่มีการใช้งานมากที่สุดเพราะมีสมบัติเด่นหลายประการได้แก่ ราคาถูก มีสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าดีเยี่ยม มีความทนทานต่อสารเคมีได้ดี ขึ้นรูปง่าย มีความเหนียว ความยืดหยุ่น

โพลีเอททีลีนในทางการค้า ส่วนใหญ่ได้จากการโพลีเมอไรซ์เอททีลีนโมโนเมอร์ด้วยกระบวนการแบบรวมตัว (addition polymerization) เกิดเป็นโพลีเอททีลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นได้ทั้งแบบเชิงเส้น (linear) และแบบกิ่งก้านสาขา (branched) ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ใช้ในการผลิต โพลีเอททีลีนแบบเชิงเส้นสามารถจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบได้มากกว่า ทำให้มีความหนาแน่น จุดหลอมเหลว จุดอ่อนตัว และความแข็งตึง (stiffness) สูงกว่าแต่ยอมให้แก๊ซหรือไอน้ำซึมผ่านได้น้อยกว่า จะเห็นว่าสมบัติต่างๆเหล่านี้ขึ้นอยู่กับการมีกิ่งก้านสาขาของสายโซ่โมเลกุลของโพลีเอททีลีน ส่วนสมบัติทางกายภาพอื่นๆยังต้องคำนึงถึง ค่าน้ำหนักโมเลกุล และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลอีกด้วย หากจะแบ่งประเภทของโพลีเอททีลีนตามความหนาแน่น อาจแบ่งได้ดังนี้

โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

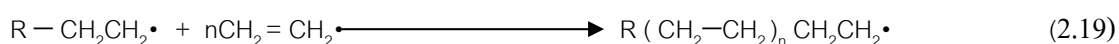
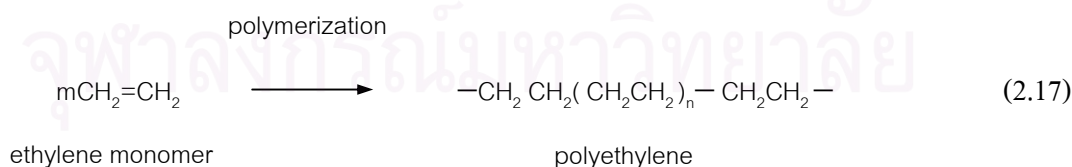
โพลีเอททีลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

โพลีเอททีลีนความหนาแน่นปานกลาง (Medium density polyethylene, MDPE)

โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear low density polyethylene, LLDPE) เป็นต้น

2.7.1 กระบวนการผลิตโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ

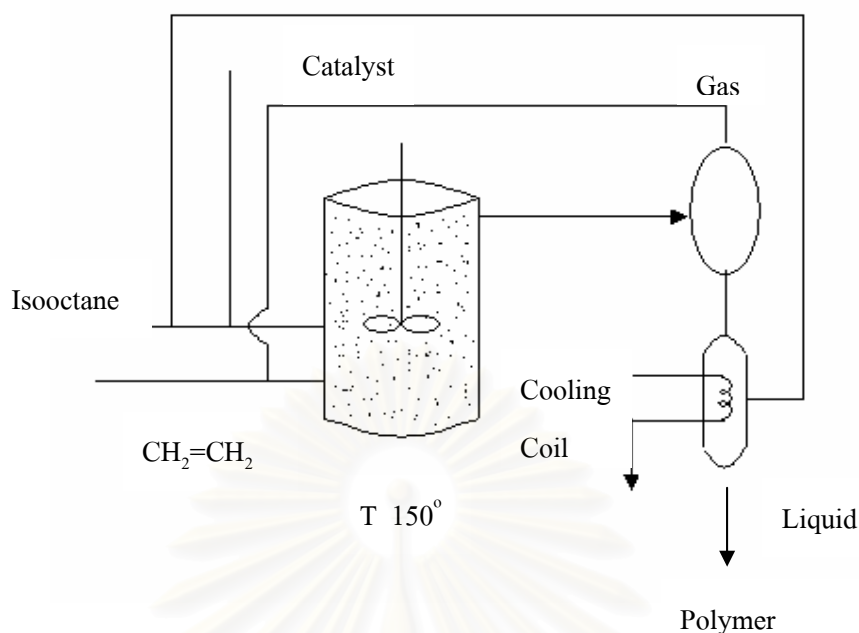
โพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) เป็นโพลีเอททีลีนชนิดแรกที่ถูกผลิตขึ้นในทางการค้า เริ่มผลิตในปี ค.ศ. 1943 ด้วยกระบวนการผลิตแบบความดันสูง (high pressure process) ซึ่งการผลิตในทางการค้าจะใช้ความดัน 150–350 เมกะปาสกาล (1500–3500 บรรยากาศ) และอุณหภูมิ 80–300 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบรวมตัว ดังสมการโดยปฏิกิริยาจะถูกกระตุ้นด้วยสารที่ให้ฟรีเรดิคัล ซึ่งได้แก่อะโซไดโซบิวไทล์ไนไตรล์ (Azodiisobutyronitrile) เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) หรือออกซิเจน ซึ่งขั้นตอนต่างๆของปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ 17 - 19



การเลือกใช้สารเริ่มต้นนี้ขึ้นอยู่กับภาวะของปฏิกิริยาถ้าใช้ออกซิเจน 0.3 – 1 เปอร์เซ็นต์ จะใช้ความดันประมาณ 150 เมกะปาสกาล อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยทั่วไป จะเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ภายในเตาปฏิกรณ์ (reactor) และแบบถึงความดันสูง (autoclave) พร้อมเครื่องกวน ดังแสดงในรูปที่ 2.8

การสิ้นสุดปฏิกิริยาอาจเป็นแบบ combination หรือ disproportionation ในกระบวนการผลิตแต่ละครั้งนั้น โมโนเมอร์ 10 – 30 เปอร์เซ็นต์จะถูกเปลี่ยนเป็นโพลีเมอร์ การใช้โมโนเมอร์ความเข้มข้นและใช้ความดันสูงจะทำให้ได้โพลีเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีกิ่งก้านสาขาภายหลังจากที่ปล่อยให้ความดันลดลงโพลีเมอร์จะถูกแยกออกมาจากเอททิลีนโมโนเมอร์และสารทำให้เจือจาง (ซึ่งจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก) แล้วนำไปอัดรีดออกมาเป็นแถบเล็กๆ ซึ่งจะถูกทำให้เป็นเม็ดต่อไป

การสังเคราะห์โพลีเอททิลีนด้วยกระบวนการความดันสูงนี้ ทำให้ได้โพลีเมอร์ที่มีกิ่งก้านสาขาจำนวนมาก จากการตรวจสอบด้วยวิธีอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared – spectroscopy, IR) จะพบหมู่เมทิล (CH_3) อยู่ประมาณ 20 – 30 หมู่ ต่อ คาร์บอน 1000 อะตอม ภายในโซ่โมเลกุลซึ่งปกติ จะอยู่ที่ส่วนปลายของโมเลกุลเท่านั้น แสดงว่าโมเลกุลมีกิ่งก้านสาขาเกิดขึ้นมาก ซึ่งเชื่อว่าจะเกิดจากการย้ายฟรีแรดิคัลภายในโมเลกุลเองหรือเรียกว่า “backbiting” กิ่งก้านสาขานี้มีทั้งแบบยาวและแบบสั้น แบบสั้นจะเกิดเป็นหมู่เอทิลและบิวทิล ถ้าเป็นการทรานซิชันของวงแหวนหกเหลี่ยม จะได้หมู่บิวทิล และอาจเกิด backbiting ต่อไปอีก กลายเป็นหมู่เอทิล สำหรับกิ่งก้านสาขาแบบยาวจะมีอยู่ประมาณ 3 หมู่ต่อคาร์บอน 1000 อะตอม การเกิดกิ่งก้านสาขาเหล่านี้ ทำให้โพลีเอททิลีนความหนาแน่นต่ำมีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบมีลักษณะเป็นอสัณฐาน มีความยืดหยุ่นและอ่อนตัวง่าย นอกจากนี้ยังมีจุดอ่อนตัวและอุณหภูมิการหลอมเหลวต่ำ

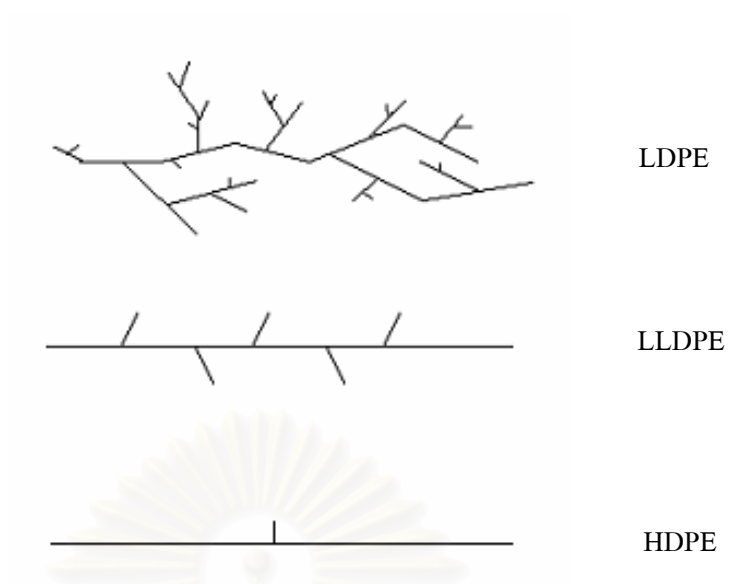


รูปที่ 2.8 รูปกระบวนการผลิตโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) แบบใช้ถังความดันสูง (autoclave)[22]

2.7.2 ลักษณะโครงสร้างและสมบัติเฉพาะของโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ[23]

มีความหนาแน่นต่ำทั้งนี้เนื่องจากมีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขา แยกออกจากลำตัวมากมาย ดังแสดงดังรูปที่ 2.9 โดยจะมีทั้งกิ่งสั้น (short chain branch, SCB) และกิ่งยาว (long chain branch, LCB) กระจายปะปนกันอย่างไม่เป็นระเบียบตลอดความยาวของสายโซ่โมเลกุล จึงทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวกันอย่างหลวมๆและไม่สม่ำเสมอโพลีเอททีลีนที่ได้ จะมีความหนาแน่นต่ำมีลักษณะค่อนข้างใส มีความเหนียวพอสมควร และมีผิวหน้ามันคล้ายขี้ผึ้งหรือเทียนไข ซึ่งสมบัติต่างๆ ของโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำจะขึ้นอยู่กับ

- น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (Average molecular weight)
- ปริมาณการเกิดผลึก (Crystallinity)
- การกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight distribution, MWD)



รูปที่ 2.9 รูปลักษณะกิ่งก้านของโพลีเอทที่ลีนความหนาแน่นต่ำ โพลีเอทที่ลีนความหนาแน่นสูง และโพลีเอทที่ลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี (Chemicals)

3.1.1 สารละลายทูลอีน Toluene (analytical grade)

3.1.2 สารละลายไซลีน Xylene (analytical grade)

3.1.3 ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (เป็น คอมแพททิบิลิเซอร์ ในการผสม NR/LDPE blend) Code No. 318007, CAS N.85-44-9 บริษัท Carlo Erba, Italyคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride, PA) ที่ใช้ในการทดลอง

Typical data	Data
Molecular formula	$C_6H_4(CO)_2O$
Molecular weight	148.11 g/mol
Boiling point	280 ⁰ C
Melting point	130.8 ⁰ C ± 2.0 ⁰ C
Water solubility	6.2 g/L @25 ⁰ C
Density	1.527 g/mL @20 ⁰ C
Minimum assay: (as anhydride)	98%
Chloride (Cl)	≤ 0.1 %
Heavy metals (Pb)	≤ 0.005 %
Residue on ignition	≤ 0.2 %
Sulphate	≤ 0.1 %
Fe (Ion)	≤ 0.005 %

3.1.4 ยางธรรมชาติอัดแท่ง (Standard Thai Test Rubber, STR 5L) บริษัทบ้านแพนรีเสิร์ช แลบบอราทอรี จำกัด

3.1.5 เม็ดพลาสติกโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) POLENE D2022 (มอก.816-2538) บริษัท Thai Petrochemical Industry Public Co., Ltd LOT. No.04090291 รายละเอียดคุณสมบัติแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของเม็ดพลาสติกโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) POLENE D2022 ที่ใช้ในการทดลอง

Typical data	Unit	Value	Test method
Property			
MFI (2.16/kg/190 ⁰ C)	g/10min	0.25	DIN 53735 ASTM D1238
Density	g/cm ³	0.921	ASTM D1505
Tensile strength at yield	N/mm ²	10	ASTM D638
Tensile strength at break	N/mm ²	16	ASTM D638
Ultimate elongation	%	700	ASTM D638
Vicat softening temperature	⁰ C	99	ASTM D1525

3.2 เครื่องแก้ว (Glassware)

3.2.1 ขวดก้นกลม (round bottom flask) ขนาด 700 และ 2000 มิลลิลิตร

3.2.2 ท่อคอนเดนเซอร์ (reflux condenser)

3.2.3 ปีกเกอร์

3.2.4 ขวดแก้วฟาสเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

3.2.5 จานเลี้ยงเชื้อ (petri dish)

3.3 เครื่องมือ (Equipment)

3.3.1 เครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์เป็นแผ่น (hot press) บริษัท GO TECH Co.,Ltd., Taiwan
ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2 ตู้อบ (hot air dryer) บริษัท LENTON Thermal Design, England ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill) บริษัท Sparton APS Co., Ltd. Denmark แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill)

3.3.4 เครื่องบดผสมภายใน (internal mixer) บริษัท Sparton APS Co., Ltd. Denmark ปริมาตรความจุสูงสุด 3000 ลบ.ซม. แสดงดังรูปที่ 3.2

A = control panel B = mixing chamber



รูปที่ 3.2 เครื่องบดผสมภายใน (internal mixer)

3.3.5 เครื่องฉายรังสีแกมมา (Gammacell 220 excell)

Gammacell 220 is used as Standard Gamma field.

Total Activity : 23859 Ci (882.8 TBq) on September 12, 2003

MDS Nordion ,Ottawa , Ontario Canada

Source Model number : C-198

Classification : ISO 2919 / ANSI-N542 – E43323

Radionuclide : Cobalt 60 solid

Total activity : set of nine (9) C-198 sources 23859 Ci (882.8 TBq)

Unit number : GC220#189R



รูปที่ 3.3 เครื่องฉายรังสีแกมมา (Gammacell 220 excell)

3.3.6 เครื่องตัดโพลีเมอร์เป็นรูปดัมเบลล์ (cutting machine) ยี่ห้อ SDAR รุ่น SDAR-100-N
บริษัท DUMBELL , Saitama, Japan



รูปที่ 3.4 เครื่องตัดโพลีเมอร์เป็นรูปดัมเบลล์ (cutting machine)

3.3.7 อุปกรณ์ทำสัญลักษณ์ระยะ (gauge length)



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ทำสัญลักษณ์ระยะ (gauge length)

3.3.8 เครื่องไมโครมิเตอร์ สำหรับวัดความหนา ยี่ห้อ SAGInoMIYA บริษัท TOYOSEIKI

3.3.9 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Universal testing machine) ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5569 ฝ่ายบริการเทคนิค, หน่วยเทคโนโลยียาง มหิดล-เอ็มเทค, มหาวิทยาลัยมหิดล



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (Universal Testing Machine)

3.3.10 เครื่องทดสอบความแข็งโดยวิธี Durometer hardness (Durometer hardness test) ยี่ห้อ DUROTECH รุ่น M 202 บริษัท HAMPDEN TEST EQ.



