



ผลของสารป้องกันออกซิเดชันต่อพลาสมาฉายรังสีวัลคาไนเซชันด้วยรังสี
 Effect of Antioxidants on Radiated Vulcanization
 Natural Rubber Latex

ปรีดี เปรม จงรักษ์
 Preprame Chongrak

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เคมี เชิงฟิสิกส์
 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
 Master of Science Thesis in Physical Chemistry
 Prince of Songkla University

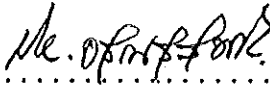
2537

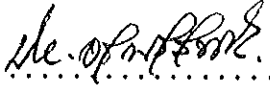
เลขหมู่ T.P.Sd.186 246 2009 ค. 2
 Bib Key 019919

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสารป้องกันออกซิเดชันต่อน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี
ผู้เขียน นางสาวปรีดีเปรม จงรักษ์
สาขาวิชา เคมีเชิงฟิสิกส์

คณะกรรมการที่ปรึกษา


คณะกรรมการสอบ

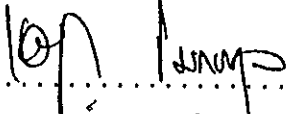

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริญญา อรุณวิสุทธิ)

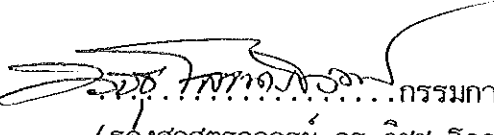

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปริญญา อรุณวิสุทธิ)

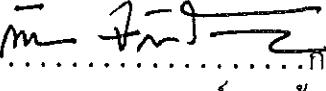
.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์)

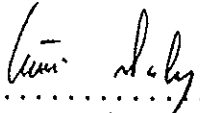

.....กรรมการ
(อาจารย์เจษฎา โมกขกุล)


.....กรรมการ
(อาจารย์เจษฎา โมกขกุล)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิชชุ โลจนาภิวัฒน์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กาน จันทรพรหมมา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเชิงฟิสิกส์


.....
(ดร. ไพรัตน์ สงวนไทร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลของสารป้องกันออกซิเดชันที่มีต่อน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี
ผู้เขียน นางสาวปรีดีเปรม จรุงรักษ์
สาขาวิชา เคมีเชิงฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2536

บทคัดย่อ

ได้เลือกศึกษาผลของสารป้องกันออกซิเดชันที่มีต่อน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี น้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี (RVNRL) เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมของ นอร์มอลบิวทิลอะโครเลต 0.5 ส่วนต่ออย่างร้อยละ กับ เทอริวีรี บิวทิว ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ 0.1 ส่วนต่ออย่างร้อยละ (ทำหน้าที่เป็นเซนซิไทเซอร์) แล้วฉายรังสีแกมมาปริมาณ 8 กิโลเกรย์ พบว่าความหนืดของน้ำยางที่เตรียมได้ลดลง แต่ความทนแรงดึงของฟิล์มยางเพิ่มขึ้น ตามอายุการเก็บน้ำยาง (RVNRL) สมบัติเชิงฟิสิกส์ของฟิล์มยางหลังอบแห้ง รวมทั้งความทนแรงดึงซึ่งขึ้นกับเวลาการล้าง (0 - 60 นาที) วัลคาไนซ์ เคบี เป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพที่สุด ที่ให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดโดยใช้ความเข้มข้นต่ำ และใช้เวลาการล้างน้อย ตัวอย่างหนึ่งคือถุงมือยางทางการแพทย์ที่เตรียมจากน้ำยาง RVNRL ซึ่งเติม วัลคาไนซ์ เคบี 0.5 ส่วนต่ออย่างร้อยละ หลังจากล้างด้วยน้ำ 50 °C นาน 3 นาที ค่าความทนแรงดึงก่อนและหลังอบเท่ากับ 21 และ 20 เมกกะพาสคัล ตามลำดับ

Thesis Title Effect of Antioxidants on Radiated Vulcanization
 Natural Rubber Latex
Author Miss Preprame Chongrak
Major Program Physical Chemistry
Academic Year 1993

Abstract

The effect of antioxidants on the radiated vulcanization of natural rubber latex by radiation was chosen for this studies. Irradiation with gamma ray at 8 kGy of a mixture of natural rubber latex, 0.5 phr of *n*-butyl acrylate (*n*-BA), and 0.1 phr of *tert*-butyl hydroperoxide (sensitizer), yielded a radiated vulcanization natural rubber latex (RVNRL). It was found that the viscosity of this product decreased but tensile strength of its films increased with the storage time of the RVNRL. Various kinds of antioxidants were added to RVNRL, it revealed that the physical properties of the films after aging was improved, including the tensile strength which depended on the time of leaching (0 - 60 mintues). Vulcanox KB was the best effective antioxidant that gave the maximum tensile strength at low concentration and with a short time for leaching. One example is medical gloves prepared from RVNRL, in the presence of 0.5 phr of Vulcanox KB. After being leached with water at 50 °C for 3 min., the resulting products showed different tensile strength of 21 MPa and 20 MPa before and after aging condition respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปริณฎา อรรถวิสิทธิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ติดตามแก้ไขและให้แนวคิดอันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัย ทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ ความรู้ จนสำเร็จตามจุดประสงค์

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ให้คำชี้แนะและตรวจแก้ไขฉบับร่างวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ เป็นเล่มดังปรากฏนี้

ขอขอบคุณ คุณจินตารมย์ ชวเจริญพันธ์ คุณพิริยาภร สุวรรณมาลา สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ และคุณเจริญ คำลา ศูนย์ฉายรังสีอาหารและผลิตผลการเกษตร ที่ได้ให้ใช้สถานที่เตรียมน้ำยางและน้ำน้ำยางเข้าฉายรังสี โดยสะดวก จนงานวิจัยสำเร็จและบรรลุตามเป้าหมาย

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยยางสงขลา และคุณเคียร บัวแก้ว หน่วยเครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่อำนวยความสะดวกสถานที่ และได้ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางและผลิตภัณฑ์ให้

สุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัช ชิตตระการ ที่ให้คำปรึกษา งานวิจัย ตลอดจนคำแนะนำเกี่ยวกับการพิมพ์วิทยานิพนธ์ รวมถึงคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ ที่ได้ให้กำลังใจตั้งแต่เข้าศึกษาต่อ จนสำเร็จการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ปรีดีเปรม จงรักษ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(3)
Abstract.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
รายการตาราง.....	(7)
รายการภาพประกอบ.....	(9)
ตัวย่อและสัญลักษณ์.....	(11)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
บทนำต้นเรื่อง.....	1
การตรวจเอกสาร.....	2
วัตถุประสงค์.....	23
2. วิธีการวิจัย.....	24
วัสดุ.....	24
อุปกรณ์.....	25
วิธีดำเนินการ.....	25
3. ผล.....	33
4. บทวิจารณ์.....	67
5. บทสรุป.....	71
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก ก.....	77
ภาคผนวก ข.....	79
ภาคผนวก ค.....	84
ภาคผนวก ง.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	91

รายการตาราง

ตาราง

หน้า

1. แสดงผลงานของการตกกลืนในสารประกอบชนิดต่าง ๆ สำหรับปริมาณรังสีเพียงฝั่ง 1 R ของรังสีเอ็กซ์ หรือรังสีแกมมา ที่มีพลังงานในช่วง 0.2-2.0 MeV.....7
2. แสดงค่าของ W_R8
3. แสดงผลผลิตจากการครอสลิงค์ (cl) และการแตกหักของสายโซ่ (cs) ของพอลิเมอร์บางชนิด.....13
4. แสดงผลการทดสอบสมบัติน้ำยางขึ้นตามมาตรฐาน ISO 2004-1979(E) ก่อนฉายรังสี และหลังฉายรังสี ปริมาณ 8 kGy จากบริษัทผลิตน้ำยางขึ้น 3 บริษัท.....35
5. แสดงค่าความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางในหน่วย เมกะพาสคัล (MPa) โดยใช้ n -Ba 5 phr และ m -Ba 5 phr ร่วมกับ HPO 0.1 phr.....36
6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH และความหนืดกับเวลาการเก็บอายุน้ำยางที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จากน้ำยางฉายรังสีปริมาณ 8 kGy จากบริษัทเสริมพันธ์ จำกัด....38
7. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางหลังจากการเก็บอายุน้ำยาง (storage time) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จากแหล่งผลิตน้ำยางขึ้น 3 บริษัท.....40
8. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด แอนต็อกซิแดนซ์ 2246 เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน.....42
9. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด เพอร์มาแน็กซ์ ดับลิวเอสพี เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน.....45
10. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วิงสเต แอล เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน.....48
11. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน.....51
12. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด นอนน็อก ดับลิวเอสแอล เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน.....54
13. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคบี เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน.....57
14. แสดงผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ชนิด วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	60
15. แสดงสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ความเข้มข้น 0.5 phr ลงในน้ำยางวัลคาน็อกด้วยรังสี ที่มีอายุการเก็บ 45 วัน ทำการล้างแผ่นฟิล์มยาง ด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	63
16. แสดงสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันที่เหมาะสมที่สุด ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....	64
17. แสดงสมบัติทางกายภาพของถุงมือยางทางการแพทย์ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันที่เหมาะสมที่สุด เข้มข้น 0.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำอุ่น 50 °C เป็นเวลา 3 นาที.....	65
18. แสดงสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคบี เข้มข้น 0.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำอุ่น 50 °C เป็นเวลาต่าง ๆ กัน.....	66
19. แสดงชนิดของสารป้องกันออกซิเดชันที่ใช้ในการวิจัย.....	81
20. แสดงค่าความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางเมื่อใช้ n-Ba 5 phr ร่วมกับ HPO ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ทำการฉายรังสีในปริมาณ 4, 8 และ 12 kGy.....	84
21. แสดงสมบัติทางกายภาพของถุงมือยางทางการแพทย์ชนิดถุงมือตรวจโรค (examination glove) เกณฑ์ที่ต้องการทางกายภาพ.....	84

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของลำอิเล็กตรอนกับการใช้ประโยชน์.....	4
2. แสดงสเปกตรัมพลังงานของนิวตรอนจากต้นกำเนิดชนิด Be [α, n].....	5
3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนแรงดึง (MPa) ของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางที่ฉายรังสีด้วยปริมาณต่าง ๆ กัน.....	37
4. ความสัมพันธ์ระหว่างการเก็บอายุน้ำยางกับค่า pH และความหนืด จากบริษัท เสริมพันธ์ จำกัด.....	39
5. แสดงสมบัติความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มยาง จากการฉายรังสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน.....	41
6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยาง กับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิดแอนติออกซิแดนซ์ 2246 ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	44
7. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยาง กับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิดเพอร์มาแน็กซ์ ดับบลิวเอสที ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	47
8. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยาง กับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิดวิงสเต แอล ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	50
9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยาง กับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิดนอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	53
10. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยาง กับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิดนอนน็อก ดับบลิวเอสแอล ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	56
11. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยาง กับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิดวัลคาน็อก เคบี ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	59
12. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยาง กับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิดวัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	62
13. แสดงเครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนแบบแม่เหล็ก.....	77
14. แสดงเครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนแบบกวาด.....	78
15. แสดงเครื่องฉายรังสี Carrier Type JS-8900 บริษัท Nordian In.t.....	85
16. แสดงเครื่องฉายรังสี Gamma Beam-650 บริษัท AECL.....	86