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งโดยวิธี Durometer hardness (Durometer hardness test)

3.3.11 เครื่องให้ความร้อน (heating mantle)

3.3.12 เครื่องเคลือบทอง (ion sputtering) รุ่น SCD 040 ยี่ห้อ BALZERS UNION



รูปที่ 3.8 เครื่องเคลือบทอง (Ion sputtering)

3.3.13 เครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) สำหรับหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g)

3.3.14 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM – 5410LV, Japan ศูนย์เครื่องมือวิจัยเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope, SEM)

3.3.15 เครื่องทดสอบความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุด ที่สามารถทำให้ลุกติดไฟได้
(Limiting oxygen index, LOI) บริษัท ฟาไฮ สหกิจ จำกัด



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลุกติดไฟได้ (Limiting oxygen index, LOI)

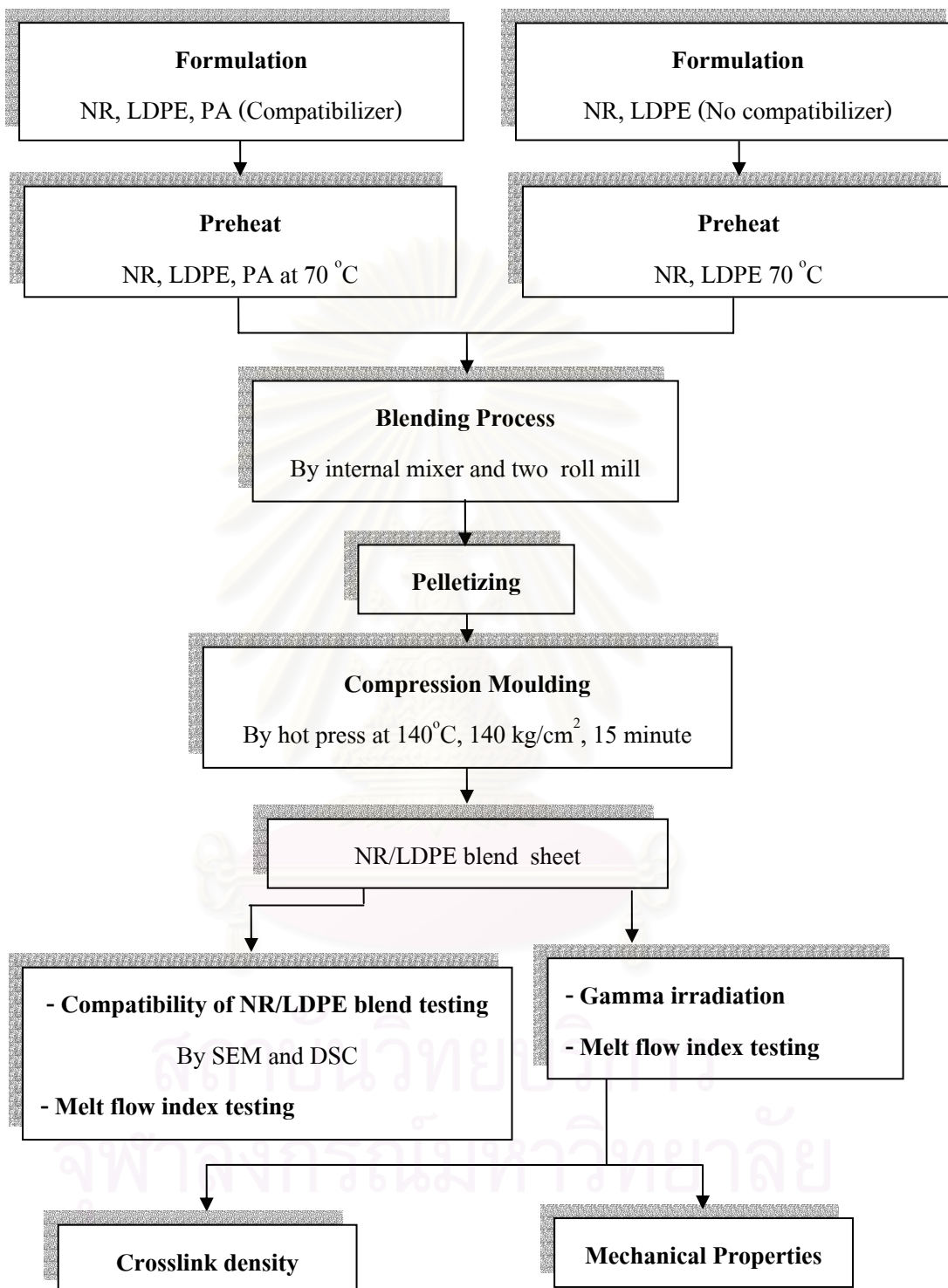
3.3.16 เครื่องทดสอบพฤติกรรมการไหล (Melt flow index, MFI) รุ่น KAYENESS
บริษัท A Dynisco Company

A = Load for extruding



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบพฤติกรรมการไหล (Melt flow index, MFI)

3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย



3.5 การเตรียมและขึ้นรูป NR/LDPE blend ที่ไม่มีการเติมคอมแพททิไฟเซอร์

3.5.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.5.1.1 การเตรียมยางธรรมชาติ (Standard thai test rubber, STR 5L) เม็ดพลาสติกโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ทำการชั่งน้ำหนักของส่วนประกอบแต่ละชนิดตามสัดส่วนและน้ำหนักดังแสดงตามตารางที่ 3.3 โดยให้น้ำหนักรวมมีค่าเท่ากับปริมาตรความจุสูงสุดของเครื่องบดผสมภายใน (internal mixer) ซึ่งเท่ากับ 3000 ลบ.ซม.

ตารางที่ 3.3 แสดงสัดส่วนและน้ำหนักในการผสมยางธรรมชาติ (Standard thai test rubber, STR 5L) เม็ดพลาสติกโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

สัดส่วนผสม NR/LDPE/PA	ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)	
	NR	LDPE
50.00/50.00/0.0	1500.00	1500.00
60.00/40.00/0.0	1800.00	1200.00
70.00/30.00/0.0	2100.00	900.00

3.5.1.2 ทำการอบยางธรรมชาติ (Standard thai test rubber, STR 5L) เม็ดพลาสติกโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ว อบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30 นาที

3.5.1.3 บดยางธรรมชาติ ด้วยเครื่องบดผสมภายใน (internal mixer) ที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 5 นาที

3.5.1.4 เติมเม็ดพลาสติกโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ว อบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30 นาทีตามขั้นตอนข้อ 3.5.1.2 ลงในเครื่องบดผสมภายใน แล้วทำการบดต่ออีก 15 นาที

3.5.1.5 นำส่วนผสม NR/LDPE blend ทั้งหมดออกจากเครื่องผสมภายใน และนำไปบดขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง โดยตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งโดยเริ่มที่ระยะห่างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ในขณะที่ทำการบดส่วนผสมทั้งหมดในแต่ละรอบให้ลดระยะห่างลูกกลิ้งลงรอบละ 0.5 มิลลิเมตรจนกระทั่งระยะห่างลูกกลิ้งมีค่าประมาณ 3 มิลลิเมตร

3.5.1.6 ทำการตัดแผ่น NR/LDPE blend เป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 3 – 4 มิลลิเมตร แล้วนำไปทำการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10-70 kGy

3.5.1.7 นำแผ่น NR/LDPE blend ที่ฉายรังสีแล้ว ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์เป็นแผ่น (hot press) ให้ได้แผ่น NR/LDPE blend ที่มีขนาดเท่ากับ 17×17 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำแผ่น NR/LDPE ขนาด 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร ให้ได้น้ำหนักประมาณ 60 กรัม วางตรงกลางของแผ่นแม่พิมพ์เหล็ก 2 แผ่น แล้วนำแม่พิมพ์ใส่ในเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์เป็นแผ่น โดยใช้อุณหภูมิตามค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ให้เหมาะสมกับสัดส่วนในการผสมและปริมาณรังสี และใช้แรงกดในการขึ้นรูปเป็นแผ่นเท่ากับ 140 kg/cm^2 เป็นเวลา 15 นาที

3.5.1.8 เมื่อครบ 15 นาทีนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์เป็นแผ่น แล้วนำไปแช่ในภาชนะบรรจุน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องโดยมีการเปิดน้ำเต็มตลอดเวลา โดยแช่เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบ 5 นาที ทำการเข้านำแผ่น NR/LDPE blend ออกจากแม่พิมพ์ทำแผ่น NR/LDPE blend ให้แห้งโดยการตากที่อุณหภูมิห้อง

3.6 การเตรียมและขึ้นรูป NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride, PA) เป็นคอมแพททิบิลิเซอร์

3.6.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.6.1.1 การเตรียมยางธรรมชาติ (Standard thai test rubber, STR 5L) เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) และฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride, PA) ทำการชั่งน้ำหนักของส่วนประกอบแต่ละชนิดตามสัดส่วนและน้ำหนักดังแสดงตามตารางที่ 3.4 โดยให้น้ำหนักรวมมีค่าเท่ากับปริมาตรความจุสูงสุดของเครื่องบดผสมภายใน (internal mixer) ซึ่งเท่ากับ 3000 ลบ.ซม.

3.6.1.2 ทำการอบยางธรรมชาติ (Standard thai test rubber, STR 5L) เม็ดพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) และฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride, PA) ที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ว อบด้วยเงื่อนไขดังนี้

- อบที่อุณหภูมิ $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- อบเป็นเวลา 30 นาที

3.6.1.3 บดยางธรรมชาติ ด้วยเครื่องบดผสมภายใน (internal mixer) ที่อุณหภูมิ $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 นาที

3.6.1.4 นำยางธรรมชาติออกจากเครื่องบดผสมภายในแล้วบดขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill) โดยตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (nip gap) โดยเริ่มที่

ระยะห่างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ในขณะที่ทำการบดยางธรรมชาติในแต่ละรอบให้ลดระยะห่างลูกกลิ้งลงรอบละ 0.5 มิลลิเมตรจนกระทั่งระยะห่างลูกกลิ้งมีค่าประมาณ 3 มิลลิเมตร

3.6.1.5 นำยางธรรมชาติที่ผ่านการทำให้เป็นแผ่น ด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill) แล้วทำการโรยฟθαลิกแอนไฮโดรด์ลงบนแผ่นยางธรรมชาติให้ทั่วแผ่นอย่างสม่ำเสมอ ทำการพับแผ่นยางแล้วบดด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งเพื่อให้ฟθαลิกแอนไฮโดรด์ และยางธรรมชาติเข้ากัน ทำตามขั้นตอนดังกล่าวจนกระทั่งฟθαลิกแอนไฮโดรด์ทั้งหมดผสมเข้ากันกับยางธรรมชาติที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดผสมภายในอย่างสม่ำเสมอ

3.6.1.6 นำแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมกับฟθαลิกแอนไฮโดรด์ ตามขั้นตอนในข้อ 3.6.1.5 ทำการบดต่อด้วยเครื่องบดผสมภายในด้วยเงื่อนไขดังนี้

- อุณหภูมิในการผสมเท่ากับ 130 °C
- ทำการผสมเป็นเวลา 5 นาที

3.6.1.7 เติมเม็ดพลาสติกพอลิเอททิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้วอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 30 นาทีตามขั้นตอนข้อ 3.5.1.2 ลงในเครื่องบดผสมภายในเพื่อผสมกับแผ่นยางธรรมชาติและฟθαลิกแอนไฮโดรด์ ที่อุณหภูมิ 140 °C เป็นเวลา 15 นาที

3.6.1.8 นำส่วนผสม NR/LDPE blend ทั้งหมดออกจากเครื่องผสมภายใน และนำไปบดขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง โดยตั้งค่าระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งโดยเริ่มที่ระยะห่างเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ในขณะที่ทำการบดส่วนผสมทั้งหมดในแต่ละรอบให้ลดระยะห่างลูกกลิ้งลงรอบละ 0.5 มิลลิเมตรจนกระทั่งระยะห่างลูกกลิ้งมีค่าเท่ากับประมาณ 3 มิลลิเมตร

3.6.1.9 ทำแผ่น NR/LDPE blend ให้แห้งโดยการตากที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำแผ่น NR/LDPE blend ที่แห้งสนิททำการตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 0.5 × 0.5 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 3 – 4 มิลลิเมตร แล้วนำไปทำการฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10-70 kGy

3.6.1.10 นำแผ่น NR/LDPE blend ไปทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์เป็นแผ่น (hot press) โดยให้มีขนาดเท่ากับ 17 × 17 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร โดยใช้อุณหภูมิ ตามค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index, MFI) ให้เหมาะสมกับสัดส่วนในการผสมและปริมาณรังสี และแรงกดเท่ากับ 140 kg/cm² เป็นเวลา 15 นาที

3.6.1.11 เมื่อครบ 15 นาทีนำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์เป็นแผ่น แล้วนำไปแช่ในภาชนะบรรจุน้ำที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องโดยมีการเปิดน้ำเติมตลอดเวลา โดยแช่เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบ 5 นาที ทำการเข้านำแผ่น NR/LDPE blend ออกจากแม่พิมพ์ทำแผ่น NR/LDPE blend ให้แห้งโดยการตากที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 3.4 แสดงสัดส่วนและน้ำหนักในการผสมยางธรรมชาติ (Standard thai test rubber, STR5L) เม็ดพลาสติกโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์

ส่วนประกอบ NR/LDPE/PA	ปริมาณโดยน้ำหนัก (กรัม)		
	NR	LDPE	PA
49.75/49.75/0.5	1492.50	1492.50	15
49.50/49.50/1.0	1485.00	1485.00	30
49.25/49.25/1.5	1477.50	1477.50	45
49.00/49.00/2.0	1470.00	1470.00	60
48.50/48.50/3.0	1455.00	1455.00	90
47.50/47.50/5.0	1425.00	1425.00	150
59.70/39.80/0.5	1791.00	1194.00	15
59.40/39.60/1.0	1782.00	1188.00	30
59.10/39.40/1.5	1773.00	1182.00	45
58.80/39.20/2.0	1764.00	1176.00	60
58.20/38.80/3.0	1746.00	1149.00	90
57.00/38.00/5.0	1710.00	1140.00	150
69.65/29.85/0.5	2089.50	895.50	15
69.30/29.70/1.0	2079.00	891.00	30
68.95/29.55/1.5	2068.50	886.50	45
68.60/29.40/2.0	2058.00	882.00	60
67.90/29.10/3.0	2037.00	873.00	90
66.50/28.50/5.0	1995.00	855.00	150

3.7 การฉายรังสี NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์

3.7.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.7.1.1 นำแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องบดผสม สองลูกกลิ้ง โดยมีขนาด 0.5×0.5 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 3-4 มิลลิเมตร บรรจุลงใน

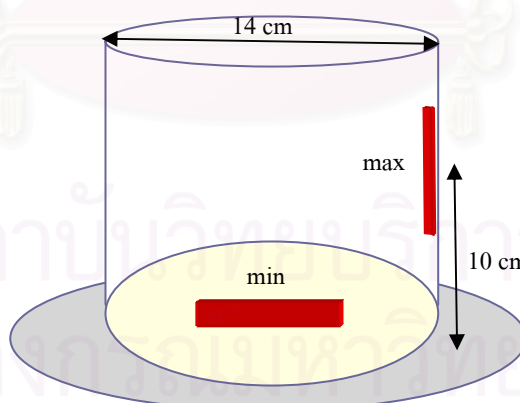
ถุงผนึกสุญญากาศขนาด 8 นิ้ว \times 12 นิ้ว แล้วทำการดูดอากาศภายในถุงเพื่อทำให้เป็นสุญญากาศ และทำการปิดผนึกถุงใส่ตัวอย่างด้วยเครื่องปิดผนึกสุญญากาศ (house-hold vacuum sealer) ยี่ห้อ Brother รุ่นD2-280A เหตุผลในการบรรจุแผ่น NR/LDPE blend ลงในถุงผนึกสุญญากาศเพื่อลดผลกระทบของออกซิเจนที่มีต่อการครอสลิงค์ระหว่าง NR และ LDPE ในขณะที่ทำการฉายรังสี

3.7.1.2 นำแผ่น NR/LDPE blend ที่บรรจุลงในถุงผนึกสุญญากาศ ที่ผ่านการทำให้เป็นสุญญากาศแล้วบรรจุลงในภาชนะพลาสติกโดยแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ภาชนะพลาสติกที่บรรจุแผ่น NR/LDPE blend ที่บรรจุในถุงผนึกสุญญากาศ เพื่อนำไปทำการฉายรังสี

3.7.1.3 ทำการตรวจสอบการกระจายของปริมาณรังสี (dose mapping) ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสีที่ใช้คือ Redperspex ทำการติดตั้งดังนี้



รูปที่ 3.13 การติดตั้งเครื่องวัดปริมาณรังสีเพื่อตรวจสอบการกระจายของปริมาณรังสี

3.7.1.4 เมื่อได้ค่าการกระจายรังสีนำมาคำนวณเพื่อหาเวลาในการฉายรังสีเพื่อให้ได้ปริมาณรังสีที่ต้องการในการฉายรังสีตัวอย่าง

3.7.1.5 นำภาชนะดังกล่าวใส่ในเครื่องฉายรังสีแกมมา (Gammacell 220 excell)

3.7.1.6 ทำการฉายรังสีเพื่อให้ได้ปริมาณรังสีดังนี้ 10 kGy, 20kGy, 30 kGy, 40kGy, 50kGy 60kGy, 70kGy

3.8 การทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) เบลนด์ที่มีฟทาสิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ก่อนทำการฉายรังสี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope)

3.8.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.8.1.1 ทำการตัดแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์ เป็นแผ่นที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี ให้มีขนาด 1×1 ตารางเซนติเมตร หนาประมาณ 3 มิลลิเมตร

3.8.1.2 นำแผ่น NR/LDPE blend ที่ทำการตัดเรียบร้อยแล้วไปอังกับสาร OsO_4 โดยมีขั้นตอนดังนี้ นำแผ่นตัวอย่างจำนวน 6 ชิ้นวางลงใน petri dish แล้วทำการหยดสารละลาย OsO_4 ความเข้มข้น 2 % (ทำการเจือจางโดยน้ำกลั่น) ลงบริเวณที่ว่างใน petri dish จำนวน 1 หยด ทำการปิดฝาทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชม.

3.8.1.3 หลังครบ 3 ชม. นำแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการอัง OsO_4 ไปทำการเคลือบทองด้วยเครื่อง ion sputter

3.8.1.4 นำตัวอย่างดังกล่าวไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโดยใช้เงื่อนไขดังนี้ 15 kV กำลังขยายเท่ากับ 500 เท่า

3.9 การทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติ (STR 5L) และโพลีเอททิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene) เบลนด์ที่มีฟทาสิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ก่อนทำการฉายรังสี ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC)

3.9.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.9.1.1 ทำการตัดแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์ เป็นแผ่นที่ไม่ได้ผ่านการฉายรังสี ให้มีน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม

3.9.1.2 แล้วนำไปวัดเพื่อหาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของ NR/LDPE blend ด้วยเครื่อง DSC ด้วยเงื่อนไขในการวัดดังนี้

- ช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา -40 องศาเซลเซียส ถึง 150 องศาเซลเซียส
- ให้ความร้อนด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียสต่ออนาที

3.10 การทดสอบความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการยืดจนขาด และค่าโมดูลัส100% ของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิปีไลเซอร์

3.10.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.10.1.1 นำแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์ เป็นแผ่น โดยมีขนาด 17×17 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ที่ผ่านการฉายรังสี และไม่ผ่านการฉายรังสี มาทำการตัดให้เป็นรูปดัมเบลล์ ชนิด Die type C ตามมาตรฐาน ASTM D412-98a[29] ด้วยเครื่องตัดโพลีเมอร์เป็นรูปดัมเบลล์ แสดงดังรูปที่ 3.4

3.10.1.2 นำตัวอย่างที่ตัดเป็นรูปดัมเบลล์แล้ว ไปทำการวัดและขีดสัญลักษณ์ของ ระยะ gauge length ด้วยอุปกรณ์ทำสัญลักษณ์ระยะ gauge length และหาค่าความหนาของตัวอย่างที่ตัดเป็นรูปดัมเบลล์ด้วยเครื่องมือไมโครมิเตอร์โดยทำการวัด 3 ครั้งแล้วทำการเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาใช้ในการคำนวณ

3.10.1.3 นำตัวอย่างรูปดัมเบลล์ โดยนำส่วนปลายของรูปดัมเบลล์ทั้ง 2 ด้านหนีบด้วยหัวจับตัวอย่างของเครื่อง Universal testing machine ทั้ง 2 ด้านแล้วกดบีบลมเพื่อใช้แรงดันลม เพื่อให้ที่หนีบจับตัวอย่างแน่นขึ้น

3.10.1.4 ใช้เงื่อนไขในการทดสอบตัวอย่างดังนี้ ใช้ load cell เท่ากับ 1000 N ความเร็วในการดึงตัวอย่างเท่ากับ 500 มิลลิเมตร/นาที เมื่อเครื่องทำการดึงจนกระทั่งตัวอย่างขาด โดยจะขาดบริเวณ gauge length เครื่องทำการบันทึกค่าต่างๆที่ต้องการ ค่าต่างๆมีดังนี้

- ค่า tensile strength เป็นค่าของ แรงดึงที่ทำให้ชิ้นงานขาดต่อพื้นที่หน้าตัดบริเวณ gauge length ก่อนทำการดึงตัวอย่างมีหน่วยดังนี้ (N/mm^2 หรือ MPa)
- ค่าโมดูลัส (modulus) ที่ 100%, 300% และ 500%
- ค่า elongation at break

3.11 การทดสอบความแข็งของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิปีไลเซอร์

3.11.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

3.11.1.1 ทำการตัดแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์ เป็นแผ่นที่ผ่านการฉายรังสีและไม่ผ่านการฉายรังสี ให้มีขนาด 3×3 ตารางเซนติเมตร หนา 6 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D2240-03[30]

3.11.1.2 นำชิ้นตัวอย่าง NR/LDPE blend จากข้อ 3.11.1.1 วางบนฐานรองรับ แสดงดังรูปที่ 3.7 ตั้งเวลาในการทดสอบเท่ากับ 15 วินาที

3.11.1.3 กัดกันบังคับให้ขึ้นตัวอย่าง NR/LDPE blend ยกตัวขึ้นสัมผัสกับหัววัด จนครบเวลาที่ตั้งไว้

3.11.1.4 อ่านและจดบันทึกค่าที่วัดได้ทาง Indentation hardness display

3.12 การทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาสิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิปีไลเซอร์

3.12.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.12.1.1 ทำการตัดแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์ เป็นแผ่นที่ผ่านการฉายรังสี ให้เป็นชั้นที่มีขนาดเล็กๆ แล้วทำการบรรจุลงในกล่องขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ ลบ.ซม. ที่ทำมาจาก Sieve ที่มีขนาดเท่ากับ 100 mesh

3.12.1.2 โดยบรรจุ NR/LDPE blend ที่ตัดเป็นชั้นที่มีขนาดเล็กๆลงในกล่อง ให้ได้ปริมาณ 0.3 กรัมต่อ 1 กล่อง ทำการติดฉลากภายในกล่องปิดฝาแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและทำการบันทึกผล คำนวณน้ำหนักที่ได้คือน้ำหนักก่อนทำการ reflux

3.12.1.3 ทำการผสมสารละลายทูลอีนและสารละลายไซลีน ในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำสารละลายผสมดังกล่าวบรรจุลงในขวดก้นกลมในปริมาณ 700 มิลลิลิตร

3.12.1.4 นำกล่องที่บรรจุ NR/LDPE blend ที่ตัดเป็นชั้นที่มีขนาดเล็กๆ จากข้อ 3.12.1.2 ใส่ลงในขวดก้นกลมที่มีสารละลายผสมระหว่างสารละลายทูลอีนและสารละลายไซลีน ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 700 มิลลิลิตร โดยใส่ในขวดจำนวน 30 กล่อง

3.12.1.5 ขวดก้นกลมที่มีสารละลายผสมระหว่างสารละลายทูลอีนและสารละลายไซลีน ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาณ 700 มิลลิลิตรและกล่องที่บรรจุ NR/LDPE blend ที่ตัดเป็นชั้นที่มีขนาดเล็กๆ สายยาง เครื่องให้ความร้อนและท่อคอนเดนเซอร์ ทำการจัดและติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.14

3.12.1.6 เปิดเครื่องให้ความร้อน เพื่อทำการ reflux โดยใช้เวลาในการ reflux เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

3.12.1.7 เมื่อครบ 16 ชั่วโมงนำกล่องบรรจุ NR/LDPE blend ที่ตัดเป็นชั้นที่มีขนาดเล็กๆ ออกจากขวดก้นกลมและนำไปทำการอบในตู้อบ (hot air dryer) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อจัดสารละลายผสมระหว่างสารละลายทูลอีนและสารละลายไซลีนที่ตกค้างอยู่จากขบวนการ reflux และความชื้น ในขั้นตอนการอบจะต้องทำการอบจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงโดยการนำกล่องออกมาทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 30 นาทีแล้วทำ

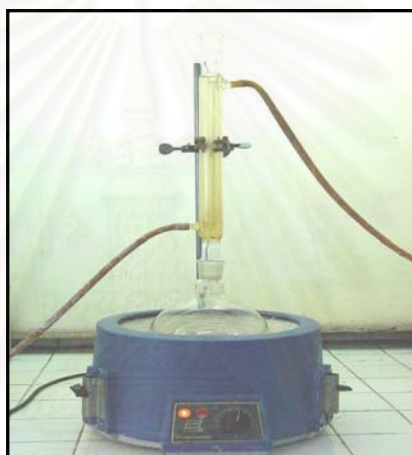
การบันทึกน้ำหนักจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกค่า ค่าน้ำหนักที่ได้ คือน้ำหนักหลังทำการ reflux

3.12.1.8 นำค่าน้ำหนักก่อนทำการ reflux และค่าน้ำหนักหลังทำการ reflux มา แทนลงในสูตร สมการ % Gel content ก็จะได้ค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend

$$\% \text{ gel content} = (W_2/W_1) \times 100 \quad (3.1)$$

โดย $W_1 =$ น้ำหนักก่อนทำการ reflux(g)

$W_2 =$ น้ำหนักหลังทำการ reflux(g)



รูปที่ 3.14 รูปแสดงการจัดและติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดสอบสัดส่วนความเป็นเจล

3.13 การทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend

3.13.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

3.13.1.1 ทำการตัดแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์ เป็นแผ่นที่ผ่านการฉายรังสี ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีน้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม แล้วทำการบันทึกค่า โดยค่าน้ำหนักที่ได้เป็นค่าน้ำหนักก่อนการบวมน้ำมัน

3.13.1.2 ทำการผสมสารละลายทูลออินและสารละลายไซลีน ในอัตราส่วน 1:1 แล้วนำสารละลายผสมดังกล่าวบรรจุลงในขวดแก้วฝาเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ปริมาณ 20 มิลลิลิตรแล้วทำการใส่แผ่น NR/LDPE blend รูปสี่เหลี่ยมที่มีน้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม จากข้อที่ 3.13.1.1 พร้อมทำการปิดฝา วางไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.13.1.3 เมื่อครบ 48 ชั่วโมงใช้คีมคีบแผ่น NR/LDPE blend รูปสี่เหลี่ยมออกจากขวด พร้อมกับทำการขั้บสารละลายที่ตกค้างด้วยกระดาษทิชชูจนชื้นตัวอย่างแห้ง แล้วทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าโดยค่าที่ได้คือค่าน้ำหนักหลังการบวมน้ำมัน

3.13.1.4 นำค่าน้ำหนักก่อนการบวมน้ำมันและค่าน้ำหนักหลังการบวมน้ำมันที่ได้จากการทดลองข้างต้นมาแทนในสมการเพื่อหาค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend

$$\text{swelling ratio (\%)} = \left[1 + \left(\frac{D_R}{D_T} \times \frac{W_2}{W_1} \right) - \frac{D_R}{D_T} \right] \times 100 \quad (3.2)$$

โดย W_1 = น้ำหนักก่อนการบวมน้ำมัน (g)

W_2 = น้ำหนักหลังการบวมน้ำมัน (g)

D_R = ความหนาแน่นของยางและโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ (g/cm^3)

D_T = ความหนาแน่นของสารละลายทูลอีนและไซลีน (g/cm^3)

หมายเหตุค่า D_R และ D_T คำนวณจาก weight fraction ของความหนาแน่นและสัดส่วนผสม

3.14 การทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI)

3.14.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

3.14.1.1 นำ NR/LDPE blend หลังฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 10 - 70 kGy ใส่ในเครื่องทดสอบดัชนีการไหล (Melt flow index machine) ปรับตั้งความร้อนที่ 140 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิที่เหมาะสม และใช้แรงกดที่ 2000 นิวตัน

3.14.1.2 เมื่อเครื่องเริ่มออกแรงกด ทำการจับเวลา ตัด NR/LDPE blend ที่ถูกฉีดออกมา ทำการหยุดเวลา นำ NR/LDPE blend ที่ถูกฉีดออกมา ไปทำการชั่งน้ำหนัก นำค่าเวลาและค่าน้ำหนักมาทำการคำนวณ ค่า Melt flow index มีหน่วยเท่ากับ กรัม/10นาที่

3.15 การทดสอบดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลุกติดไฟได้ (Limiting Oxygen Index, LOI) ของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์

3.15.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.15.1.1 ทำการตัดแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปโพลีเมอร์เป็นแผ่น ที่ผ่านการฉายรังสีและไม่ผ่านการฉายรังสี เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีความยาวเท่ากับ

140 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 52 มิลลิเมตรและความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D2863 – 00[31]

3.15.1.2 ทำการปรับตั้งความดันของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ไหลออกจากถัง ด้วยวาล์วชุดทำงานให้มีความดันเท่ากับ 1 บาร์

3.15.1.3 ทำการปรับตั้งอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนด้วยวาล์วจากเครื่อง Oxygen index tester ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 15 ลบ.ซม./วินาที

3.15.1.4 ทำการปรับตั้งอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนด้วยวาล์วจากเครื่อง Oxygen index tester ให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 5 ลบ.ซม./วินาที

3.15.1.5 นำแผ่น NR/LDPE blend ที่ผ่านการฉายรังสีและไม่ผ่านการฉายรังสี เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีความยาวเท่ากับ 140 มิลลิเมตร ความกว้างเท่ากับ 52 มิลลิเมตรและความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ไปติดตั้งภายในหลอดแก้วในแนวตั้ง ในการติดตั้งจะต้องให้ส่วนบนสุดของหลอดแก้วห่างจากแผ่น NR/LDPE blend อย่างน้อย 100 มิลลิเมตร