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
17. แสดงเครื่องทดสอบความทนแรงดึง ยี่ห้อ Lloyd รุ่น 1000 S ประเทศ อังกฤษ....	87
18. แสดงเครื่องตัดแผ่นฟิล์มยาง.....	88
19. แสดงตู้อบไฟฟ้าชนิด Geer Oven ยี่ห้อ Tabai.....	88
20. แสดงแบบพิมพ์มือสำหรับถ่มมือยางทางการแพทย์.....	89
21. แสดงเครื่องวัดความหนืด รุ่น DV-II.....	89
22. แสดงเครื่องวัดความเสถียรของน้ำยาง.....	90
23. แสดงเครื่องวัดการคงตัวของยางหลังจากถูกยืด.....	90

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ASTM	American Society for Testing and Materials
Bq	Becquerel, หน่วยความเข้มรังสี
CCl ₄	Carbon Tetrachloride
Ci	Curie, หน่วยความเข้มรังสี 1 Ci = 3.7 x 10 ¹⁰ Bq
Gy	Gray, หน่วยปริมาณรังสี
HPO	<i>tert</i> -butyl hydroperoxide
<i>n</i> -BA	<i>n</i> -butyl acrylate
Pa	Pascal, หน่วยความดันแรงดึง Pa = Newton/m ² 1 MPa = 10.197 kg/cm ²
phr	parts per hundred of rubber

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

ผลผลิตยางของประเทศไทยเพิ่มขึ้นจาก 1.20 ล้านตันในปี พ.ศ. 2533 เป็น 1.34 ล้านตันในปี พ.ศ. 2534 มูลค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 3,000 ล้านบาท เป็น 26,000 ล้านบาท ทำให้ประเทศไทยกลายเป็นผู้ผลิตอันดับหนึ่งของโลกเป็นปีแรก โดยผลผลิตยางแผ่นรมควันมากที่สุดประมาณ 75.7% รองลงมาคือ ยางแท่งที่อาร์ น้ายางขึ้น ยางเครพ ยางแผ่นฝั่กแห้งและอื่น ๆ ตามลำดับ จากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมยางทำให้โรงงานอุตสาหกรรมยางชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้นจาก 132 โรงงานในปี พ.ศ. 2530 เป็น 167 โรงงาน ในปี พ.ศ. 2531 หรือประมาณ 27% ในระยะ 4 ปี ที่ผ่านมาคือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 ปริมาณน้ายางขึ้นที่ผลิตได้ 14,334 เมตริกตัน เป็น 21,743 เมตริกตันในปี พ.ศ. 2534 ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ายางขึ้นโดยเฉพาะถุงมือยางเพิ่มขึ้นจาก 11,825 เมตริกตัน ในปี พ.ศ. 2532 เป็น 15,342 เมตริกตัน ในปี พ.ศ. 2534 หรือเพิ่มประมาณ 29.74% (สถิติยางประเทศไทย, 1993 : 17-45) หรืออาจกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (dipping) ประมาณ 70% ของน้ายางขึ้นใช้ผลิตถุงมือผ่าตัด (surgical glove) ถุงมือบ้านและถุงมือชนิดอื่น ที่เหลือใช้ผลิตยางอนามัย ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทางการแพทย์สายยาง (catheter) และผลิตภัณฑ์ปลอดเชื้อต่าง ๆ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสทางปาก เช่น ลูกโป่ง จุกนมเด็ก เป็นต้น และคาดว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ายางขึ้นมีแนวโน้มในการผลิตสูงขึ้น

ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากน้ายางธรรมชาติในอุตสาหกรรมทั่วไป ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ซึ่งมีการเติมสารเร่งปฏิกิริยา (accelerator) ซึ่งคือออกไซด์ (ZnO) เพื่อทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น สารที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งอาจเป็นสารก่อมะเร็งจำพวกสารประกอบไนโตรซามีน (nitrosamine) และก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง บางรายอาจเกิดอาการแพ้ได้ (Nakamura, A et al., 1989 : 1) ได้มีผู้ทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี (Chapiro, A., 1987 : 65) เพื่อให้โมเลกุลยางเกิดการครอสลิงค์ (crosslink) แทนการใช้กำมะถัน โดยมีเซนซิไทเซอร์ (sensitizer) ชนิดต่าง ๆ เป็นตัวลดปริมาณรังสีให้ต่ำลงผลิตภัณฑ์ยางจากน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีจะมีสมบัติบางประการที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จากน้ายางวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน เช่น ปลอดภัยจากสารก่อมะเร็งไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง โปรงใสกว่า และมีโมดูลัส (modulus) ต่ำกว่า เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้รังสีจะมีผลต่อสมบัติบางประการของผลิตภัณฑ์ยาง เช่น สมบัติความทนแรงดึงหลังบ่มแรงลดลง

การตรวจ เอกสาร

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับเคมีรังสี

1.1 แหล่งกำเนิดรังสีและชนิดของรังสี

รังสี (Radiation) หมายถึงอนุภาคหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากไอโซโทปกัมมันตรังสี หรือมาจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ รังสีที่ใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม จะเป็นรังสีพลังงานสูง หรือรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ ซึ่งอาจเป็นอนุภาคที่เคลื่อนที่เร็วโดยมีพลังงานเพียงพอที่ทำให้อนุภาคแตกตัวเป็นไอออนได้ โดยทั่วไปแล้วรังสีพลังงานสูงที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมได้แก่ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา อิเล็กตรอนที่ถูกเร่ง และ นิวตรอน

1.1.1 รังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่าแสงที่มองเห็นได้ รังสีเอกซ์อาจเกิดจาก

1.1.1.1 ไอโซโทปกัมมันตรังสี เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีของธาตุใดธาตุหนึ่งและมีการสลายตัวอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ในการสลายตัวนี้อาจมีหลายขั้นตอน และมีบางขั้นตอนที่คายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนที่มีพลังงานในช่วงรังสีเอกซ์ ซึ่งสามารถนำไปใช้กระตุ้นสารตัวอย่างได้ ตัวอย่างเช่น ^{55}Fe ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีจะสลายตัวเป็น Mn โดยผ่านการสลายตัวที่เรียกว่า การจับอิเล็กตรอน (electron capture, EC) และมีการคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์มีพลังงาน 5.9 keV

¹ ครอสลิงค์ คือการเชื่อมโยงโมเลกุลของสารที่มีลักษณะคล้ายยาง หรือ อีลาสโตเมอร์ (elastomer) จะอยู่ในรูปของการวัลคาไนซ์ ในความหมายของน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี หมายถึงการเชื่อมโยงโมเลกุลของยางธรรมชาติ (cis 1, 4-polyisoprene) ที่กระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ

² เซนซิไทเซอร์ สำหรับความหมายของน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี หมายถึง สารเคมีที่สามารถลดปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์

³ โมดูลัส หมายถึงแรงที่ยืดขยงออกไปถึงจุดที่กำหนด เช่น โมดูลัส 300% หมายถึงแรงที่ยืดขยงออกไป 300 เท่าของความยาวเดิม

ส่วนกรณีนิวเคลียสคายพลังงานออกมาในย่านรังสีแกมมา รังสีแกมมาอาจไม่ผ่านออกมาภายนอกอะตอมได้ โดยจะเกิดปรากฏการณ์ใหม่อีกลักษณะหนึ่งคือ รังสีแกมมาที่ถูกปล่อยออกมาจากนิวเคลียสขึ้นไปชนหรือกระตุ้นอิเล็กตรอนแทน และถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดให้อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนนั้นจะมีพลังงานสูงซึ่งมันก็สามารถหลุดออกเป็นอิสระออกจากอะตอมพร้อมกับมีพลังงานจลน์ติดไปด้วยจำนวนหนึ่ง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การสลายตัวแบบการเปลี่ยนแปลงภายใน (Internal conversion, IC)

1.1.1.2 หลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์ที่เกิดจากหลอดกำเนิดนี้ ได้จากการเร่งอิเล็กตรอน (จากขั้วคาโทด) ที่มีความเร็วสูงมากวิ่งเข้าชนเป้า (หรือขั้วแอโนด) ทำให้เกิดปรากฏการณ์ 2 ชนิดคือ

ก. อิเล็กตรอนสูญเสียความเร็วขณะชนเป้า เนื่องจากมีปฏิกิริยาในเชิงผลกกันระหว่างอิเล็กตรอนที่กำลังเคลื่อนที่กับอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมของธาตุที่ใช้ทำเป้า จึงมีการปลดปล่อยพลังงานบางส่วนออกไปในช่วงรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่อเนื่อง

ข. เมื่ออิเล็กตรอนชนขั้วแอโนดจะไปชนอิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุที่ใช้ทำขั้วแอโนดด้วย ถ้าอิเล็กตรอนนั้นมีพลังงานมากพอและหลุดออกไปจากอะตอมทำให้เกิดที่ว่างซึ่งอิเล็กตรอนในออร์บิทัลอื่น ๆ (ของอะตอมเดียวกัน) จะลงมาแทนที่โดยมีการคายพลังงานออกมาด้วยเป็นรังสีเอกซ์ ที่มีพลังงานเฉพาะตัวค่าใดค่าหนึ่ง ขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุที่นำมาใช้ทำเป้า

1.1.2 รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก ปกติจะมีในธรรมชาติเหมือนรังสีเอกซ์ ใช้กันอย่างกว้างขวางในด้านฟิสิกส์ เคมี การฉายรังสีอาหาร และกระบวนการผลิตเครื่องมือแพทย์ปลอดเชื้อ เป็นต้น รังสีแกมมาเกิดจากการแผ่รังสีออกจากนิวเคลียสของไอโซโทปรังสีที่มีในธรรมชาติ หรือไอโซโทปที่สังเคราะห์ขึ้นก็ได้โดยมีอำนาจทำให้เกิดการแตกตัวน้อยมาก แต่มีอำนาจทะลุทะลวงสูง

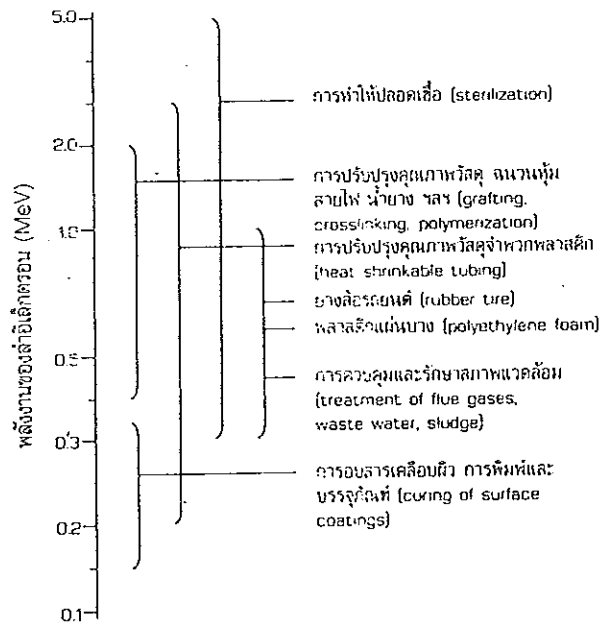
การสลายตัวโดยการคายรังสีแกมมา นิวไคลด์บางชนิดอาจมีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนพอเหมาะแล้ว แต่นิวเคลียสอยู่ในสภาวะกระตุ้น ซึ่งต้องปรับตัวลงมาสู่สภาวะพื้น โดยการคายพลังงานส่วนที่เกินออกมาจากนิวเคลียส พลังงานที่คายออกมาจะมีค่าสูงมากอยู่ในย่านรังสีแกมมา การสลายตัวโดยวิธีนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนโปรตอน นิวตรอนหรืออิเล็กตรอนแต่อย่างใด