3.15.1.6 นำปืนจุดติดไฟด้วยก๊าซบิวเทน ทำการจุดไฟโดยให้เปลวไฟจากปืน สัมผัสแผ่น NR/LDPE blend บริเวณปลายด้านบนสุด จนกระทั่งไฟเริ่มติดแผ่น NR/LDPE blend เริ่มทำการจับเวลา

3.15.1.7 ถ้าแผ่น NR/LDPE blend ลูกติดไฟมากกว่า 50 มิลลิเมตร โดยใช้เวลาน้อยกว่า 3 นาที ให้ลดอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนลง ในทางตรงกันข้ามเมื่อแผ่น NR/LDPE blend ลูกติดไฟน้อยกว่า 50 มิลลิเมตร โดยใช้เวลามากกว่า 3 นาที ให้เพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน ทำการปรับตั้งจนกระทั่งแผ่น NR/LDPE blend ลูกติดไฟเป็นเวลา 3 นาที พร้อมกับแผ่น NR/LDPE blend ลูกติดไฟเท่ากับ 50 มิลลิเมตร

3.15.1.8 นำค่าอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจนมาแทนในสูตรเพื่อทำการคำนวณหาค่าดัชนีการลุกติดไฟของออกซิเจน ดังสมการ

$$LOI (\%) = \frac{(100 \times O_2)}{(O_2 + N_2)} \quad (3.3)$$

โดย O_2 = อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (cm^3 / s)

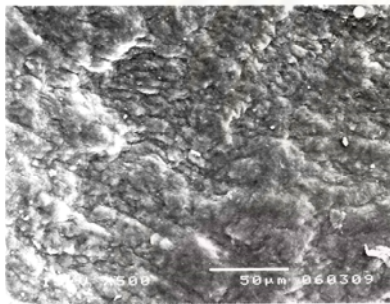
N_2 = อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน (cm^3 / s)

บทที่ 4

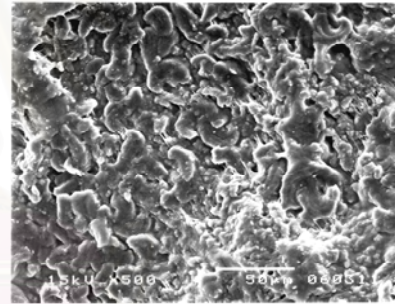
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ก่อนทำการฉายรังสี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope)

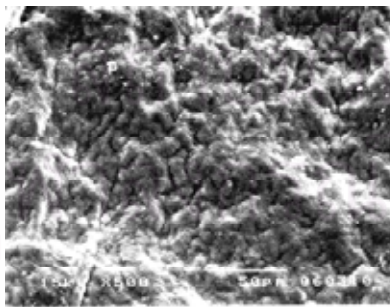
จากขั้นตอนการทดสอบที่ 3.8 ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride, PA) เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ก่อนทำการฉายรังสี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning electron microscope) พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของฟทาลิกแอนไฮไดรด์ในการผสม NR/LDPE blend กับความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ผลการศึกษาและทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1-4.3



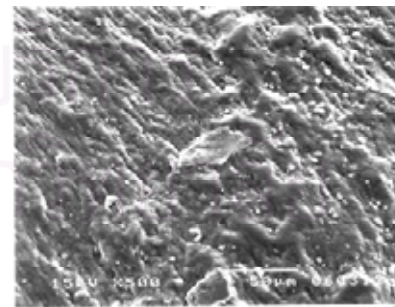
(ก)



(ค)



(ข)

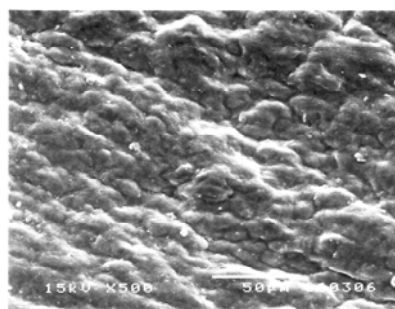


(ง)

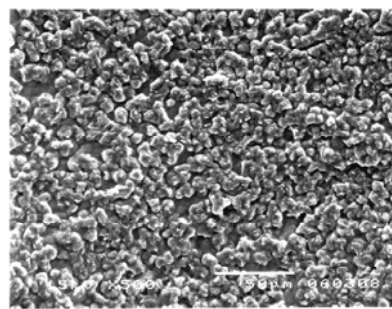
รูปที่ 4.1 พื้นผิวของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วน NR/LDPE เท่ากับ 70/30

(ก) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 0.0% (ข) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1.0%

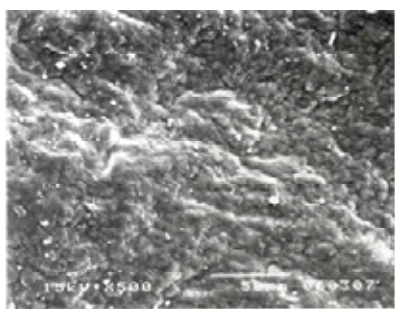
(ค) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1.5% (ง) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 2.0%



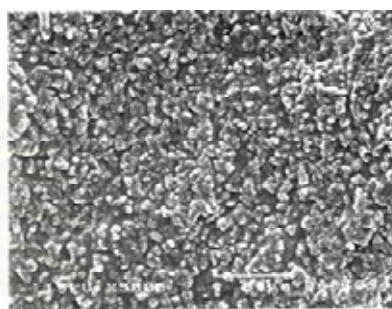
(ก)



(ค)



(ข)

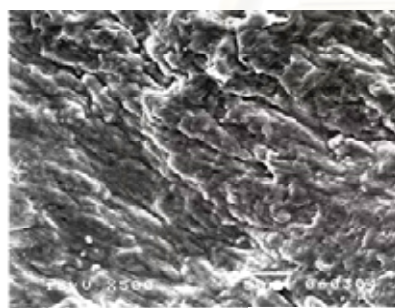


(ง)

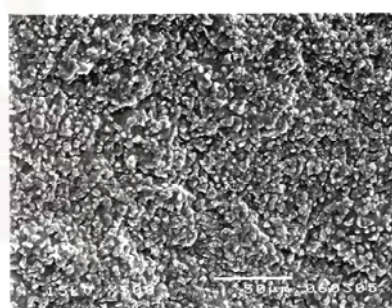
รูปที่ 4.2 พื้นผิวของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วน NR/LDPE เท่ากับ 60/40

(ก) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 0.0% (ข) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1.0%

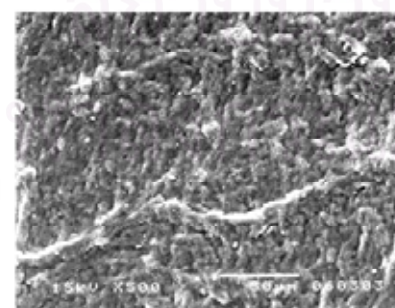
(ค) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1.5% (ง) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 2.0%



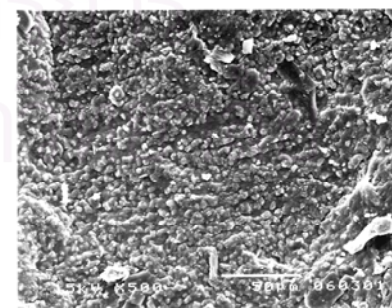
(ก)



(ค)



(ข)



(ง)

รูปที่ 4.3 พื้นผิวของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วน NR/LDPE เท่ากับ 50/50

(ก) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 0.0% (ข) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1.0%

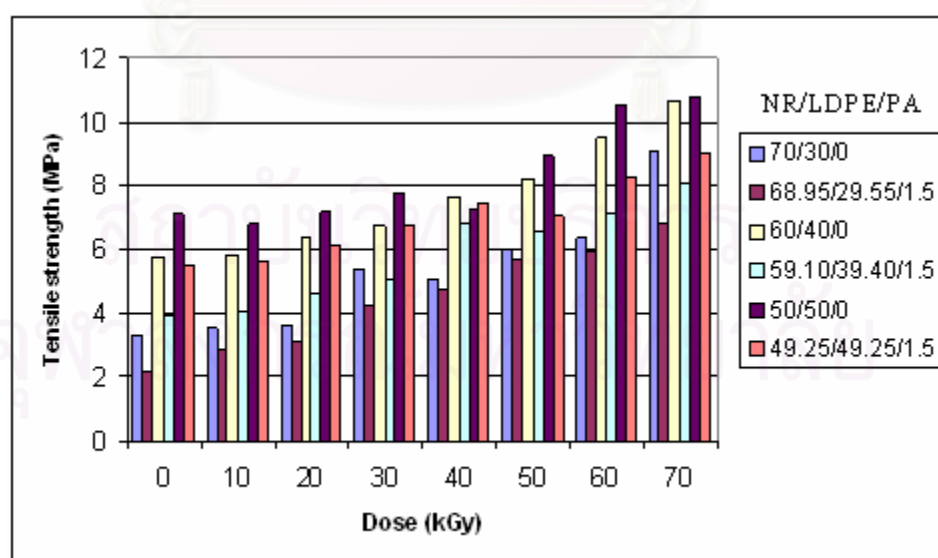
(ค) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1.5% (ง) ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 2.0%

4.2 ผลการทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ก่อนทำการฉายรังสี ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

จากขั้นตอนการทดสอบที่ 3.9 ซึ่งเป็นการทดสอบและศึกษาความสามารถในด้านความเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride, PA) เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในอัตราส่วน NR/LDPE/PA เท่ากับ 49.25/49.25/1.5 ก่อนทำการฉายรังสี ผลการศึกษาและทดสอบแสดงดังรูปที่ ก.1 ในภาคผนวก ก

4.3 ผลการศึกษาและทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend กับปริมาณรังสีแกมมา

จากการทดสอบที่ 3.10 เป็นการทดสอบความสามารถในด้านความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend และปริมาณรังสีแกมมา กับความสามารถในด้านความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend ผลที่บันทึกแสดงในภาคผนวก ค จากผลการทดสอบในตารางที่ ก.1 – ก.6 นำผลการทดลองดังกล่าวมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วนต่างๆ โดยที่มี ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ในปริมาณ 0 % และ 1.5 % กับค่าปริมาณรังสีแกมมา

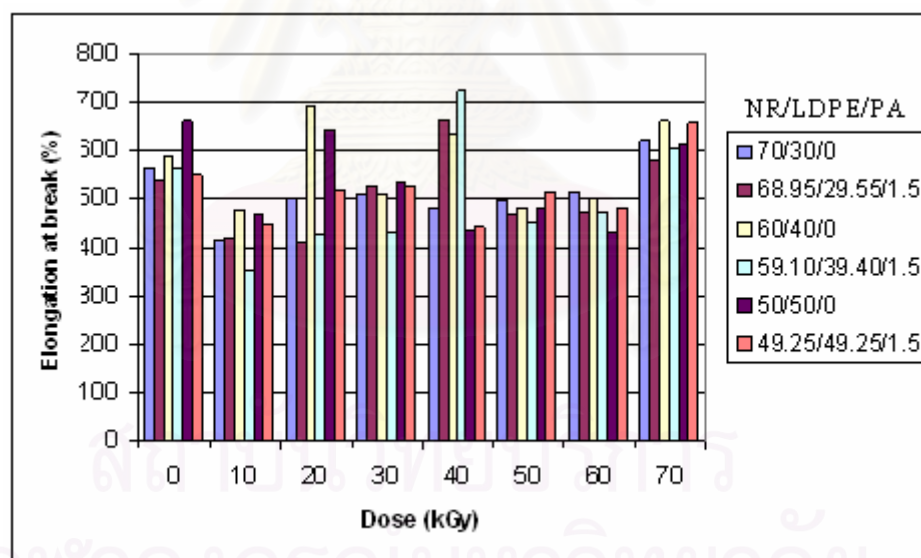


รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนในการผสมต่างๆ

4.4 ผลการศึกษาและทดสอบค่าความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend กับปริมาณรังสีแกมมา

จากการทดสอบที่ 3.10 เป็นการทดสอบความสามารถในด้านความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend และปริมาณรังสีแกมมากับความสามารถในด้านความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5 และผลที่บันทึกแสดงในภาคผนวก ง

จากผลการทดสอบในตารางที่ ง.1 – ง.6 นำผลการทดลองดังกล่าวมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ในปริมาณ 0 % และ 1.5 % กับค่าปริมาณรังสีแกมมาแสดงดังรูปที่ 4.5

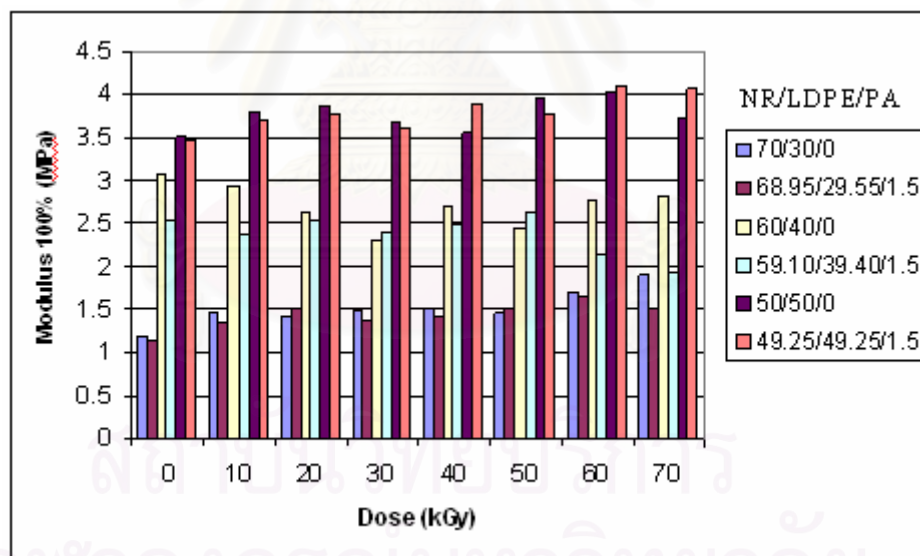


รูปที่ 4.5 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนในการผสมต่างๆ

4.5 ผลการศึกษาและทดสอบค่าโมดูลัส100%ของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend กับปริมาณรังสีแกมมา

จากการทดสอบที่ 3.10 เป็นการทดสอบค่าโมดูลัส100%ของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาสิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend และปริมาณรังสีแกมมา กับค่าโมดูลัส 100%ของ NR/LDPE blend ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6 และผลที่บันทึกแสดงในภาคผนวก จ

จากผลการทดสอบในตารางที่ จ.1 – จ.6 นำผลการทดลองดังกล่าวมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าโมดูลัส100%ของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วนต่างๆ โดยที่มีฟทาสิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ในปริมาณ 0 % และ 1.5 % กับค่าปริมาณรังสีแกมมาแสดงดังรูปที่ 4.6

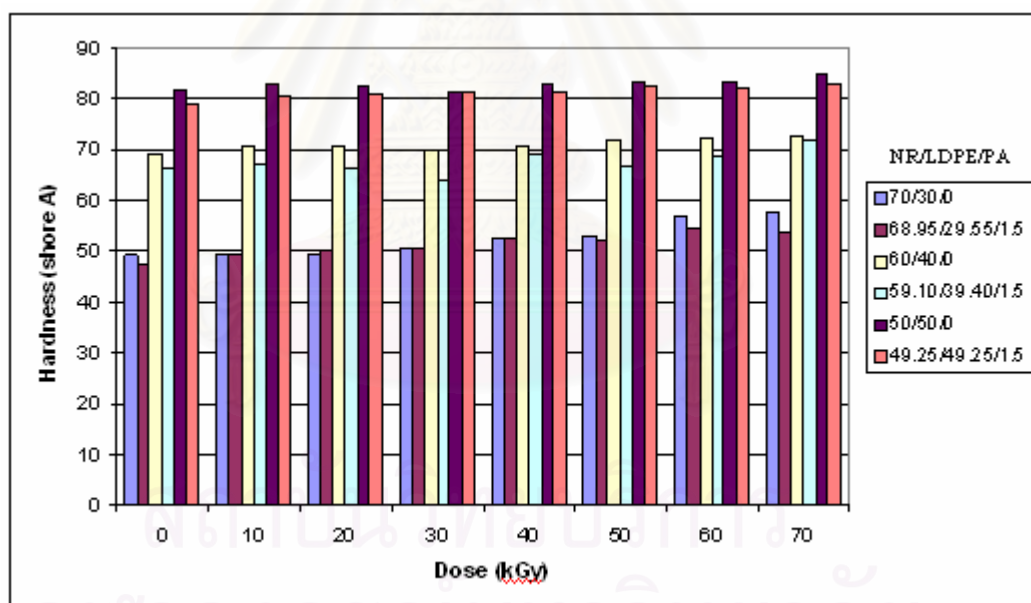


รูปที่ 4.6 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าโมดูลัส 100 % ของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนในการผสมต่างๆ

4.6 ผลการศึกษาและทดสอบค่าความแข็งของ NR/LDPE blend โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend กับปริมาณรังสีแกมมา

จากการทดสอบที่ 3.11 เป็นการทดสอบค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend และปริมาณรังสีแกมมากับค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7 และผลที่บันทึกแสดงในภาคผนวก ฉ

จากผลการทดสอบในตารางที่ ฉ.1 – ฉ.6 นำผลการทดลองดังกล่าวมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วนต่างๆ โดยที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ในปริมาณ 0 % และ 1.5 % กับค่าปริมาณรังสีแกมมาแสดงดังรูปที่ 4.7

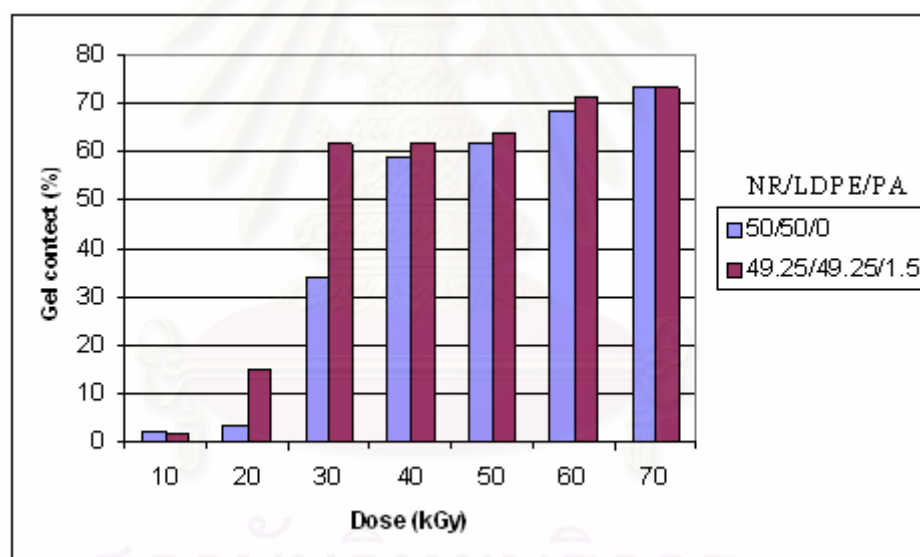


รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนในการผสมต่างๆ

4.7 ผลการศึกษาและทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์กับปริมาณรังสีแกมมา

จากการทดลองที่ 3.12 เป็นการทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในอัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5 หลังจากการฉายรังสี พร้อมทั้งศึกษาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend และปริมาณรังสีแกมมากับค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5

จากผลการทดสอบดังตารางที่ ข.1 – ข.2 ในภาคผนวก ข นำผลการทดลองดังกล่าวมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วนต่างๆดังกล่าวข้างต้น กับค่าปริมาณรังสีแกมมาแสดงดังรูปที่ 4.8

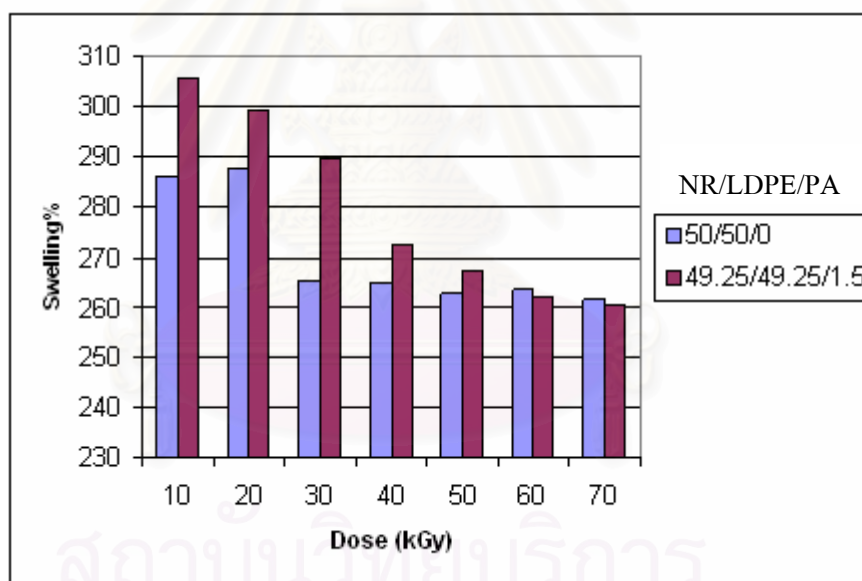


รูปที่ 4.8 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5

4.8 ผลการศึกษาและทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์กับปริมาณรังสีแกมมา

จากการทดลองที่ 3.13 เป็นการทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในอัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5 หลังจากการฉายรังสี พร้อมทั้งศึกษาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณอัตราส่วนในการผสม NR/LDPE blend และปริมาณรังสีแกมมากับค่าสัดส่วนการบวมน้ำมัน ของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5

จากผลการทดสอบในตารางที่ ซ.1 – ซ.2 นำผลการทดลองดังกล่าวมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วนต่างๆตั้งข้างต้นกับค่าปริมาณรังสีแกมมาแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5

4.9 ผลการศึกษาและทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Index, MFI) ของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ กับปริมาณรังสีแกมมา

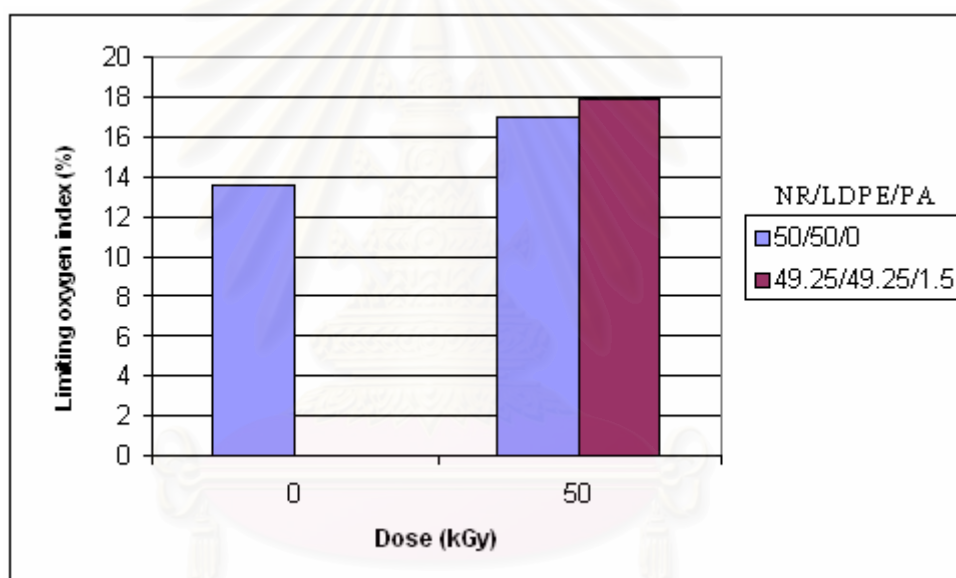
จากการทดสอบที่ 3.14 เป็นการทดสอบค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50/0 ก่อนทำการฉายรังสี และที่อัตราส่วน 49.25/49.25/1.5 หลังจากการฉายรังสี โดยปริมาณรังสีมีค่าเท่ากับ 10, 20, 30, 50 kGy พร้อมทั้งศึกษาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของรังสีต่อค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50/0 ก่อนการฉายรังสี และ 49.25/49.25/1.5 ก่อนและหลังการฉายรังสี

ตารางที่ 4.1 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่ อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5

ส่วนประกอบ NR/LDPE/PA	ปริมาณรังสี แกมมา (kGy)	อุณหภูมิในการ ทดสอบ (°C)	แรงกดในการ ทดสอบ (N)	ค่าดัชนีการไหล (g/10 minute)
50/50/0	0	140	2000	2.18 ± 0.16
49.25/49.25/1.5	0	140	2000	5.22 ± 0.60
49.25/49.25/1.5	10	150	2000	3.75 ± 0.21
49.25/49.25/1.5	20	160	2000	2.72 ± 0.14
49.25/49.25/1.5	30	180	2000	2.31 ± 0.28
49.25/49.25/1.5	50	230	2000	1.17 ± 0.42

4.10 ผลการศึกษาและทดสอบค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลูกคิดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่มีและไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ กับปริมาณรังสีแกมมา

จากการทดสอบที่ 3.15 เป็นการทดสอบค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลูกคิดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50/0 ก่อนทำการฉายรังสีและที่อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5 หลังจากการฉายรังสี โดยปริมาณรังสีมีค่าเท่ากับ 50 kGy พร้อมทั้งศึกษาสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของรังสีต่อค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลูกคิดไฟได้ ของ NR/LDPE blend ตามอัตราส่วนดังกล่าว



รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณรังสีต่อค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลูกคิดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่ อัตราส่วน 50/50/0 และ 49.25/49.25/1.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลจากการทดสอบความสามารถในการเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ที่มีฟθαลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ก่อนทำการฉายรังสี ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จากการทดสอบความสามารถในการเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตามหัวข้อในการทดสอบที่ 3.8 ผลการทดสอบพบว่าเมื่อนำ NR/LDPE blend ที่ใช้ฟθαลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในปริมาณ 0%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% ที่อัตราส่วนในการผสมค่าต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ไปทำการทดสอบความสามารถในการเข้ากันได้ในระดับโมเลกุลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ส่องดูพื้นผิวของ NR/LDPE blend จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่แสดงดังในรูปที่ 4.1-4.3 พบว่า NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟθαลิกแอนไฮไดรด์ 1.5% และ 2.0% มีความเข้ากันได้ดีกว่า NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟθαลิกแอนไฮไดรด์ 0% และ 1.0% โดยจากภาพจะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติและโพลีเอทที่ลื่นความหนาแน่นต่ำกระจายตัวผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี มีการยึดติดกันระหว่างเฟสได้ดี และไม่แสดงถึงการแยกเฟสใดๆ

5.1.2 ผลจากการทดสอบความสามารถในการเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ที่มีฟθαลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ก่อนทำการฉายรังสี ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

จากการทดสอบความสามารถในการเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) ผลการทดสอบพบว่าเมื่อทำการทดสอบความสามารถในการเข้ากันได้ของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนในการผสม 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟθαลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% หรือ 49.25/49.25/1.5 ตามหัวข้อในการทดสอบที่ 3.9 โดยพิจารณาค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ของ NR/LDPE blend ซึ่งเป็นค่าที่วัดโดยใช้เครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) จากกราฟแสดงค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนในการผสม 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟθαลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% ได้ค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเพียงค่า

เดียวซึ่งเท่ากับ -29.05 แสดงว่า NR/LDPE blend ที่ทำการทดสอบ สามารถผสมเข้ากันได้ดี ผลการทดสอบความเข้ากันได้ ทั้งสองวิธีสอดคล้องกันคือ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนดังกล่าวสามารถเข้ากันได้ นอกจากนี้ผลการทดสอบดังกล่าวยังแสดงถึงขั้นตอน และวิธีในการผสม NR/LDPE blend สามารถผสม NR/LDPE blend ให้เข้ากันได้ เหตุผลที่เลือกอัตราส่วน NR/LDPE blend เท่ากับ 50/50 ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในปริมาณ 1.5% เพื่อไปทำการทดสอบความสามารถในการเข้ากันเพียงอัตราส่วนเดียวนั้น เพราะขณะทำการผสม NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์พบว่าการผสม ในอัตราส่วนการผสมที่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ ปริมาณตั้งแต่ 2 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปเมื่อทำการผสมเรียบร้อยแล้วพบว่าขณะที่ NR/LDPE blend มีอุณหภูมิลดลงจะเกิดการตกผลึกของฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นผลึกรูปเข็มจำนวนมากบริเวณพื้นผิว แสดงว่าการเติมฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ปริมาณ 2% เป็นจุดอิ่มตัวของฟทาลิกแอนไฮไดรด์ ในการเป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ในการผสม NR/LDPE blend โดยฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ตกผลึกเป็นผลึกรูปเข็มจำนวนมากบริเวณพื้นผิว เป็นฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับยางและโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ เมื่อ NR/LDPE blend มีอุณหภูมิลดลง ฟทาลิกแอนไฮไดรด์จึงแยกตัวออกมาอยู่ที่บริเวณผิวของ NR/LDPE blend ดังนั้นในการทดลองจึงไม่ทำการทดสอบและทดลองกับ NR/LDPE blend ที่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ ปริมาณตั้งแต่ 2 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป เพราะในการเติม ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ปริมาณตั้งแต่ 2% ขึ้นไปจะเป็นการสิ้นเปลือง

5.1.3 ผลจากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความต้านทานต่อการยืดจนขาด ค่าโมดูลัส 100% และ ค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ก่อนและหลังทำการฉายรังสี

จากค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50, 60/40 และ 70/30 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% และ 1.5% ก่อนและหลังทำการฉายรังสี 10 – 70 kGy มีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงว่าเมื่อ NR/LDPE blend ได้รับปริมาณรังสีเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลของยางและโพลีเอททีลีนเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุล (crosslink) มากขึ้นตามปริมาณรังสี โดยการเชื่อมโยงโมเลกุลที่เกิดขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend มีค่ามากขึ้นและยังพบอีกว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% มีค่ามากกว่าที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% ผลแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.7 ที่เป็นเช่นนี้เพราะการเติมฟทาลิกแอนไฮไดรด์ซึ่งเป็นคอมแพททิบิไลเซอร์นั้นจะไปทำหน้าที่ลดแรงดึงผิวของยางและโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำทำให้แรงดึงผิวระหว่างโพลีเมอร์ทั้งสอง (interfacial tension) ลดลง ซึ่งทำให้โพลีเมอร์ทั้งสองนิ่มตัวลง และจะส่งผลทำให้การผสมเข้ากันได้ดีขึ้นซึ่งเป็นคุณสมบัติ