การคายรังสีแกมมาอาจเป็นช่วงเดียวหรือหลายช่วงก็ได้ ถ้าเป็นแบบหลายช่วงแสดงว่าจะต้องผ่านสภาวะกระตุ้นอื่น ๆ อีกหลายสภาวะ ถ้าสภาวะกระตุ้นเหล่านี้มีช่วงชีวิตยาวพอที่จะวัดได้การคายรังสีแกมมาระหว่างช่วงย่อยเหล่านี้เรียกว่า ไอโซเมอริก ทรานซิชัน (isomeric transition)

ปกติไอโซโทปรังสีจะสลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงานเฉพาะตัวที่แน่นอน ซึ่งขึ้นกับชนิดของไอโซโทปนั้น ๆ เช่น ^{60}Co มีครึ่งชีวิต 5.3 ปี จะให้พลังงานออกมา 2 ค่าคือ 1.17 และ 1.13 MeV เป็นต้น

1.1.3 อิเล็กตรอนที่ถูกเร่ง อิเล็กตรอนพลังงานสูงจากเครื่องเร่งลำ

อิเล็กตรอน ให้มีพลังงานสูงตั้งแต่ 0.5-10 MeV หรือมากกว่า นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของลำอิเล็กตรอนกับการใช้ประโยชน์

ที่มา : จินดารมย์ ชวเจริญรัตน์, 2535 : 3

เครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนมีหลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้ทางอุตสาหกรรมมีเพียง 2 แบบ คือ แบบกระแสตรง (DC-acclerator) และแบบแนวตรง (linear electron acclerator, LINAC) (ภาคผนวก ก)

1.1.3.1 แบบกระแสตรงให้พลังงานต่ำระหว่าง 0.1 - 0.5 MeV เหมาะสำหรับใช้งานที่ผิววัสดุ เนื่องจากมีอำนาจทะลุทะลวงต่ำมากเพียงไม่เกิน 3 mm. เท่านั้น ตัวอย่างเช่น การอบสารเคลือบผิววัสดุและการพิมพ์ เป็นต้น กรณีที่ให้พลังงานปานกลางระหว่าง 0.5-5 MeV ตัวเครื่องจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เหมาะสำหรับปรับปรุงคุณภาพวัสดุ เช่นการครอสลิงค์ของพลาสติก ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า การวัลคาไนซ์น้ำยาง เป็นต้น

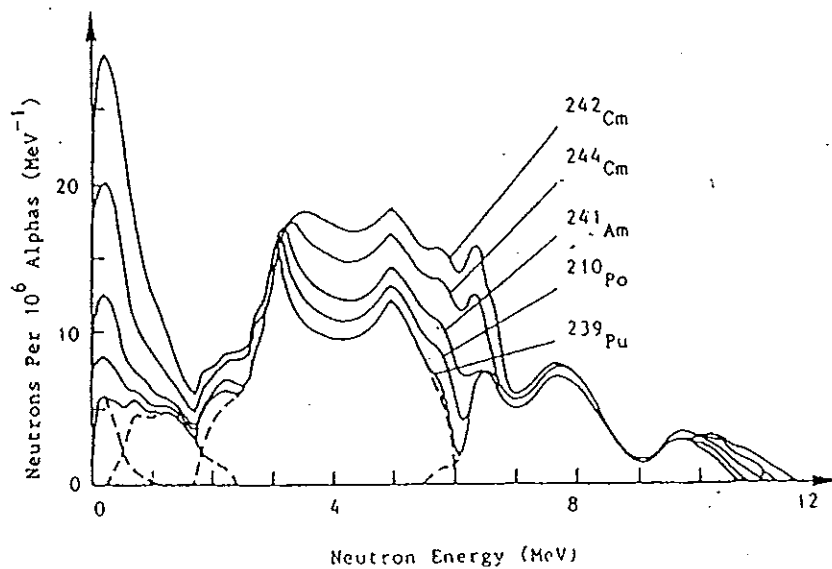
1.1.3.2 แบบแนวตรง ให้อิเล็กตรอนพลังงานสูงในระดับ 5 - 10 MeV สามารถใช้ได้กับงานผลิตเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อที่ต้องใช้อำนาจทะลุทะลวงสูง และงานวิจัยทางนิวเคลียร์ฟิสิกส์ เช่นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของอัญมณี เป็นต้น แต่ไม่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมเพราะค่าใช้จ่ายสูง

1.1.4 นิวตรอน อนุภาคนิวตรอนเป็นส่วนประกอบที่อยู่ในนิวเคลียสของอะตอมของธาตุต่าง ๆ จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่เกิดจากอนุภาคนิวตรอนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น การผลิตไอโซโทปรังสีเพื่อใช้ในโรงพยาบาล หรือโรงงานอุตสาหกรรม ต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1.1.4.1 ไอโซโทปที่มีการแตกตัวของนิวเคลียสตามธรรมชาติพร้อมกับให้นิวตรอนออกมา เช่น ^{252}Cf ให้นิวตรอนออกมาโดยเฉลี่ย 3.76 ตัวต่อการแตกตัวของนิวเคลียส 1 ครั้ง มีอัตราการส่งออกนิวตรอนเป็นจำนวน 2.34×10^{12} นิวตรอน/วินาที/กรัม พลังงานเฉลี่ยของนิวตรอนที่ออกมาเป็น 2.14 MeV

1.1.4.2 ไอโซโทปที่สลายตัวให้รังสีแกมมา มีเพียงชนิดเดียวคือ ^{124}Sb ซึ่งจะสลายตัวให้รังสีแกมมาที่มีพลังงาน 1.691 MeV และ 2.091 MeV รังสีแกมมาดังกล่าวทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ $[\gamma, n]$ กับนิวเคลียสของธาตุเบอริลเลียม (Be) จะให้นิวตรอนออกมาด้วยพลังงาน 24 MeV

1.1.4.3 ไอโซโทปที่สลายตัวให้อนุภาคแอลฟา ให้นิวตรอนออกมาเมื่อทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ $[\alpha, n]$ โดยมากใช้นิวเคลียสของธาตุเบอริลเลียม เป็นเป้าหมาย จากให้ปริมาณนิวตรอนออกมาสูงที่สุดถึง 80 นิวตรอนต่อจำนวนที่วิ่งเข้าไป 1 ล้านตัว ดังแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 สเปกตรัมพลังงานของนิวตรอนจากต้นกำเนิดชนิด Be $[\alpha, n]$

ที่มา : วันชัย ธรรมวานิช, ชาลชัย อัครวินิจกุลชัย และ สมพร จงงค์า.

2535 : 3

1.2 หน่วยทางรังสี

โดส (dose) หมายถึงปริมาณพลังงานที่รังสีคายให้กับสสารใด ๆ หรือคือปริมาณพลังงานที่รังสีให้กับสสาร เนื่องจากรังสีคือพลังงานเมื่อผ่านหรือถูกวัตถุใด ๆ อาจคายหรือฝากพลังงานให้กับวัตถุนั้น

หน่วยของรังสีแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1.2.1 กัมมันตภาพรังสี (radioactivity)

คูรี (Curie, Ci) เป็นหน่วยที่ใช้อธิบายความเข้มของกัมมันตภาพรังสีของสารกัมมันตรังสี โดยที่ 1 คูรี คือปริมาณสารรังสีที่มีการสลายตัว 3×10^{10} ครั้งต่อวินาที (disintegrations per second, dps) ซึ่งเท่ากับอัตราการสลายตัวของธาตุเรเดียม 1 กรัม ปัจจุบันตามหน่วยสากล (SI-unit) มีหน่วยเป็นแบคเคลเรล (Bq) โดยที่ 1 Bq มีค่าเท่ากับ 1 dps

$$\text{ดังนั้น} \quad 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

1.2.2 ปริมาตรรังสีเผยแพร่ (Exposure dose)

เป็นหน่วยที่ใช้กับรังสีเอกซ์เป็นหลัก มีหน่วยเป็นเรนต์เกน (Roentgen, R) โดยที่ 1 R คือ ปริมาณของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ผ่านไปยังอากาศแห้ง 1 cm^3 ที่ STP แตกตัวให้ประจุไฟฟ้ามีค่า 1 esu (1 อิเล็กตรอน ประจุเท่ากับ 4.8×10^{10} esu) หรือ 1 R จะให้ประจุเท่ากับ 2.083×10^9 คู่ไอออน ต่อ cm^3 ดังแสดงในตาราง 1

1.2.3 ปริมาตรรังสีดูดกลืน (absorption dose)

เป็นหน่วยที่แสดงการดูดกลืนพลังงานของรังสี มีหน่วยเป็นแรด (Rad) โดยที่

$$1 \text{ Rad} = 100 \text{ ergs/g}$$

ในหน่วยเอสไอ ใช้หน่วย เกรย์ (Grays, Gy) โดยที่

$$\begin{aligned} 1 \text{ Gy} &= 100 \text{ Rad} \\ &= 1 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

ตาราง 1 พลังงานของการดูดกลืนในสารประกอบชนิดต่าง ๆ สำหรับปริมาณรังสีเพียง 1 R ของรังสีเอ็กซ์ หรือรังสีแกมมาที่มีพลังงานในช่วง 0.2-2.0 MeV

สารประกอบ	การดูดกลืนพลังงาน (erg/g)
อากาศ	98
น้ำ	97
D2O	88
มีเทน, CH ₄	110
อีเทน, C ₂ H ₆	106
เบนซีน, C ₆ H ₆	95
สไตรีน, C ₆ H ₅ CH=CH ₂	95
เมทานอล, CH ₃ OH	98
คาร์บอนเตตระคลอไรด์, CCl ₄	86

ที่มา : Chapiro, A., 1969 : 702

1.2.4 ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent)

ปริมาณรังสีสมมูล เป็นหน่วยของปริมาณรังสีของรังสีใด ๆ ซึ่งให้ผลทางชีวภาพเหมือนกับที่ได้รับจากการดูดกลืนปริมาณรังสีเอ็กซ์ 1 แรด หน่วยของปริมาณรังสีสมมูลคือ เรม (rem)

โดยที่เรมมีความสัมพันธ์กับแรดดังสมการ

$$D(\text{rem}) = D(\text{rad}) \cdot W_R$$

เมื่อ W_R คือ แฟกเตอร์ที่ค่าเฉพาะของชนิดหรือรังสี ดังแสดงในตาราง 2 ในหน่วยเอสไอ ใช้หน่วยซีเวิร์ต (Sievert, Sv) โดยที่

$$\begin{aligned} 1 \text{ Sv} &= 100 \text{ rem} \\ D(\text{Sv}) &= D(\text{Gy}) \cdot W_R \end{aligned}$$

ตาราง 2 ค่าของ W_R

ชนิดของรังสี	W_R
โฟตอนทุกชนิด	1
อิเล็กตรอนและมีวออนทุกพลังงาน	1
นิวตรอนพลังงานต่ำกว่า 10 keV	5
10 keV ถึง 100 keV	10
> 100 keV ถึง 2 MeV	20
> 2 MeV ถึง 20 MeV	10
> 20 MeV	5
โปรตอนพลังงานสูงกว่า 2 MeV	5

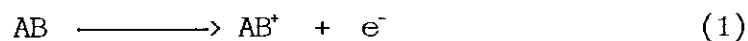
ที่มา : International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1990.)