ของคอมแพททิบิไลเซอร์ และยังเกิดการนํ้าตัวที่เกิดจากแรงเฉือนในการผสม ซึ่งปฏิกิริยาเป็นดังนี้ โดยแรงเฉือนที่เกิดจากการหมุนของโรเตอร์ในเครื่องผสม (internal mixer) จะทำให้สายโซ่ของโมเลกุลของยางขาดทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางสั้นลง และเกิดอนุมูลอิสระบริเวณสายโซ่โมเลกุลที่ขาดซึ่งอนุมูลอิสระนี้จะไปทำปฏิกิริยากับฟทาลิกแอนไฮไดรด์ ทำให้สายโซ่ยางที่ขาดไม่สามารถกลับมาต่อกันได้ดั้งเดิมโดยปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงไว้ที่ภาพผนวก ข ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาจึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% แม้ว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% มีค่ามากกว่าที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% แต่ถ้าต้องการนำ NR/LDPE blend ไปใช้ใน งานที่ต้องทนต่ออุณหภูมิสูง NR/LDPE blend ที่ใส่ฟทาลิกแอนไฮไดรด์จะทนต่ออุณหภูมิสูงได้มากกว่า NR/LDPE blend ที่ไม่ได้ใส่ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ การพิจารณาว่า NR/LDPE blend มีความทนทานต่อการใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงสามารถพิจารณาได้จาก ปริมาณการเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์แบบเคมี (chemical crosslink) เพราะการเชื่อมโยงแบบเคมีมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดีกว่าการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแบบกายภาพ (physical crosslink) จึงสรุปได้ว่า NR/LDPE blend ที่ใส่คอมแพททิบิไลเซอร์จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลแบบเคมี มากกว่า NR/LDPE blend ที่ไม่ได้ใส่คอมแพททิบิไลเซอร์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50 60/40 70/30 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 1.5% ก่อนและหลังทำการฉายรังสีด้วยปริมาณรังสีเท่ากับ 10 – 70 kGy พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50 > 60/40 > 70/30 เงื่อนไขที่ให้ค่าความต้านทานแรงดึงและค่าความแข็งของ NR/LDPE blend มากที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่นคือ 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% ที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 70 kGy

5.1.4 ผลจากการทดสอบค่าสัดส่วนความเป็นเจลและค่าสัดส่วนการบวมนํ้ามันของ NR/ LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ หลังทำการฉายรังสี

จากค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% และ 1.5% หลังทำการฉายรังสี 10 – 70 kGy ด้วยค่าสัดส่วนความเป็นเจลเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์โดยส่วนของโพลีเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงจะไม่ละลายในตัวทำละลายเดิมที่โพลีเมอร์ชนิดนั้นละลาย ดังนั้นค่าสัดส่วนความเป็นเจลจึงสามารถใช้เป็นค่าบ่งบอกปริมาณของโพลีเมอร์ที่เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลได้ จากผลการทดสอบค่าสัดส่วนความเป็นเจลในหัวข้อการทดสอบที่ 3.12 ค่าสัดส่วนความเป็นเจลมีค่าระหว่าง 1.64 – 73.40 % ค่าสัดส่วนความเป็นเจลมีค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ

รังสีเพิ่มขึ้น จากผลความสัมพันธ์นี้บ่งบอกได้ว่า เมื่อ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% และ 1.5% เมื่อได้รับปริมาณรังสีจะเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลของยางและโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำ และเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นก็จะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลมากขึ้นและเมื่อเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% และ 1.5% จะเห็นได้ว่าในช่วง 20 – 40 kGy ค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่ามากกว่าที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์ 0% จากรูปที่ 4.8 ข้อมูลจากกราฟที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 10 kGy จะเห็นได้ว่า ค่าสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% มีค่ามากกว่า NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการที่ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เข้าไปแทรกตัวระหว่างโมเลกุลของยางและโพลีเอททีลีน เพราะฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กทำให้โมเลกุลของยางและโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำเกาะตัวกันไม่แน่นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ และยังทำให้ระหว่างโมเลกุลของยางและโพลีเอททีลีนความหนาแน่นต่ำมีช่องว่าง ทำให้ตัวทำละลายเข้าไปทำปฏิกิริยาการละลายได้ดีกว่า ในกรณีที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% ที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 20 – 30 kGy ค่าสัดส่วนความเป็นเจลมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าที่ปริมาณรังสี 30 kGy จะเป็นค่าเริ่มต้นของการเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลอย่างมาก โดยดูจากค่าสัดส่วนความเป็นเจลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และหลังจากปริมาณรังสี 30 kGy ค่าสัดส่วนความเป็นเจลยังคงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและค่อนข้างคงที่ จากผลการทดสอบดังกล่าวถ้าเราต้องการ NR/LDPE blend ที่เกิดการครอสลิงค์บางส่วนที่มีความแข็งแรงมากควรที่จะเลือกฉายรังสีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 30kGy เพราะค่าสัดส่วนความเป็นเจลที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 40 - 70 kGy มีค่าสัดส่วนความเป็นเจลไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับที่ 30 kGy หรือถ้าต้องการ NR/LDPE blend ที่เกิดการครอสลิงค์บางส่วนที่มีความแข็งแรงไม่มากนักก็เลือกฉายรังสีที่ปริมาณรังสีระหว่าง 0 - 20 kGy

ส่วนค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% และ 1.5% หลังทำการฉายรังสี 10 – 70 kGy ด้วยค่าสัดส่วนการบวมน้ำมัน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์เมื่อเรานำ NR/LDPE blend ดังกล่าวไปแช่ในตัวทำละลายโดยในที่นี้ได้แก่สารละลายไซลีนและโทลูอีนในอัตราส่วน 1:1 NR/LDPE blend ที่เกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลมาก ก็จะเกิดการบวมตัวน้อยกว่า NR/LDPE blend ที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลน้อยกว่า จากผลการทดสอบพบว่าค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันจะมีค่าลดลงในขณะที่ปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของ NR/LDPE blend มากขึ้นตามลำดับ จากกราฟรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงปริมาณรังสีเท่ากับ 30 – 50 kGy

ส่วนค่าสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5 % มีค่ามากกว่า NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0 % ที่เป็นเช่นนี้มีสาเหตุจากการที่ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เข้าไปแทรกตัวระหว่าง โมเลกุลของยางและโพลีเอทที่ลื่น เพราะฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กทำให้โมเลกุลยางและโพลีเอทที่ลื่นความหนาแน่นต่ำเกาะตัวกันไม่แน่นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ นอกจากนั้นยังส่งผลให้ระหว่างโมเลกุลของยางและโพลีเอทที่ลื่นความหนาแน่นต่ำมีช่องว่าง ทำให้ตัวทำละลายเข้าไปทำปฏิกิริยาการละลายได้ดีกว่าจึงส่งผลทำให้ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5 % มีการบวมตัวมากกว่ากรณีที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0 %

5.1.5 ผลจากการทดสอบค่าดัชนีความเข้มของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ก่อนและหลังการฉายรังสี

ค่าดัชนีความเข้มขึ้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความทนทานต่อการลुकติดไฟได้ของโพลีเมอร์ จากการทดสอบในหัวข้อที่ 3.15 ค่าดัชนีความเข้มขึ้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วนเท่ากับ 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% ก่อนทำการฉายรังสีมีค่าเท่ากับ 13.61 % เมื่อได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีเท่ากับ 50 kGy มีค่าเท่ากับ 16.97% ซึ่งแสดงว่าปริมาณรังสีมีผลทำให้ NR/LDPE blend ตามอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าดัชนีความเข้มขึ้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้มีค่าสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อ NR/LDPE blend ได้รับรังสีจะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางและโพลีเอทที่ลื่นซึ่งทำให้ NR/LDPE blend มีความทนทานต่อการลुकไหม้ได้ดีขึ้น ซึ่งทำให้ค่าดัชนีความเข้มขึ้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้มีค่าสูงขึ้น ส่วนเมื่อนำค่าดัชนีความเข้มขึ้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 0% ที่ได้รับการฉายรังสีที่ปริมาณเท่ากับ 50 kGy ไปเปรียบเทียบกับค่าดัชนีความเข้มขึ้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่อัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% ที่ได้รับการฉายรังสีในปริมาณเดียวกัน ปรากฏว่าค่าดัชนีความเข้มขึ้นของก๊าซออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลुकติดไฟได้ของ NR/LDPE blend ที่ใช้ปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์เท่ากับ 1.5% มีค่ามากกว่าโดยมีค่าเท่ากับ 17.94 % ซึ่งก็แสดงว่าการใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์มีผลทำให้ NR/LDPE blend มีความทนทานต่อการลुकไหม้ได้ดีขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะการใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์มีผลช่วยให้ การผสมเข้ากันระหว่างยาง

ธรรมชาติและโพลีเอทที่ลื่นความหนาแน่นต่ำเข้ากันได้ดี จึงส่งผลทำให้เมื่อ NR/LDPE blend ได้รับการฉายรังสีจะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของโพลีเมอร์ทั้งสองมากกว่า กรณีไม่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์

5.1.6 ผลจากการทดสอบค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่มีฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ ก่อนและหลังการฉายรังสี

จากผลการทดสอบค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วน 50/50 ที่ไม่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์มีค่าเท่ากับ 2.18 ± 0.16 g /10 minute และค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ในอัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ปริมาณ 1.5% หรือ 49.25/49.25/1.5 มีค่าเท่ากับ 5.22 ± 0.60 g /10 minute ส่วน NR/LDPE blend ในอัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ปริมาณ 1.5% เมื่อนำไปฉายรังสีที่ 50 kGy จะมีค่าดัชนีการไหลเท่ากับ 1.17 ± 0.42 g /10 minute ที่อุณหภูมิการทดสอบ 230 องศาเซลเซียส เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าดัชนีการไหลจะพบว่าค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ปริมาณ 1.5% มีค่าสูงกว่า ค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่ไม่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่เป็นเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าปริมาณฟทาลิกแอนไฮไดรด์ที่ใช้ใน NR/LDPE blend มีผลต่อค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend คือฟทาลิกแอนไฮไดรด์ จะไปทำให้ NR/LDPE blend มีการนํ้าตัวลงอันเนื่องมาจาก ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ เป็นตัวคอมแพททิบิไลเซอร์ ก็จะไปลดแรงดึงผิวของยางธรรมชาติและโพลีเอทที่ลื่นความหนาแน่นต่ำ เมื่อ NR/LDPE blend นํ้าตัวลงก็จะส่งผลให้ค่าดัชนีการไหลมีค่าเพิ่มขึ้น และในขั้นตอนการผสมแรงเฉือนที่เกิดจากการหมุนของตัวโรเตอร์ในเครื่องผสม (internal mixer) จะทำให้สายโซ่ของโมเลกุลของยางขาด ทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางสั้นลง และเกิดอนุมูลอิสระบริเวณสายโซ่โมเลกุลที่ขาดซึ่ง อนุมูลนี้จะไปทำปฏิกิริยากับฟทาลิกแอนไฮไดรด์ ทำให้สายโซ่ยางที่ขาดไม่สามารถกลับมาต่อกันได้ดังเดิมด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางมีขนาดที่สั้นลง จะส่งผลทำให้มีความนํ้าตัวขึ้นแต่เมื่อ NR/LDPE blend ในอัตราส่วน 50/50 ที่ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ปริมาณ 1.5% หรือ 49.25/49.25/1.5 เมื่อได้รับการฉายรังสี จะมีค่าดัชนีการไหลต่ำกว่า NR/LDPE blend ที่ไม่ได้รับการฉายรังสี โดยในการหาค่าดัชนีการไหลของ NR/LDPE blend ที่ได้รับการฉายรังสี จะต้องใช้อุณหภูมิในการหาที่สูงกว่า ที่เป็นเช่นนี้เพราะเมื่อ NR/LDPE blend ได้รับการฉายรังสีจะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ซึ่งจะส่งผลให้โมเลกุลของ NR/LDPE blend มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และมีมวลโมเลกุลที่มากขึ้นด้วยสาเหตุเหล่านี้จะส่งผลทำให้ NR/LDPE blend ที่ผ่านการฉายรังสีมีค่าดัชนีการไหลที่น้อยลง และต้องใช้อุณหภูมิในการทดสอบสูงกว่า NR/LDPE blend

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

เนื่องจากยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัย จำเป็นต้องใช้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ต้องมีการนำวัตถุดิบมาจากหลายแหล่งผลิต ทำให้คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของยางธรรมชาติมีความแตกต่างกันส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยอาจมีความแปรปรวนนอกจากนี้การเติมฟทาลิกแอนไฮไดรด์ แม้ว่าจะช่วยให้ยางธรรมชาติและโพลีเอททีลีนเข้ากันได้ดี ซึ่งจะส่งผลให้คุณสมบัติของโพลีเมอร์ผสมดังกล่าวมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ในทางกลับกันฟทาลิกแอนไฮไดรด์กลับส่งผลทำให้โพลีเมอร์ผสมมีความนิ่มตัว ซึ่งการนิ่มตัวนี้จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ฟทาลิกแอนไฮไดรด์เมื่อใช้เป็นคอมแพททิบิไลเซอร์ นอกจากจะทำให้โพลีเมอร์สองชนิดเข้ากันได้ดีขึ้น แล้วยังส่งผลให้โพลีเมอร์ผสมนั้นมีความนิ่มตัวลงซึ่งจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความแข็งแรงลดลง ในการฉายรังสีถ้าฉายรังสีในปริมาณน้อยโพลีเมอร์ผสมจะเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลเพียงบางส่วนแม้จะทำให้โพลีเมอร์ผสมมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นแต่ผลจากการนิ่มตัวจะส่งผลให้ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความแข็งแรง มีค่าน้อยกว่าโพลีเมอร์ผสมที่ไม่ได้ใช้ฟทาลิกแอนไฮไดรด์ แต่ถ้านำโพลีเมอร์ผสมไปทำการฉายรังสีที่ปริมาณรังสีสูงๆ ผลจากการนิ่มตัวจะส่งผลต่อ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าความแข็งแรง มีค่าน้อยมาก จากค่าสัดส่วนความเป็นเจลถ้าต้องการผลิต NR/LDPE blend แบบครอสลิงค์บางส่วนด้วยรังสีแกมมาควรเลือกใช้ปริมาณรังสีช่วงระหว่าง 0 – 20 kGy เนื่องจากถ้าใช้ปริมาณรังสีสูงกว่านี้จะทำให้ NR/LDPE blend เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลทำให้การผลิตขึ้นรูปเป็นวัตถุดิบทำได้ยาก หรือต้องใช้อุณหภูมิสูงซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนและเสียเวลาเป็นอย่างมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. J. D. Hunt, and G. Alliger. Rubber-application of radiation to tire manufacture. Radiation Physics and Chemistry, 14/1-2(1979): 39-50
2. มาลี กลิ่นกุหลาบ. การใช้รังสีแกมมาฆ่าเห็บยุงทำให้เกิดครอสลิงค์ในเมทิลเมทาคริเลตกรดอะคริลิกและโพลีไวนิลคลอไรด์ ร่วมกับสารไวปฏิกิริยาบางตัว60. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545.
3. Ibrahim Abdullam, Sahrim Ahmad and Che Som Sulaiman. Blending of Natural Rubber with Linear Low-Density Polyethylene. Journal of Applied Polymer Science. 58 (1995) : 1125-1133.
4. H.M, Dahlan , M.D. Khairul Zaman and A. Ibrahim. Liquid natural rubber (LNR) as a compatibilizer in NR/LLDPE blends. Journal of Applied Polymer Science . 78 (2000) : 1776-1782.
5. Indranil Banik, and Anil K. Bhowmick. Effect of Electron Beam Irradiation on The Properties of Crosslinked Rubbers. Radiation Physics and Chemistry,58(2000): 293-298
6. Gornoll. A., Wanich T., and Bellare A. Quantitative Measurement of The Morphology and Fracture Toughness of Radiation Crosslinked UHMWPE, 47th Annual Meeting, Orthopedic Research Society, February, 25-28, San Francisco, California,2001.
7. ชเนศ อินทรลักษณ์. การพัฒนาท่อโพลีเอททีลีน/เอททีลีนอะซิเตตหดตัวได้ด้วยความร้อนโดยการฉายรังสีแกมมาจากโคบอลต์-60. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545.
8. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 3rd ed. New York: John Wiley & sons,1999.
9. Hitoshi Yamaoka. Radiation Chemistry of Polymers. UNDP / IAEA / RCA Regional Training Course on Radiation Chemistry Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment. JAERI, 1991
10. ธวัชชัย อธิพิณชนกร. การทำวัสดุโพลีเอททีลีนหดตัวได้ด้วยความร้อนโดยการฉายรังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
11. Wood, R. J., Pikaev., A. K. Applied Radiation Chemistry : Radiation Processing. New York : A Wiley- Interscience,1994.

12. บุญสิทธิ์ ทองรับใบ. การศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางอะคริลิก.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงาน
และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.
13. D.A. Thomas and L.H. Sperling. Interpenetrating Polymer Networks: Polymer blends Volume
2. New York : D.R. Paul and Seymour Newman Academic Press, 1978
14. L.H. Sperling. Polymeric Multicomponent Materials. 1st . New York: A Wiley-Interscience
Publication
15. S.D. Hudson and A.M. Jamieson. Morphology and Properties of Blends Containing: Polymer
Blend Volume 1 Formulation. New York: John Wiley and sons, 2000
16. James E. Mark, Burak Erman and Frederick R. Eirich. Science and Technology of Rubber.
2nd edition. San Diego : Academic Press, 1994.
17. พงษ์ธร แซ่ฮุย. ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและ
วัสดุแห่งชาติ, 2548
18. วราภรณ์ จอร์ไชยกุล. ยาง. กรุงเทพมหานคร : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2536.
19. ศิริพร เต็งรัง. การศึกษาการเตรียมมาสเตอร์แบทจากน้ำยางเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ
ผสมซิลิกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.
20. เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. การผลิตยางธรรมชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
21. ณัฐชยา อโนชาเดช. การปรับปรุงสมบัติของฟิล์มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น
โดยเทคนิคการทำพอลิเมอร์ผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545.
22. จริญญา พิษิตกุล. รายงานสัมมนา LLDPE พลาสติกที่นำจับตามอง. ศูนย์บรรจุหีบห่อไทย:
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2532.
23. Butler, T. Linear Low Density Polyethylene. in Film Extrusion , Manual Process Material,
Properties. Atlanta : Tappi Press, 1992.
24. วราภรณ์ จอร์ไชยกุล. เทคโนโลยียาง. กรุงเทพมหานคร : ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัย
ยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2541.
25. วราภรณ์ จอร์ไชยกุล. วิทยาการขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแห้ง. สงขลา : งานอุตสาหกรรมยาง
ศูนย์วิจัยการยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2523.

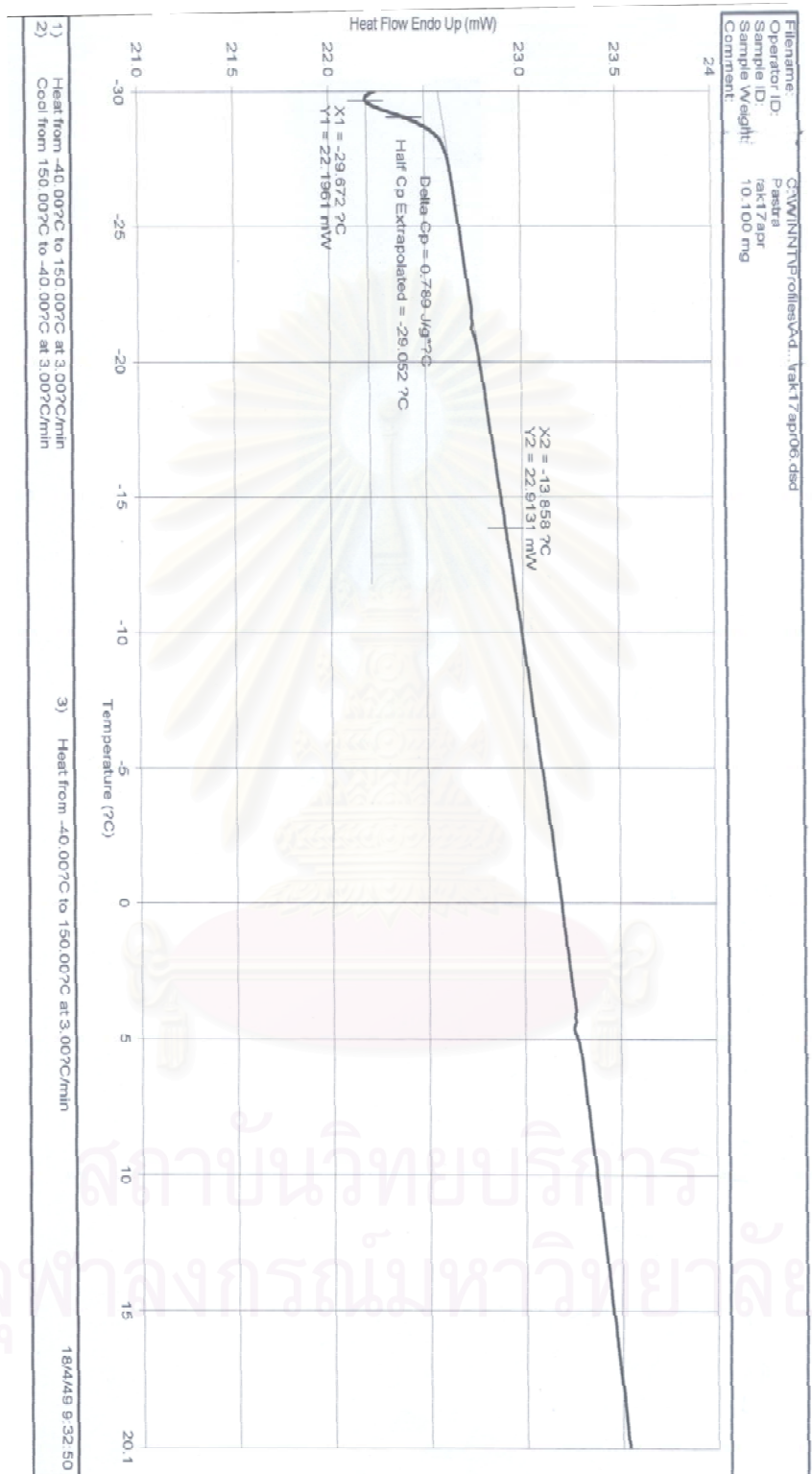
26. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์. เคมีรังสีและกระบวนการทางรังสี. เอกสารการสอน. ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
27. ชยากริต ศิริอุปถัมภ์, นเรศร์ จันทน์ขาว, สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, เดโช ทองอร่าม และ ไกรธีระ กิตติศรีไสว. การพัฒนาผลิตสายไฟฟ้าขนาดเล็กทนกระแสสูงโดยใช้โพลีเมอร์สังเคราะห์อย่างธรรมชาติเบสึนค์ครอสลิงค์ด้วยรังสีแกมมาระดับโรงงานต้นแบบ. งานวิจัยภาครัฐร่วมเอกชน ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.
28. สุรัชนีา ถิ่นนคร. กระบวนการเกิดโฟมของพอลิเมอร์ผสมของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2545.
29. American Society of Testing and Materials. Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Rubbers and Thermoplastic Elastomers–Tension. ASTM D412-98a, 2002.
30. American Society of Testing and Materials. Standard Test Methods for Rubber Property-Durometer Hardness. ASTM D2240-03, 2003.
31. American Society of Testing and Materials. Standard Test Methods for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle - Like Combustion of Plastics. (Oxygen Index) ASTM D2863-00, 2000.



ภาคผนวก

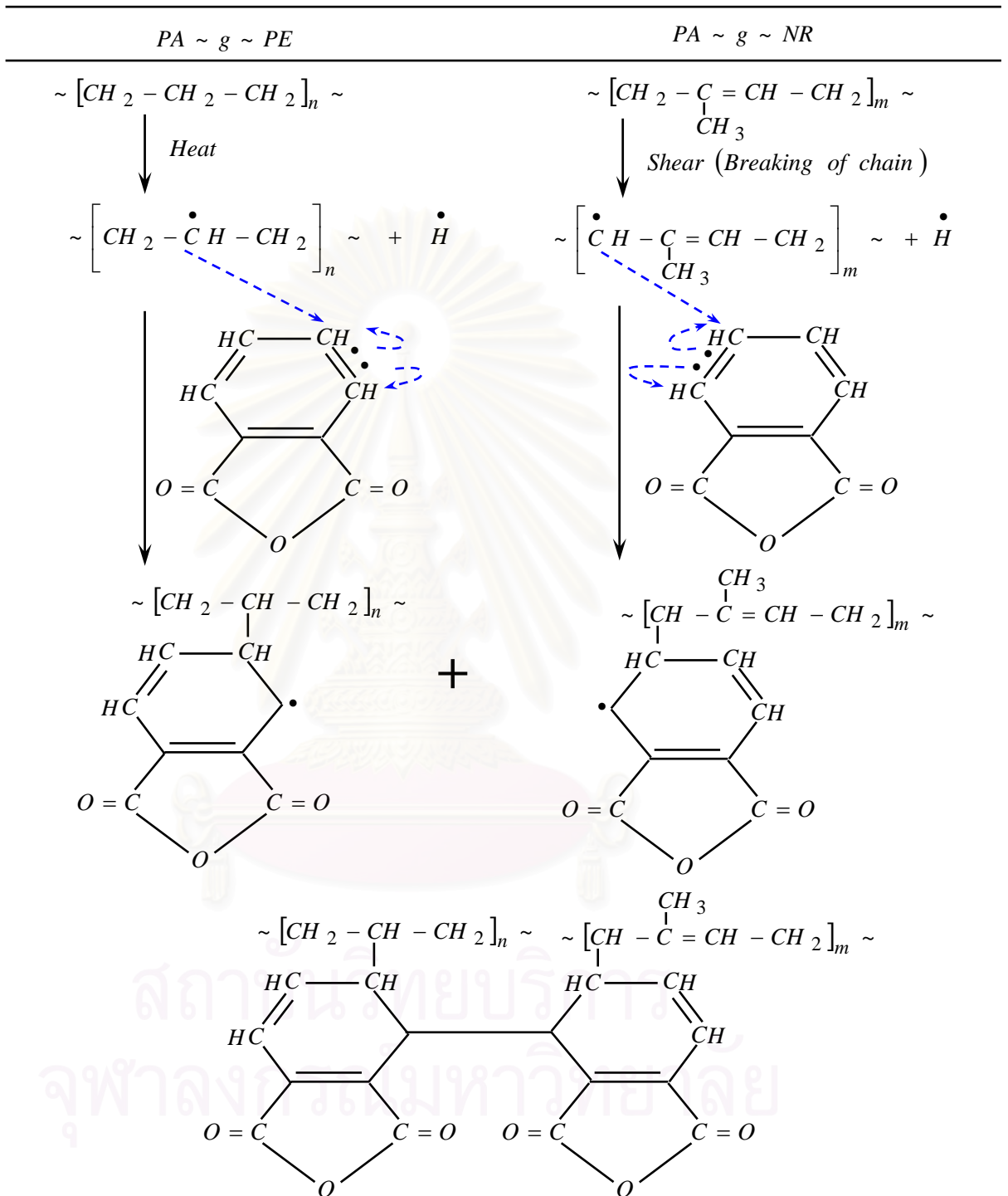
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก



รูป ก.1 ผลการทดสอบความสามารถในด้านความเข้ากันได้ ของ NR/LDPE blend ที่สัดส่วน 49.25/49.25/1.5 ด้วยเครื่อง DSC

ภาคผนวก ข



รูปที่ ข.1 Grafting reaction to obtain graft copolymer of NR and PE with PA linkage

(NR~PA~PE) using Phthalic anhydride as compatibilizer

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE blend

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 50/50/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 MPa	ทดสอบครั้งที่2 MPa	ทดสอบครั้งที่3 MPa	เฉลี่ย MPa
0	6.871	7.278	7.189	7.113
10	6.950	6.656	6.838	6.815
20	7.136	7.136	-	7.136
30	7.098	7.443	8.718	7.753
40	-	7.038	8.165	7.602
50	9.693	8.548	8.623	8.954
60	10.016	10.990	-	10.503
70	10.910	10.680	10.72	10.770

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน

49.25/49.25/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 MPa	ทดสอบครั้งที่2 MPa	ทดสอบครั้งที่3 MPa	เฉลี่ย MPa
0	5.214	5.495	5.742	5.484
10	5.836	5.844	5.267	5.649
20	6.287	5.619	6.494	6.133
30	6.555	6.586	6.999	6.713
40	7.101	7.691	7.626	7.473
50	6.947	7.212	6.979	7.046
60	8.026	8.416	8.429	8.290
70	9.332	-	9.280	9.306

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 60/40/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 MPa	ทดสอบครั้งที่2 MPa	ทดสอบครั้งที่3 MPa	เฉลี่ย MPa
0	5.214	5.495	5.742	5.484
10	6.289	5.757	5.459	5.835
20	6.149	5.952	7.076	6.392
30	6.909	6.727	6.536	6.724
40	7.836	7.143	8.054	7.678
50	8.030	8.719	7.833	8.194
60	11.114	8.653	8.654	9.474
70	10.840	9.820	11.260	10.640

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน

59.10/39.40/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 MPa	ทดสอบครั้งที่2 MPa	ทดสอบครั้งที่3 MPa	เฉลี่ย MPa
0	3.589	3.909	4.238	3.912
10	3.494	4.136	4.499	4.043
20	4.547	4.760	4.422	4.577
30	5.527	4.653	5.069	5.083
40	6.697	7.116	6.655	6.822
50	6.521	5.815	7.375	6.570
60	7.409	6.879	7.003	7.097
70	8.358	7.224	8.695	8.092

ตารางที่ ค.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 70/30/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 MPa	ทดสอบครั้งที่2 MPa	ทดสอบครั้งที่3 MPa	เฉลี่ย MPa
0	3.099	3.428	3.399	3.309
10	3.359	3.331	3.976	3.555
20	3.711	2.809	4.379	3.633
30	5.711	5.121	5.359	5.397
40	4.992	5.265	4.941	5.066
50	6.301	5.347	6.279	5.976
60	8.289	4.686	6.349	5.518
70	9.787	8.803	8.563	9.051

ตารางที่ ค.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน

68.95/29.55/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 MPa	ทดสอบครั้งที่2 MPa	ทดสอบครั้งที่3 MPa	เฉลี่ย MPa
0	2.066	2.283	2.207	2.186
10	2.848	3.297	2.507	2.884
20	3.250	3.430	2.633	3.104
30	4.801	4.507	3.384	4.231
40	5.148	3.869	5.296	4.771
50	5.666	5.190	6.273	5.710
60	6.420	6.400	4.926	5.915
70	6.927	6.706	-	6.817