1.3 อันตรกิริยาของรังสีกับสสาร

เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในสสารจะถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอม หรือโมเลกุลในตัวกลางนั้น และเป็นผลให้อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางดังกล่าวเกิดการแตกตัวเป็นไอออน หรือถูกกระตุ้นใหม่พลังงานสูงขึ้น เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาพดังกล่าวเกิดขึ้นอะตอมหรือโมเลกุลเหล่านั้นอาจรวมตัวกันเอง หรือไปทำปฏิกิริยากับอะตอมหรือโมเลกุลข้างเคียง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ปฏิกิริยาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอาจสรุปได้ดังนี้

1.3.1 การแตกตัวเป็นไอออน

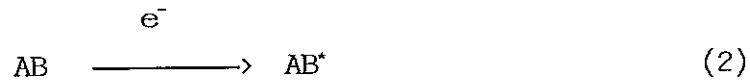
การแตกตัวเป็นไอออนจะเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนหรือรังสีที่มีพลังงานสูงผ่านโมเลกุลและถ่ายเทพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนที่อยู่ในออร์บิทัล ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากออร์บิทัล แล้วเกิดเป็นไอออนดังแสดงในสมการ (1)



1.3.2 การกระตุ้น

การกระตุ้นจะเกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนหรือรังสีที่มีพลังงานสูงไม่พอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนได้ จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในออร์บิทัลรับพลังงานแล้วเคลื่อนตัวจากสภาวะพื้นสู่สภาวะที่มีพลังงานสูงกว่าเกิดเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะ

กระตุ้น ดังแสดงในสมการ (2)



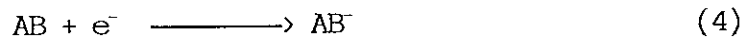
1.3.3 การรวมตัวของไอออนกับอิเล็กตรอน

ไอออนบวกที่เกิดจากสมการ (1) เกิดรวมตัวกับอิเล็กตรอนกลับคืนแล้ว เกิดเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นดังแสดงในสมการ (3)



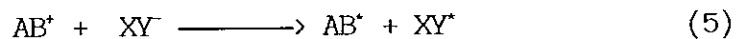
1.3.4 การรวมตัวของโมเลกุลกับอิเล็กตรอน

อิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานอาจรวมตัวกับโมเลกุล แล้วเกิดเป็นไอออนลบดังแสดงในสมการ (4)



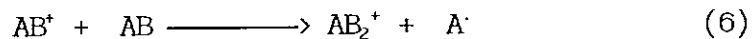
1.3.5 อันตรกิริยาระหว่างไอออนบวกกับไอออนลบ

ไอออนบวกและไอออนลบที่เกิดขึ้น อาจรวมตัวกันเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นหลายชนิด ดังแสดงในสมการ (5)



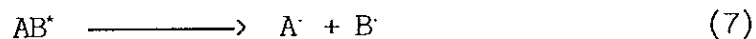
1.3.6 ปฏิกริยาระหว่างไอออนกับโมเลกุล

ไอออนบวกที่เกิดขึ้นอาจเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุล แล้วเกิดไอออนบวกชนิดใหม่และอนุมูลอิสระ (free radical) ดังแสดงในสมการ (6)



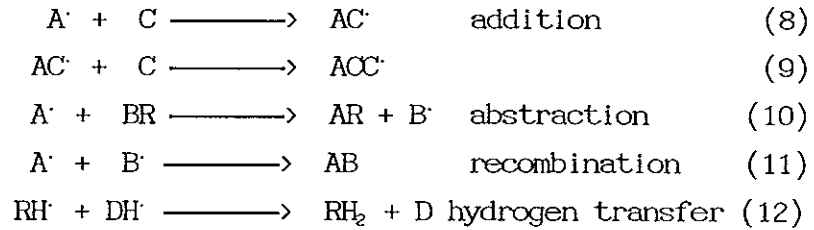
1.3.7 การแตกตัวของโมเลกุล

เมื่อโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นกลับสู่สภาวะพื้น อาจมีการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระได้ดังแสดงในสมการ (7)



1.3.8 ปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจากสมการ (6) และ (7) อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ได้ดังสมการต่อไปนี้คือ

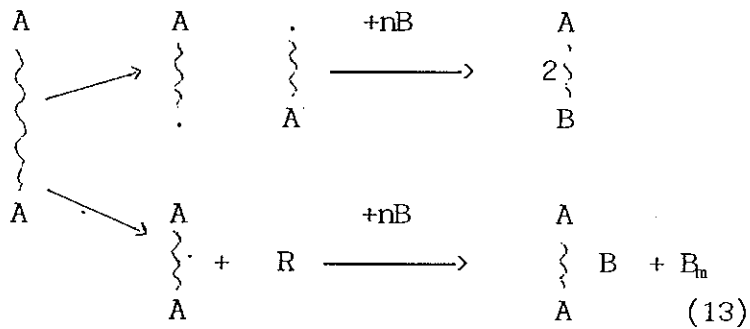


1.4 ผลของรังสีที่มีต่อพอลิเมอร์

1.4.1 กราฟท์ (graft)

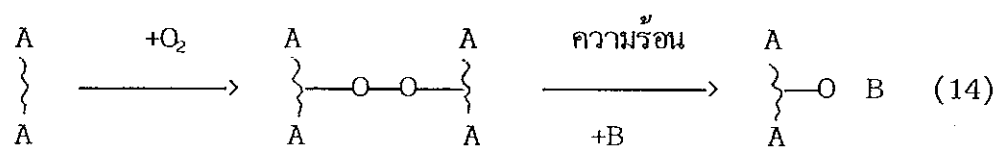
การฉายรังสีไปยังพอลิเมอร์จะเกิดกราฟท์โคพอลิเมอร์เช่นนี้ได้ดังนี้

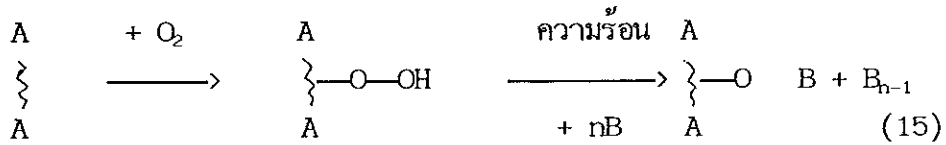
1.4.1.1 โดยทางตรง วิธีนี้มีโอกาสเกิดได้มากที่สุด ถ้าฉายรังสีไปยังพอลิเมอร์ A_n กับโมโนเมอร์ B ในกระบวนการเกิดแบบนี้ พอลิเมอร์ A_n จะแตกตัวเป็นอนุมูล และใช้เป็นตัวเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรซ์กับ B ได้ต่อไปดังสมการ (13)



1.4.1.2 วิธีเพอออกซิเดชัน (peroxidation method) แทนที่จะ

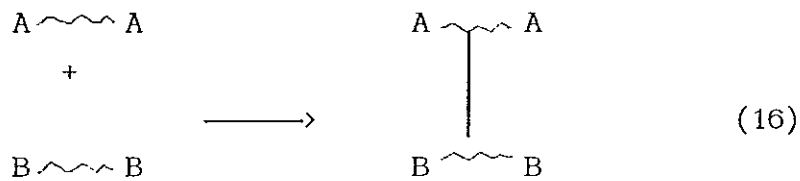
ใช้อนุมูลพอลิเมอร์โดยตรงในการที่ทำให้เกิดลักษณะกราฟท์ ในวิธีนี้จะทำการฉายรังสีภายใต้บรรยากาศที่มีออกซิเจน ผลผลิตอาจเกิดได้ทั้ง ไดเปอร์ออกไซด์ (diperoxides) หรือ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) ตามสมการ (14) และ (15) (Chapiro, A., 1987 : 747)



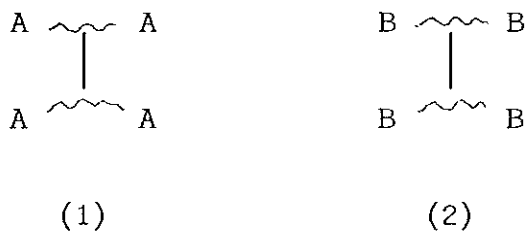


1.4.1.3 โดยการดักจับอนุมูล (trapped radical) เมื่อพอลิเมอร์ที่อยู่ในสถานะผลึกหรือเป็นของแข็งคล้ายแก้วได้รับรังสี จะเกิดเป็นอนุมูลพอลิเมอร์ขึ้น ซึ่งอนุมูลที่เกิดขึ้นจะดักจับอยู่ภายในเนื้อสารได้ และอาจทำให้มีช่วงชีวิตอยู่ได้นานขึ้น การดักจับอนุมูลแบบนี้เมื่อโมโนเมอร์ถูกแพร่กระจายเข้าไปในพอลิเมอร์นั้น การเกิดครีวท์จะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการที่โมโนเมอร์แพร่กระจายเข้าไป ทำให้พอลิเมอร์พองหรือวมตัวขึ้น การพองตัวนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการที่อนุมูลจะเคลื่อนที่เข้าไปรวมตัวกับโมโนเมอร์ การเกิดปฏิกิริยาแบบนี้จะไม่เกิดเป็นไฮโปพอลิเมอร์ นอกจากมีการย้ายโซ่ของโมโนเมอร์เท่านั้น

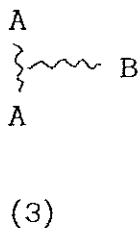
1.4.1.4 การครอสลิงค์ระหว่างพอลิเมอร์ 2 ชนิด การฉายรังสีไปยังพอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ พอลิเมอร์ A_n และ B_n อาจจะทำให้เกิดครีวท์ที่โพลีเมอร์ได้ดังสมการ (16)



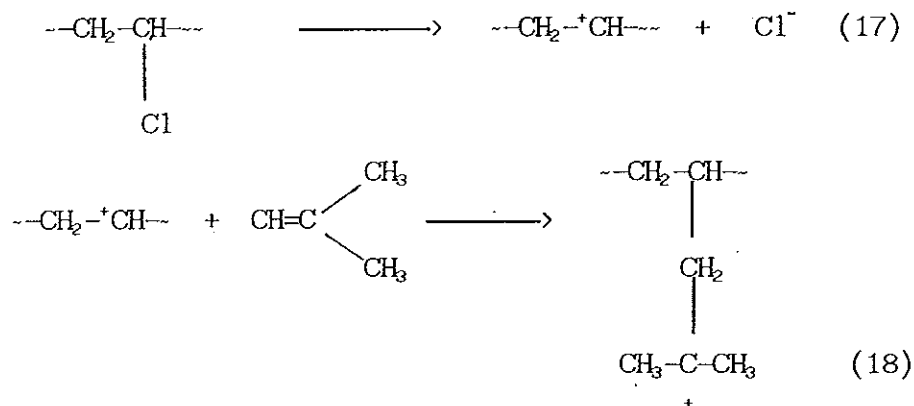
นอกจากนี้พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด อาจเกิดการครอสลิงค์กันเองได้



ถ้าพอลิเมอร์ B_n เป็นชนิดที่แตกหักได้ง่ายลักษณะครีวท์จะเกิดตามโครงสร้าง (3)

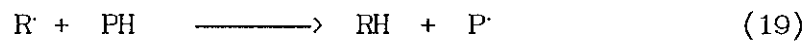


1.4.1.5 ไอออนิกกราฟท์ (ionic grafting) เกิดขึ้นได้เมื่อทำการฉายรังสีไปยัง พอลิเมอร์-โมโนเมอร์ ที่รวมตัวอย่างเหมาะสมแล้วที่อุณหภูมิต่ำ (-78 หรือ -196 °C) ให้ลักษณะเกิดไอออนิกกราฟท์ที่โคพอลิเมอร์ ตามสมการ



1.4.2 การครอสลิงค์

การครอสลิงค์ของพอลิเมอร์จะใช้อนุมูลอิสระเป็นตัวเริ่มต้นมีผลทำให้ไฮโดรเจนหลุดออกไปจากคาร์บอนอะตอมและเกิดโมเลกุลของอนุมูลพอลิเมอร์ขึ้น ดังสมการ (19)

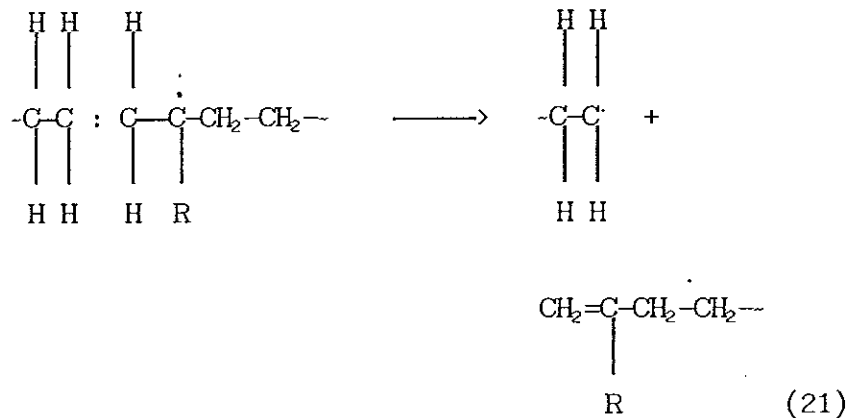


จากอนุมูลของพอลิเมอร์แรดดิคัล 2 โมเลกุล รวมตัวกันเกิดการครอสลิงค์ขึ้น



1.4.3 การแตกหักของสายโซ่

ไฮโดรเจนจะถูกดึงออกที่ตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ในสายโซ่ แต่ตำแหน่งที่เกิดอนุมูลคือตำแหน่งเทอเธียรีคาร์บอน (tertiary carbon) เป็นผลทำให้เกิดการแตกหักของสายโซ่ ดังสมการ (21)



อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์ที่เป็นลักษณะเส้นตรงจะเกิดการครอสลิงค์ หรือเกิดการแตกหักของสายโซ่ได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติทางเคมีของพอลิเมอร์เองและสถานะของการฉายรังสี ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงผลผลิตจากการครอสลิงค์ (c1) และการแตกหักของสายโซ่ (cs) ของพอลิเมอร์บางชนิด

พอลิเมอร์	G (c1) ที่ 20 °C	G (cs)
พอลิโพรพิลีน, PE	0.6	0.8-1.0
พอลิสไตรีน, PS	0.04-0.06	0-0.2
ยางธรรมชาติ, NR	1.3	0.14
พอลิบิวทาไดอีน, PB	2.0	
พอลิอะคริโลไนไตรล์,	1.4	
พอลิเมทิลอะครีเลต, PMC	0.5-1.1	0.17
พอลิไวนิลคลอไรด์, PVC	0.2-0.5	
พอลิไวนิลอะซีเตต, PVA	0.28	0.1
พอลิเอมีน, PA	0.3	

ที่มา : Chapiro, A., 1969 : 737

ค่า G หมายถึง จำนวนผลผลิตใด ๆ ที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนพลังงานรังสีขนาด

G (crosslinked) หรือ G(cl) หมายถึงปริมาณการครอสลิงค์ต่อ 100 eV

G (chain scission) หรือ G(cs) หมายถึงปริมาณการแตกหักของสายโซ่ต่อ 100 eV

G (C=C) หรือ G(db) หมายถึงจำนวนพันธะคู่ C=C ต่อ 100 eV

ค่า G สัมพันธ์กับค่าผลได้อิออนิก โดยสมการ

$$G = \frac{M}{N} \times \frac{100}{W} \quad (22)$$

เมื่อ M หมายถึง การเปลี่ยนแปลงจำนวนโมเลกุล

N หมายถึง จำนวนไอออนที่เกิดขึ้น

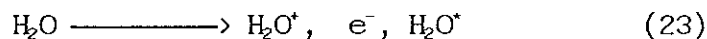
W หมายถึง พลังงานเฉลี่ยในการเกิดไอออน มีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลต์

(eV)

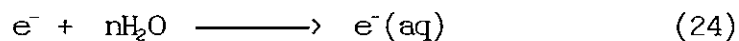
โดยที่ 1 eV คือหน่วยของพลังงานที่อิเล็กตรอนได้รับเมื่อวิ่งผ่านความต่างศักย์ไฟฟ้า 1 โวลต์

1.5 ผลของรังสีที่มีต่อน้ำ

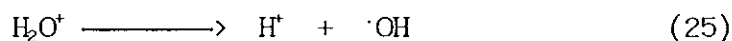
เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในน้ำจะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการแตกตัวเป็นไอออน หรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น ซึ่งจะเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาประมาณ 10^{-16} ถึง 10^{-13} วินาที ภายหลังจากที่รังสีผ่าน สามารถเขียนในรูปสมการดังนี้



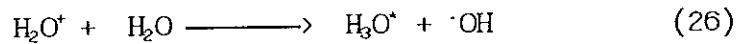
อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะสูญเสียพลังงานโดยการชนกับอะตอม หรือโมเลกุลรอบ ๆ จนกระทั่งพลังงานถึงระดับที่เรียกว่า พลังงานความร้อน (thermal energy) ให้พลังงานมีค่า 0.025 eV อิเล็กตรอนนั้นจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ ใช้สัญลักษณ์ว่า $\text{e}^-(\text{aq})$ ปฏิกิริยาการเกิดขึ้นประมาณ 10^{-11} วินาที หลังจากที่รังสีผ่านอาจเขียนในรูปสมการได้ดังนี้



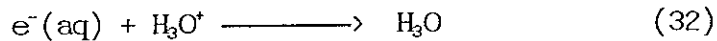
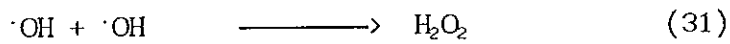
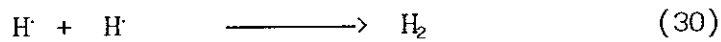
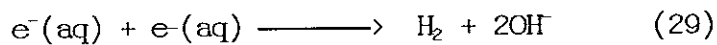
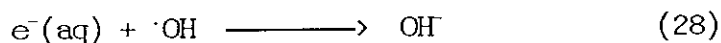
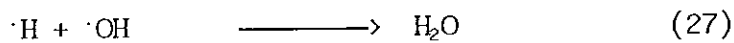
ไอออนบวก (H_2O^+) ที่เกิดขึ้นจะไม่อยู่ตัว จะสลายตัวกลายเป็น H^+ และ $\cdot\text{OH}$ ภายในเวลา 10^{-13} วินาที หลังจากรังสีผ่าน ซึ่งอาจเขียนในรูปสมการได้ดังนี้



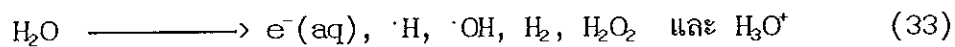
หรือ



H_3O^+ เป็นโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น
ถ้าพิจารณาถึง $e^-(\text{aq})$, $\cdot\text{H}$, $\cdot\text{OH}$ และ H_3O^+ จะเกิดขึ้น ณ บริเวณที่รังสี
ผ่าน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่สามารถจะทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันได้มาก และสามารถเขียนปฏิกิริยา
ที่เกิดขึ้นได้ดังนี้



ปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นประมาณ 10^{-8} วินาที หลังจากที่รังสีผ่านเข้าไปในน้ำ
หลังจาก 10^{-8} วินาที จะเกิดผลิตภัณฑ์หลายชนิด ซึ่งอาจกล่าวโดยสรุปได้ดังต่อไปนี้

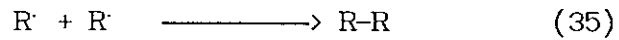


2. การวิจัยเกี่ยวกับการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี

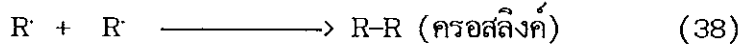
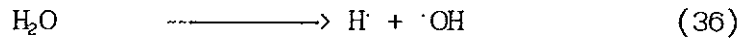
ยางพารา เป็นพืชให้น้ำยาง มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว อยู่ในสภาพคอลลอยด์
(colloid) มีรูปร่างยาวเป็นแท่งและกลมรีเหมือนลูกแพร์ ขนาดกว้าง $0.5-3 \mu\text{m}$ ยาว
 $4-6 \mu\text{m}$ อนุภาคยางประกอบด้วย 3 ส่วน ส่วนในสุดเป็นเนื้ออย่างล้วน เรียกว่ารับเบอร์
ไฮโดรคาร์บอน (rubber hydrocarbon) มีประมาณร้อยละ 86 ของอนุภาคทั้งหมด
เชื่อมต่อกันด้วยหน่วยไอโซพรีน 2,000-5,000 หน่วย น้ำหนักโมเลกุลประมาณ
200,000-3,000,000 ชั้นถัดออกมาเป็นชั้นลิพิด (lipid) ส่วนชั้นนอกสุดเป็นชั้นของ
โปรตีน น้ำยางเป็นคอลลอยด์ชนิดไฮโดรโซล (hydrosol) ที่มีความพิเศษกว่าไฮโดรโซล
ทั่ว ๆ ไป คือมีสมบัตীগាក់ระหว่างไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) จึงเกิดเป็นสารละลายได้
ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย แต่ลักษณะไฮโดรโฟบิกจะเด่นชัดกว่า (วารสาร : ขจรไชยกูล,
1982 : 1)

การศึกษากการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีแกมมา จาก Co-60 เริ่มตั้ง
แต่ปี ค.ศ. 1960 โดยพบว่าปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติมากกว่า 300
kGy ซึ่งถือว่าสูงเกินไปในระดับอุตสาหกรรม และได้เสนอกลไกปฏิกิริยาดังนี้

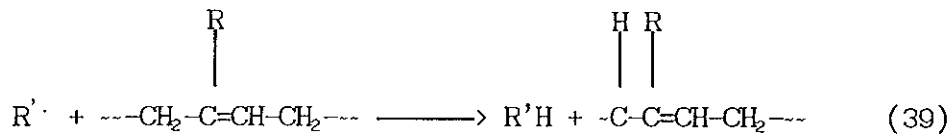
ผลทางตรง



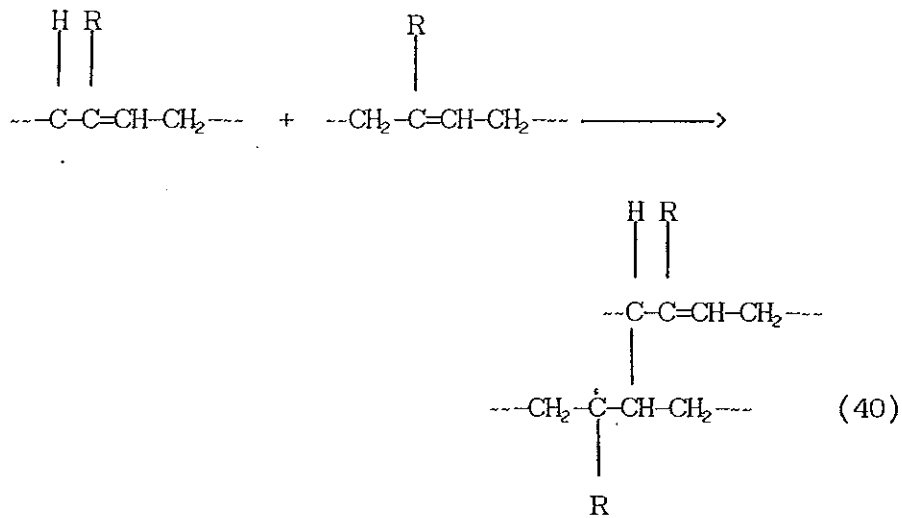
ผลทางอ้อม



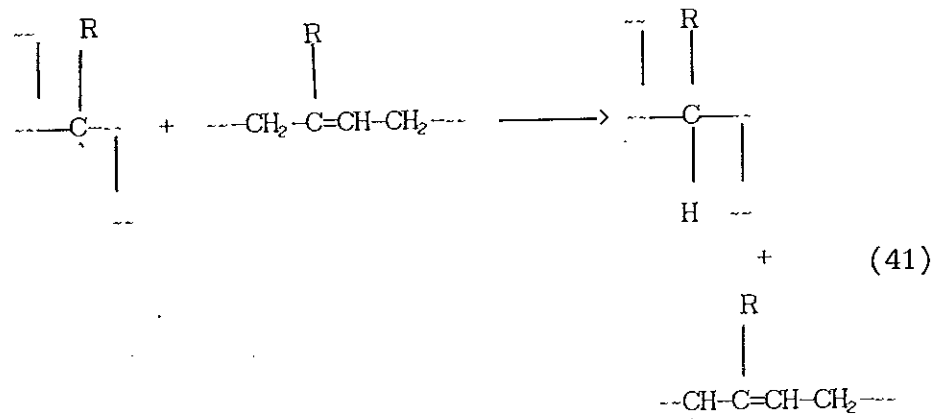
กรณีผลทางตรงอธิบายได้ว่า อนุมูลตัวแรกจะดึงไฮโดรเจนที่ตำแหน่งแอลฟา



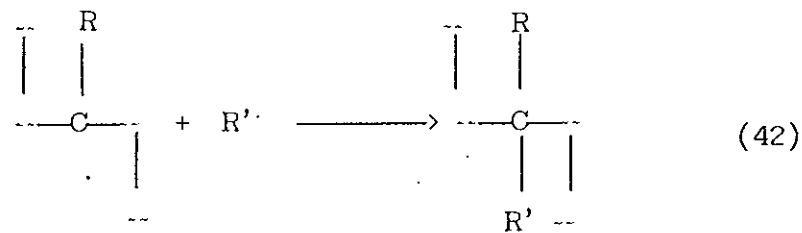
จากนั้นอนุมูลพอลิเมอร์จะเข้าตรงตำแหน่งพันธะคู่ในสายโซ่พอลิเมอร์ตัวที่สองจะทำให้เกิดการครอสลิงค์ และได้อนุมูลพอลิเมอร์ตัวใหม่เกิดขึ้นตามสมการ (40)



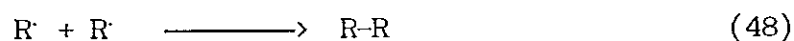
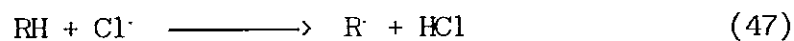
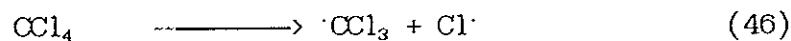
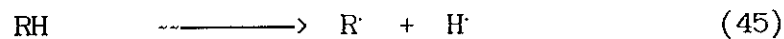
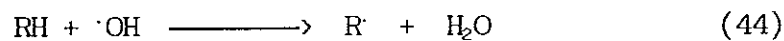
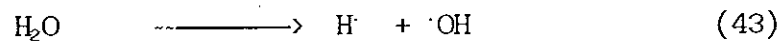
การครอสลิงค์จะดำเนินต่อไปซ้ำ ๆ กันในกระบวนการขั้นการแผ่ (propagation) และอาจเกิดการย้ายโซ่ (chain tranfer) ผลการย้ายของอนุมูลอิสระไปยังอีกโมเลกุลหนึ่ง อาจทำให้เกิดโมเลกุลที่เป็นเส้นตรง ดังสมการ (41)



อาจเนื่องมาจากในระบบที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงเชื่อว่าในขั้นสุดท้าย (termination) เกิดขึ้นจากอนุมูลพอลิเมอร์ทำปฏิกิริยากับอนุมูลเริ่มต้น



อย่างไรก็ตามการวัดคาบในสภาวะบางอย่างจะใช้ปริมาณรังสีต่ำลงได้โดยเฉพาะถ้าเติมเซนซิไทเซอร์ที่เหมาะสมลงไป เช่น เมื่อเติม CCl_4 4 phr จะใช้ปริมาณรังสีต่ำกว่า 50 kGy (Minoura and Asao, 1961: 401; Laizier et al, 1969; Sumarno and Sundardi, 1977: 24) และเสนอกลไกปฏิกิริยาต่อไปนี้

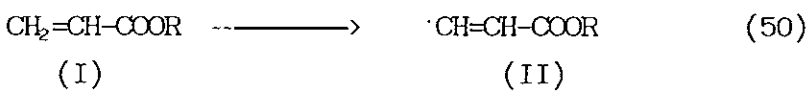


ต่อมา มาคูกิ และ ฮากิวาระ (Makuuchi and Hagiwara, 1984: 203) ได้ใช้อะคริลิกโมโนเมอร์ (acrylic monomer) แทน CCl_4 โดยใช้เซนซิไทเซอร์ที่เป็นพอลิฟังก์ชันัลโมโนเมอร์ (polyfunctional monomer) เป็นตัวช่วยให้เกิดการครอสลิงค์

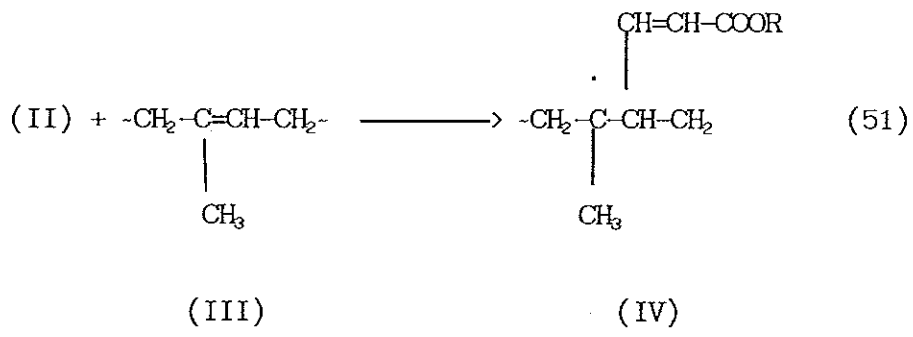
โมเลกุลของพอลิเมอร์ได้เร็วขึ้น แต่เนื่องจากมีตำแหน่งที่แตกตัวแล้วให้อนุมลได้หลายตำแหน่ง โดยปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์น้อยกว่า 10 kGy อย่างไรก็ตามพอลิฟังก์ชันัลโมโนเมอร์ที่ไซทำให้บ้างเกิดการตกตะกอนหลังจากที่วางในหลอดหมุมห้อง ทั้งนี้เพราะการกระจายของไดอะไครเลต (diacrylate) ไปบนพื้นผิวของอนุภาคยางมีเสถียรภาพต่ำ เนื่องจากตัวมันมีความสามารถในการละลายกับยางธรรมชาติได้น้อยมาก และการกำจัดพอลิฟังก์ชันัลโมโนเมอร์ออกจากผลิตภัณฑ์ทำได้ยากเพราะความดันไอต่ำมาก เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลสูง

ต่อมา มากชิ และ เดเวนดรา (Makuuchi and Devendra, 1986) ใช้ อะไครลิกโมโนเมอร์ที่เป็นโมโนฟังก์ชันัล (monofunctional) โดยพบว่า การใช้โมโนฟังก์ชันัลโมโนเมอร์เป็นเซนซิไทเซอร์มีข้อดีกว่าพอลิฟังก์ชันัลที่ราคาถูกลงกว่า และมีความดันไอสูงพอที่สามารถกำจัดออกได้โดยการให้ความร้อน จากการใช้ 2-เอทิลเฮกซิลอะไครเลต (2-ethylhexyl acrylate, 2-EHA) เป็นเซนซิไทเซอร์นั้นสามารถลดปริมาณรังสีลงเหลือ 30 kGy และเมื่อใช้ 2-EHA ร่วมกับ CCl₄ ปริมาณรังสีที่ใช้เท่ากับ 15 kGy อย่างไรก็ตามแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากการใช้ 2-EHA มีกลิ่นเหม็น เนื่องจากมีสารตกค้างของ 2-EHA

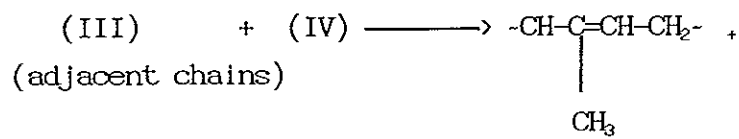
ชยากริต และคณะ (Chayagrit, et al. 1990:336) ได้ศึกษากลไกปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ด้วยรังสี โดยมี 2-EHA เป็นเซนซิไทเซอร์ด้วยเทคนิค ¹³C-NMR และ FT-IR ได้ดังนี้



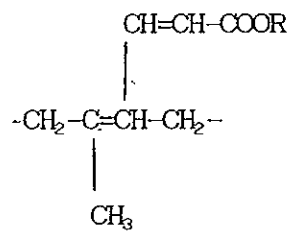
อนุมูลอะไครเลตที่เกิดขึ้น จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลยางจึงไปจับกับพันธะคู่ที่ไกลที่สุด



อนุมูลอิสระ (IV) ที่เกิดขึ้นจะไม่ดึงไฮโดรเจนอะตอมของกลุ่มเมทิลลิ้นในสายโซ่พอลิเมอร์ที่อยู่ไกลที่สุดกลายเป็นอนุมูลอิสระอย่างใหม่ (V)



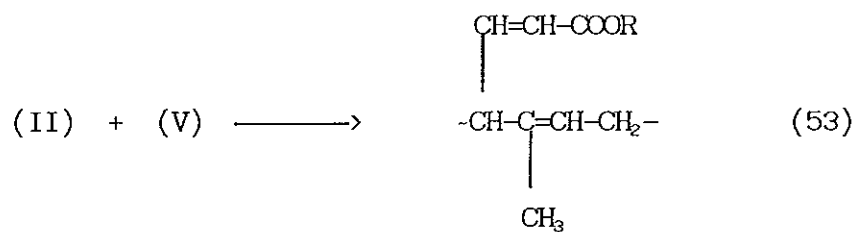
(V)



(VI)

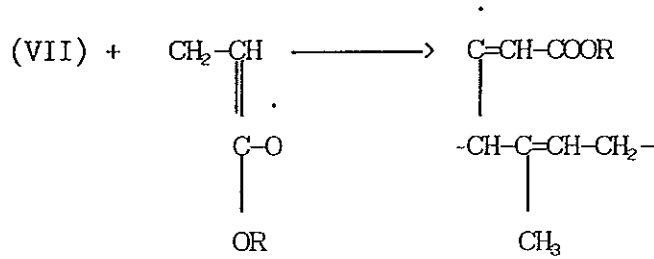
(52)

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นอาจจะรวมตัวกันเองได้ผลผลิตที่เป็นสารมัธยันต์
(intermediate)

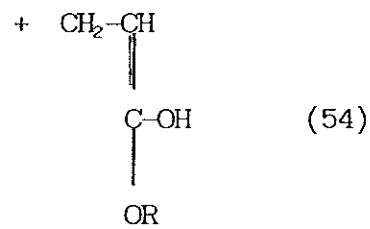


(VII)

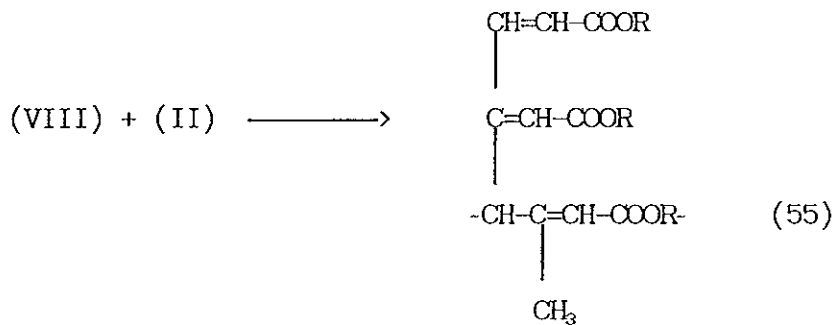
2-EHA อาจจับกับสารมัธยันต์ข้างบน



(VIII)



หรือ



การวิจัยอะคริลิกโพลิเมอร์ตัวใหม่คือ นอร์มอลบิวทิล อะคริเลต (*n*-butyl acrylate, *n*-BA) ร่วมกับ CCl_4 ในสัดส่วน 1:1 phr เป็นเซนซิไทเซอร์ พบว่า ปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ระดับ 20 kGy ให้ค่าความทนแรงดึง 20 MPa (Sabarinah, et al.1990: 815-818) ทั้งนี้ไม่อาจหลีกเลี่ยงการใช้ CCl_4 ที่เติมลงไปได้ การวิจัยถึงผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) ในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีโดยใช้ CCl_4 และ *n*-BA ในสัดส่วน 1:1 phr เช่นเดียวกันเป็นเซนซิไทเซอร์ที่ช่วยลดปริมาณรังสีให้ต่ำลง พบว่าการเติม H_2O_2 30% ในปริมาณ 2.5 phr ปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์เท่ากับ 14 kGy ที่ให้ความทนแรงดึงสูงสุด 18 MPa (Sabarinah and Sundari, 1990:815)

กรณีที่ใช้ *n*-BA จะต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) 0.2 phr เพิ่มความคงตัวของน้ำยาง และเมื่อใช้ *n*-BA 5 phr พบว่า ปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์อยู่ที่ระดับ 15 kGy ให้ค่าความทนแรงดึง 30 MPa ความ

ยวียัดเมื่อขาด 980% ซึ่งถือว่ามีความเกินกำหนดมาตรฐานลงมืออย่างทางการแพทย์ (ASTM D3578) และน้ำยางที่ได้จากการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีสามารถเก็บไว้ได้มากกว่า 90 วัน (Zhonghai and Makuuchi, 1990 : 326)

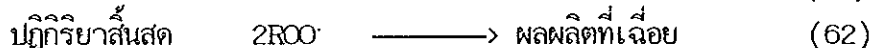
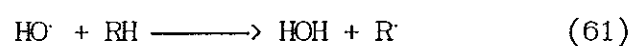
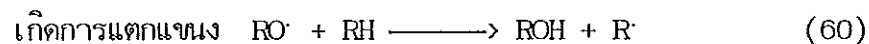
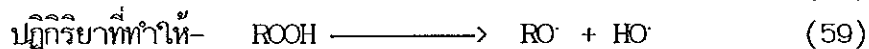
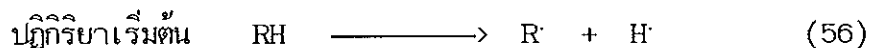
จากการวิจัยพบว่า n-BA เข้มข้น 5 phr ร่วมกับ เทอริวีร์ บิวทิว ไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ (*t*-butyl hydroperoxide, HPO) 0.1 phr เป็นเซนซิไทเซอร์ โดยมี KOH เป็นสารเพิ่มความคงตัวของน้ำยางธรรมชาติ และพบว่าการเติมไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์ก่อนที่จะเติม n-BA นั้นทำให้น้ำยางมีเสถียรภาพมากกว่าการใช้ n-BA เพียงอย่างเดียว ปริมาณรังสีที่ใช้ประมาณ 8 kGy โดยที่แผ่นฟิล์มยางมีค่าความทนแรงดึงประมาณ 29 MPa (Parinya and Makuuchi, 1990 : 305)

3. สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant)

ยางธรรมชาติหรือสารสังเคราะห์พอลิเมอร์ เป็นสารที่เสื่อมสลายได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ขณะ ที่ใช้งาน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากสภาวะแวดล้อม เช่น ออกซิเจน โอโซน ความร้อน แสง และสารเคมี การเสื่อมสลายทำให้โมเลกุลยางเกิดการแตกหักของสายโซ่การครอสลิงค์ และการดูดซับออกซิเจน ผลเหล่านี้กระทบถึงน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ปริมาณเจล สี และความหนืด เป็นต้น (Jame, 1972 : 1)

3.1 ปฏิริยาการเกิดสารป้องกันออกซิเดชันในยาง

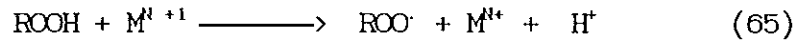
เป็นปฏิริยาแบบออโตออกซิเดชัน (autoxidation) นั่นคือผลผลิตจาก สารป้องกันออกซิเดชันเอง จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิริยาออกซิเดชันได้เร็วขึ้นด้วย กลไก ปฏิริยาออกซิเดชันของพอลิเมอร์เป็นดังนี้ (Bolland, 1947; Frank, 1950 and Bateman, 1954)



จากปฏิริยาดังกล่าว แสง (โดยเฉพาะช่วงคลื่นอุตราไวโอเลต และความร้อน) จะเป็นตัวเร่งให้ปฏิริยาเริ่มต้นเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น ส่วนเกลือของโลหะจะเป็นตัวเร่ง ปฏิริยาการสลายตัวของ HPO ให้เกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะเกิดปฏิริยาต่อไปได้อีก

ปฏิริยาการสลายตัวของ HPO ด้วยเกลือโลหะเข้าใจว่าเป็นปฏิริยาแบบรีดอกซ์

คังน



โลหะหนักดังกล่าวได้แก่ มังกานีส เหล็ก ทองแดง และโคบอลต์ เป็นต้น โดยทั่วไปเรามักต้องการลดการออกซิเดชันของยางให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งการกระทำเช่นนี้มี 2 วิธีการคือ

(1) ทำลายไม่ให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ สารเคมีที่ใช้เรียก สารป้องกันออกซิเดชัน โดยการทำให้สายโซ่แตกหัก (chain-breaking antioxidant)

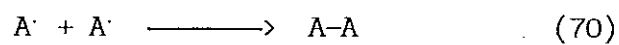
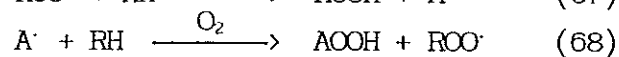
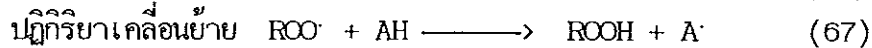
(2) ป้องกันไม่ให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นในระยะเริ่มต้น สารเคมีที่ใช้เรียกว่า สารป้องกันออกซิเดชันชนิดปกป้อง (preventive antioxidant)

สารประเภทนี้มีหลายตัวเช่น สารสลายตัว HPO สารจับอนุมูลอิสระ (chelating agent) สารกันแสงอุตราไวโอเลต เป็นต้น

ถ้าสารป้องกันออกซิเดชัน มีสูตรย่อเป็น AH

และ ยางมีสูตรย่อเป็น RH

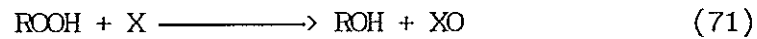
ปฏิกิริยาที่สารป้องกันออกซิเดชันทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ในการออกซิเดชันของยางยุติลงได้ดังนี้



ปฏิกิริยาที่ (66) แสดงถึงปฏิกิริยาที่ AH เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการออกซิเดชันได้ ส่วนปฏิกิริยาที่ (67) แสดงถึงปฏิกิริยาที่ AH ทำปฏิกิริยากับ ROO^\cdot เร็วกว่าปฏิกิริยาที่ (58) และถ้าปฏิกิริยาที่ (68) ดำเนินไปอย่างช้า ๆ แล้วตัว AH เองจะเป็นตัวต้านการออกซิเดชันได้ ส่วนปฏิกิริยาที่ (69) และ (70) แสดงถึงปฏิกิริยาที่ทำให้อนุมูลอิสระหมดไป นั่นคือปฏิกิริยาลูกโซ่ในการออกซิเดชันยุติไปด้วย สารป้องกันออกซิเดชันนั้นอาจจะไปทำปฏิกิริยาแบบใดแบบหนึ่ง หรือทุกแบบที่ทำให้การออกซิเดชันของยางช้าลงได้

สารป้องกันออกซิเดชันที่เป็นปกป้องไม่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระนั้น มักเป็นสารที่สลาย สารเปอร์ออกไซด์ สารพวกนี้ได้แก่ ไดลอริล เบตา ไทโอไดโอฟีโคโนเต (dilauryl-

s-thiodipropionate, DLTP) และ ไตรโนนิล เชนิลฟอสไฟต์ (trinonyl phenyl-phosphite, TNPP) เป็นต้น (Brydson, 1978:263) กลไกปฏิกิริยาของสารเหล่านี้ คาดว่าเป็นดังนี้



โดยที่ X แทนสารป้องกันออกซิเดชันที่สลายสาร HPO

วัตถุประสงค์

1. หาชนิดและอัตราส่วนของสารป้องกันออกซิเดชันที่เหมาะสม เติมลงในน้ำยางธรรมชาติ ที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมา
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติหลังบ่ม เร่งของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีก่อนและ หลังเติมสารป้องกันออกซิเดชัน
3. เพื่อศึกษาการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แบบจุ่มระดับห้องปฏิบัติการ จากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันในระดับความเข้มข้นเหมาะสม

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

วัสดุ

1. น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง จากแหล่งต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาคือ

บริษัทจะนะน้ำยางข้น จำกัด

บริษัทพาราเท็กซ์ จำกัด

บริษัทเสริมพันธ์ จำกัด

2. สารป้องกันออกซิเดชัน

แอนต้ออกซิแดนท์ 2246 (Antioxidant 2246) บริษัท Anchor

วิงสเต แอล (Wingstay L) บริษัท Goodyear

วัลคาน็อก เคบี (Vulcanox KB) บริษัท Bayer

เพอร์มาแน็กซ์ ดับบลิวเอสพี (Permanax WSP) บริษัท Vulnax

นอนน็อก ดับบลิวเอสแอล (Nonox WSL) บริษัท ICI

วัลคาน็อก เอ็มบีสองทีเอ็มจี (Vulcanox MB₂/Mg) บริษัท Bayer

นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี (Nonflex TNP) บริษัท Seiko

สมบัติและสูตรของสารป้องกันออกซิเดชันแต่ละชนิด จะแสดงไว้ในภาคผนวก ข

3. เซนซิไทเซอร์

นอร์มอล บิวทิล อะคริเลต (*n*-butyl acrylate, *n*-BA) Technical Grade บริษัท

Formosa Plastic ใต้หวัน

เทอริวรี บิวทิล ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (*tert.*-butyl hydroperoxide, HPO)

A.R Grade บริษัท Nihon Yoshi ญี่ปุ่น

4. สารเคมีอื่น ๆ

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) A.R Grade บริษัท Merck เยอรมัน

แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (NH₄OH) A.R Grade บริษัท Merck เยอรมัน

เบนซีน (C₆H₆) A.R Grade บริษัท Merck เยอรมัน

คาซีน (casein) A.R Grade บริษัท Fluka สวิสเซอร์แลนด์

กรดโพลีอิก (CH₃(CH₂)₇CH=CH(CH₂)₇COOH) A.R Grade บริษัท Bayer อังกฤษ

เบนโทไนต์ (bentonite) Technical Grade ประเทศจีน

วัลคาสแตป แอลอาร์ (Vulcastab LR) Technical Grade บริษัท Vulnax

อุปกรณ์

1. เครื่องฉายรังสี Carrier Type JS-8900 บริษัท Nordian In.t. ความแรงรังสี 395 kCi (1990) อัตราการให้รังสี 0.89 kGy/hr ที่ระยะ 40 cm จากแผ่นโลหะของแหล่งกำเนิด (source plaque) (ภาพประกอบ 15)
2. เครื่องฉายรังสี Gamma Beam-650 บริษัท AECL ความแรงรังสี 10.06 kCi (1992) อัตราการให้รังสี 3.5 kGy/hr ที่ระยะ 32 cm จากแผ่นโลหะของแหล่งกำเนิด (ภาพประกอบ 16)
3. เครื่องทดสอบความทนแรงดึง ยี่ห้อ Lloyd รุ่น 1000 S ประเทศ อังกฤษ (ภาพประกอบ 17)
4. nylon thin film FWT-60-00 บริษัท ฟาร์เวสต์ เทคโนโลยี ประเทศสหรัฐอเมริกา
5. ถังเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาด 10 ลิตร พร้อมอุปกรณ์การกวนสำหรับบรรจุน้ำยางเพื่อฉายรังสี
6. เครื่องตัดแผ่นฟิล์มยาง (ภาพประกอบ 18)
7. เครื่องกวนน้ำยางที่ปรับความเร็วรอบได้
8. ต้อบไฟฟ้า 300 °C Tabai Espac corp.
9. ต้อบไฟฟ้าชนิด Geer oven (ภาพประกอบ 19)
10. แบนพิมพ์มือสำหรับจุ่มขึ้นรูปเป็นถุงมือใช้ทางการแพทย์ (ภาพประกอบ 20)
11. เครื่องวัดความหนืด (Viscometer) รุ่น DV-II บริษัท Brookfield (ภาพประกอบ 21)
12. เครื่องวัดความเสถียรของน้ำยางที่ความเร็วรอบ 14,000 รอบ/นาที บริษัท Klaxon (ภาพประกอบ 22)
13. เครื่องวัดการคงตัวของยางหลังจากถูกยืด (ภาพประกอบ 23)

วิธีดำเนินการ

1. ทดสอบสมบัติน้ำยางขึ้นตามมาตรฐาน ISO-1979 (E) ก่อนและหลังการฉายรังสี ตามหลักการทดสอบดังนี้
 - ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content, TSC)
 - ปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC)
 - แอมโมเนีย (ammonia, NH₃)
 - เวลาเสถียรภาพเชิงกล (mechanical stability time, MST)
 - ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
 - กรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid, VFA)

ความหนืด (viscosity)

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)

2. การเตรียมน้ำยางเข้าฉายรังสี

เตรียมน้ำยาง 2 ชุด ชุดแรกใช้ *m*-BA เป็นเซนซิไทเซอร์เพียงอย่างเดียว ชุดที่สองใช้ *m*-BA ร่วมกับ HPO ดังนี้

ชุดที่ 1

น้ำหนักแห้ง

60%	น้ำยางข้น	100
10%	KOH	0.2
	<i>m</i> -BA	5

ชุดที่ 2

น้ำหนักแห้ง

60%	น้ำยางข้น	100
10%	KOH	0.2
	HPO	0.1
	<i>m</i> -BA	5

ทำการเจือจางส่วนผสมทั้งหมดให้ได้น้ำยางข้น 50% ด้วยสารละลาย 1% NH_3 เติมน้ำยางตามสูตรประมาณ 5 เท่า ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร โดยการเจือจางน้ำยางด้วย NH_3 ก่อน เติม KOH และ HPO ทำการกวนด้วยเครื่องกวนน้ำยางเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ค้างคืนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 ชั่วโมง สำหรับชุดที่ 2 ในขั้นตอนการเติม *m*-BA ให้หยดอย่างช้า ๆ ทีละหยด เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเหนียว ในกรณีที่เติม HPO ก่อน *m*-BA จะทำให้น้ำยางมีเสถียรภาพต่ำ (Parinya, A., 1990: 307) จากนั้นนำไปฉายรังสีแกมมาให้ได้ปริมาณรังสี 0, 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 kGy ตามลำดับโดยมีอัตราการรับรังสีประมาณ 3.5 kGy/hr น้ำยางฉายรังสีที่ได้ นำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มยางโดยเทลงบนกระดาษขนาด 6 x 6 นิ้ว ที่มีขอบสูง 2 mm ใช้น้ำยางประมาณ 20 g ทิ้งไว้ให้แห้งจนสีที่อุณหภูมิห้อง ลอกแผ่นฟิล์มยางออก แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น ทิ้งไว้ค้างคืน จากนั้นนำน้ำกลั่นออกครึ่งก่อนนำไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง และอบที่ 70 °C เป็น

เวลา 1 ชั่วโมง

3. นำแผ่นฟิล์มยางที่ได้รับปริมาณรังสีต่าง ๆ มาทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่ใช้เป็นหลักในการพิจารณา คือ โมดูลัส ความทนแรงดึง ความยาวยืดเมื่อขาด การคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด (permanent tension set) และ ความหนาแน่นครอสลิงค์ (crosslink density)

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยาง ทำได้โดยตัดแผ่นยางเป็นรูปดัมเบลตามขนาดมาตรฐานของ ISO 37-1799 (E) หรือ ASTM D412-80

3.1 โมดูลัส หาได้จากแรงจุดหนึ่งหรือมากกว่าจุดหนึ่งที่ยืดยางออกไปจนถึงจุดนิยามหาจากการบันทึกค่ากราฟ แรงเค้น-แรงเครียด (stress-strain) ซึ่งมักใช้ความยาว 300% หรือ 600% ในการพิจารณา

$$\text{โมดูลัส} = \frac{F_m}{A} \quad (72)$$

F_m คือ แรงดึงเมื่อยางยืดได้ความยาวตามต้องการ หน่วยเป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มแรก หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร

3.2 ความทนแรงดึง คำนวณจากการแบ่งแรงที่ได้ ณ จุดที่ยางขาดด้วยพื้นที่หน้าตัดของยางเริ่มแรก

$$\text{ความทนแรงดึง} = \frac{F}{A} \quad (73)$$

F คือ แรงดึงสูงสุด ณ จุดที่ยางขาด หน่วยเป็นนิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มแรก (ในส่วนที่แคบ) หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร

ในหน่วย SI มักใช้ความทนแรงดึงในหน่วย เมกะพาสคัล (MPa)

โดยที่ $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/mm}^2$

3.3 ความยาวยืดเมื่อขาด คือเปอร์เซ็นต์ของความยาวที่ยืดออกจนยางขาดเมื่อเทียบกับความยาวเดิม

$$\text{ความยาวยืดเมื่อขาด} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (74)$$

L คือ ความยาวระหว่างพิคค ณ จุดที่ยางขาด

L_0 คือ ความยาวเริ่มแรกของพิคค

3.4 การคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด ใช้วิธีตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยตัดชิ้นยางทดสอบแล้วทำเครื่องหมายให้ระยะห่างกัน 2.5 cm แล้วนำไปดึงให้ยางยืดออกด้วยความเร็วที่คงที่ จะทำให้ยางยืดได้ถึงระยะกำหนดภายใน 15 วินาที ปล่อยให้ยางยืดระดับนั้นเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ให้วัดระยะห่างระหว่างพิกัด

$$\text{การคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (75)$$

L คือ ความยาวระหว่างพิกัดที่ถักยืด

L_0 คือ ความยาวเริ่มแรกของพิกัด

3.5 ความหนาแน่นครอสลิงค์ คำนวณได้จากอัตราส่วนการบวมโดยปริมาตร (volume swelling ratio, Q) โดยตัดชิ้นยางเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 cm ซึ่งนำพนักชิ้นยางแล้วนำไปแช่ในเบนซีนนาน 3 วัน นำชิ้นยางวางขึ้นลงบนกระดาษกรองจนแห้ง นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

$$Q = V_2/V_1 = 1 + (d_r/d_s)(W_2/W_1) - d_r/d_s \quad (76)$$

V_1 คือ ปริมาตรของชิ้นยางก่อนแช่