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE blend

ตารางที่ ง.1 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 50/50/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Elongation %	ทดสอบครั้งที่2 Elongation %	ทดสอบครั้งที่3 Elongation %	เฉลี่ย Elongation %
0	632.900	669.600	681.800	661.430
10	474.657	458.565	480.636	471.286
20	654.425	629.037	-	641.731
30	484.823	521.364	598.090	534.759
40	-	458.785	503.683	481.234
50	544.758	471.130	482.063	499.317
60	496.396	533.271	-	514.833
70	626.400	619.700	598.400	614.900

ตารางที่ ง.2 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยืดจนขาดของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 49.25/49.25/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Elongation %	ทดสอบครั้งที่2 Elongation %	ทดสอบครั้งที่3 Elongation %	เฉลี่ย Elongation %
0	561.500	537.700	546.300	548.500
10	460.945	446.821	424.356	444.041
20	592.188	454.325	501.320	515.944
30	506.334	517.348	550.300	524.661
40	610.479	686.964	700.319	665.921
50	470.106	464.093	474.737	469.645
60	437.815	489.008	492.891	473.238
70	663.000	-	652.100	657.550

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓.3 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยืดขนาดของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน
60/40/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Elongation %	ทดสอบครั้งที่2 Elongation %	ทดสอบครั้งที่3 Elongation %	เฉลี่ย Elongation %
0	579.200	611.000	581.700	590.600
10	508.777	475.409	448.739	477.642
20	666.979	667.988	746.637	693.868
30	512.056	518.144	499.810	510.004
40	579.017	688.658	636.701	634.792
50	480.126	500.693	464.538	481.786
60	521.395	491.855	485.684	499.645
70	661.800	665.500	652.100	659.800

ตารางที่ ๓.4 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยืดขนาดของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน
59.10/39.40/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Elongation %	ทดสอบครั้งที่2 Elongation %	ทดสอบครั้งที่3 Elongation %	เฉลี่ย Elongation %
0	-	563.400	562.700	563.100
10	257.036	356.990	438.871	350.966
20	375.891	505.339	394.980	425.403
30	485.566	409.992	394.759	430.106
40	690.391	786.114	697.632	724.712
50	447.245	415.887	483.575	448.902
60	482.013	467.324	472.368	473.902
70	614.900	583.100	617.300	605.100

ตารางที่ ๓.5 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยืดขนาดของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน
70/30/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Elongation %	ทดสอบครั้งที่2 Elongation %	ทดสอบครั้งที่3 Elongation %	เฉลี่ย Elongation %
0	564.600	587.800	538.600	563.600
10	386.264	423.142	438.235	415.880
20	485.753	401.991	612.939	500.228
30	520.582	477.325	530.160	509.356
40	441.890	447.817	412.688	434.132
50	507.519	430.388	511.322	483.076
60	498.688	408.244	453568	430.906
70	654.500	590.500	613.600	619.533

ตารางที่ ง.6 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยืดขนาดของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน
68.95/29.55/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Elongation %	ทดสอบครั้งที่2 Elongation %	ทดสอบครั้งที่3 Elongation %	เฉลี่ย Elongation %
0	517.600	529.800	570.100	539.100
10	457.467	436.237	360.437	418.047
20	447.898	432.335	348.980	409.738
30	568.494	511.865	501.380	527.246
40	476.223	456.746	480.690	471.220
50	502.251	501.193	540.986	514.810
60	483.103	520.060	444.541	482.568
70	594.100	568.100	-	581.100



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัส 100% ของ NR/LDPE blend

ตารางที่ จ.1 ผลการทดสอบค่าโมดูลัส 100%ของ NR/LDPE/PA blendในอัตราส่วน 50/50/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่2 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่3 Modulus 100%	เฉลี่ย Modulus 100%
0	3.612	3.391	3.533	3.512
10	3.734	3.904	3.779	3.806
20	3.952	3.784	-	3.868
30	3.529	3.537	3.966	3.677
40	-	3.653	3.451	3.552
50	4.120	3.909	3.857	3.962
60	4.027	4.019	-	4.023
70	3.592	3.771	3.875	3.746

ตารางที่ จ.2 ผลการทดสอบค่าโมดูลัส 100%ของ NR/LDPE/PA blendในอัตราส่วน

49.25/49.25/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่2 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่3 Modulus 100%	เฉลี่ย Modulus 100%
0	3.623	3.969	4.129	3.907
10	3.647	3.901	3.553	3.700
20	3.549	3.746	4.085	3.793
30	3.781	3.454	3.553	3.596
40	3.929	4.014	3.767	3.903
50	3.831	3.670	3.880	3.794
60	4.493	3.730	4.048	4.091
70	4.146	-	3.982	4.064

ตารางที่ จ.3 ผลการทดสอบค่าโมดูลัส 100%ของ NR/LDPE/PA blendในอัตราส่วน 60/40/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่2 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่3 Modulus 100%	เฉลี่ย Modulus 100%
0	3.291	2.941	2.944	3.059
10	2.907	2.773	3.108	2.929
20	2.756	2.664	2.492	2.638
30	2.255	2.420	2.217	2.297
40	2.781	2.408	2.912	2.700
50	2.353	2.358	2.580	2.431
60	2.744	2.979	2.593	2.772
70	2.837	2.638	2.985	2.820

ตารางที่ จ.4 ผลการทดสอบค่าโมดูลัส 100%ของ NR/LDPE/PA blendในอัตราส่วน

59.10/39.40/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่2 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่3 Modulus 100%	เฉลี่ย Modulus 100%
0	2.686	2.529	2.369	2.528
10	2.649	2.434	2.051	2.378
20	2.568	2.272	2.725	2.521
30	2.369	2.283	2.536	2.396
40	2.437	2.360	2.639	2.479
50	2.685	2.670	2.542	2.632
60	2.096	2.146	2.227	2.156
70	2.305	1.884	1.616	1.935

ตารางที่ จ.5 ผลการทดสอบค่าโมดูลัส 100%ของ NR/LDPE/PA blendในอัตราส่วน 70/30/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่2 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่3 Modulus 100%	เฉลี่ย Modulus 100%
0	1.049	1.203	1.286	1.179
10	1.560	1.296	1.518	1.458
20	1.504	1.334	1.382	1.407
30	1.473	1.637	1.337	1.482
40	1.480	1.262	1.770	1.504
50	1.415	1.783	1.144	1.447
60	1.608	1.714	1.802	1.708
70	2.591	1.440	1.691	1.907

ตารางที่ จ.6 ผลการทดสอบค่าโมดูลัส 100%ของ NR/LDPE/PA blendในอัตราส่วน

68.95/29.55/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่2 Modulus 100%	ทดสอบครั้งที่3 Modulus 100%	เฉลี่ย Modulus 100%
0	1.073	1.187	1.170	1.143
10	1.159	1.444	1.398	1.333
20	1.473	1.525	1.477	1.492
30	1.437	1.456	1.207	1.367
40	1.573	1.209	1.474	1.419
50	1.608	1.420	1.453	1.493
60	1.774	1.530	1.662	1.655
70	1.061	1.982	-	1.522

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE blend

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 50/50/0

ปริมาณรังสี (kGy)	วัดครั้งที่1 (shore A)	วัดครั้งที่2 (shore A)	วัดครั้งที่3 (shore A)	วัดครั้งที่4 (shore A)	วัดครั้งที่5 (shore A)	เฉลี่ย (shore A)
0	81.8	82.1	78.2	78.4	81.8	81.8
10	83.2	82.1	82.9	83.5	81.8	82.9
20	82.2	83.1	83.4	82.1	82.5	82.5
30	81.3	81.5	82.6	81.7	82.6	81.7
40	82.8	83.1	83.1	80.4	82.3	82.8
50	84.4	83.6	85.6	82.6	83.6	83.6
60	83.5	83.7	82.4	83.4	84.7	83.5
70	84.0	85.0	84.3	85.7	85.0	85.0

ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 49.25/49.25/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	วัดครั้งที่1 (shore A)	วัดครั้งที่2 (shore A)	วัดครั้งที่3 (shore A)	วัดครั้งที่4 (shore A)	วัดครั้งที่5 (shore A)	เฉลี่ย (shore A)
0	79.8	78.5	78.8	79.2	79.9	79.2
10	81.0	81.5	80.4	80.6	80.6	80.6
20	81.0	81.8	81.0	80.7	80.5	81.0
30	81.6	81.6	81.2	80.1	80.8	81.2
40	81.2	81.4	81.7	82.6	82.3	81.7
50	82.9	81.8	82.0	83.4	82.5	82.5
60	82.0	82.0	83.1	82.9	82.1	82.1
70	83.3	82.1	82.8	83.2	83.9	83.2

ตารางที่ ฉ.3 ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 60/40/0

ปริมาณรังสี (kGy)	วัดครั้งที่1 (shore A)	วัดครั้งที่2 (shore A)	วัดครั้งที่3 (shore A)	วัดครั้งที่4 (shore A)	วัดครั้งที่5 (shore A)	เฉลี่ย (shore A)
0	69.2	68.8	70.1	69.4	68.3	69.2
10	69.9	70.8	70.8	71.2	71.8	70.8
20	71.0	70.7	70.6	69.9	70.7	70.7
30	69.6	69.9	69.1	70.5	70.8	69.9
40	71.9	70.6	71.9	69.3	68.7	70.6
50	71.2	71.9	71.9	71.8	71.4	71.8
60	72.0	72.1	71.7	72.3	72.7	72.1
70	72.7	72.4	73.0	73.1	72.3	72.7

ตารางที่ ๓.4 ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 59.10/39.40/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	วัดครั้งที่1 (shore A)	วัดครั้งที่2 (shore A)	วัดครั้งที่3 (shore A)	วัดครั้งที่4 (shore A)	วัดครั้งที่5 (shore A)	เฉลี่ย (shore A)
0	66.3	67.0	63.6	67.6	63.3	66.3
10	65.8	66.8	69.4	67.8	67.2	67.2
20	68.9	68.3	66.4	66.1	66.0	66.4
30	63.9	63.6	65.5	64.2	64.8	64.2
40	69.0	69.4	68.9	69.1	68.9	69.0
50	66.5	66.6	67.2	66.5	67.3	66.6
60	68.8	68.8	69.3	68.1	68.4	68.8
70	71.9	72.0	70.6	72.0	72.5	72.0

ตารางที่ ๓.5 ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 70/30/0

ปริมาณรังสี (kGy)	วัดครั้งที่1 (shore A)	วัดครั้งที่2 (shore A)	วัดครั้งที่3 (shore A)	วัดครั้งที่4 (shore A)	วัดครั้งที่5 (shore A)	เฉลี่ย (shore A)
0	48.8	49.2	49.5	49.4	48.3	49.2
10	50.6	50.1	48.0	49.6	49.0	49.6
20	50.6	49.1	49.5	49.9	48.8	49.5
30	50.9	50.5	50.6	50.8	51.3	50.8
40	52.8	52.9	52.5	52.1	52.6	52.6
50	52.3	53.0	52.9	53.0	53.6	53.0
60	57.3	56.4	57.0	57.2	56.6	57.0
70	57.6	57.5	57.3	59.5	59.1	57.6

ตารางที่ ๓.6 ผลการทดสอบความแข็งของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 68.95/29.55/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	วัดครั้งที่1 (shore A)	วัดครั้งที่2 (shore A)	วัดครั้งที่3 (shore A)	วัดครั้งที่4 (shore A)	วัดครั้งที่5 (shore A)	เฉลี่ย (shore A)
0	46.4	47.3	46.4	49.1	47.5	47.3
10	51.6	50.4	49.0	49.6	48.8	49.6
20	49.4	48.9	50.2	50.9	50.6	50.2
30	50.4	50.4	50.8	51.8	51.5	50.8
40	53.0	52.5	51.6	51.9	52.8	52.5
50	51.8	52.7	51.8	54.0	51.9	51.9
60	54.6	54.5	54.6	54.8	54.6	54.6
70	54.0	54.9	55.4	52.6	53.2	54.0

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE blend

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 50/50/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Gel content %	ทดสอบครั้งที่2 Gel content %	ทดสอบครั้งที่3 Gel content %	เฉลี่ย Gel content %
0	-	-	-	-
10	2.13	1.94	1.90	1.99
20	3.25	3.41	3.24	3.30
30	33.97	34.13	33.84	33.98
40	59.44	58.35	59.12	58.97
50	61.73	61.45	61.77	61.65
60	67.87	68.40	68.60	68.29
70	74.96	75.23	75.26	73.15

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบสัดส่วนความเป็นเจลของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน

49.25/49.25/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Gel content %	ทดสอบครั้งที่2 Gel content %	ทดสอบครั้งที่3 Gel content %	เฉลี่ย Gel content %
0	-	-	-	-
10	1.58	1.73	1.61	1.64
20	14.54	14.68	14.76	14.66
30	61.11	62.21	61.30	61.54
40	61.74	61.81	61.73	61.76
50	63.84	64.12	63.95	63.97
60	71.21	71.42	71.54	71.39
70	73.71	73.31	73.15	73.40

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE blend

ตารางที่ ข.1 ผลการทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 50/50/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Swelling ratio%	ทดสอบครั้งที่2 Swelling ratio%	ทดสอบครั้งที่3 Swelling ratio%	เฉลี่ย Swelling ratio%
0	-	-	-	-
10	284.62	287.23	286.69	286.18
20	290.09	288.42	284.56	287.69
30	266.34	267.29	262.36	265.33
40	263.43	264.59	266.14	264.72
50	260.85	263.37	263.22	262.48
60	264.40	264.53	261.81	263.58
70	260.67	263.27	260.41	261.45

ตารางที่ ข.2 ผลการทดสอบสัดส่วนการบวมน้ำมันของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 49.25/49.25/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 Swelling ratio%	ทดสอบครั้งที่2 Swelling ratio%	ทดสอบครั้งที่3 Swelling ratio%	เฉลี่ย Swelling ratio%
0	-	-	-	-
10	308.70	304.97	303.61	305.76
20	301.28	298.43	297.56	299.09
30	287.44	290.51	291.15	289.70
40	271.63	274.52	271.89	272.68
50	265.98	264.87	271.14	267.33
60	260.55	259.76	264.79	261.70
70	259.86	262.34	258.31	260.17

ภาคผนวก ฅ

ผลการทดสอบดัชนีความเข้มของกำรออกซิเจนต่ำสุดที่สามารถทำให้ลุกติดไฟได้ (Limiting Oxygen Index, LOI) ของ NR/LDPE blend

ตารางที่ ฅ.1 ผลการทดสอบ LOI ของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 50/50/0

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 LOI %	ทดสอบครั้งที่2 LOI %	ทดสอบครั้งที่3 LOI %	เฉลี่ย LOI %
0	13.01	13.89	13.93	13.61
50	16.18	17.35	17.52	16.97

ตารางที่ ฅ.2 ผลการทดสอบ LOI ของ NR/LDPE/PA blend ในอัตราส่วน 49.25/49.25/1.5

ปริมาณรังสี (kGy)	ทดสอบครั้งที่1 LOI %	ทดสอบครั้งที่2 LOI %	ทดสอบครั้งที่3 LOI %	เฉลี่ย LOI %
50	17.91	17.85	18.06	17.94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายรักพงษ์ รุทธนานุรักษ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2514 ที่กรุงเทพมหานครสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2540 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นิเวศลิษฐ์เทคโนโลยี) ที่ภาควิชาชีวเคมีและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย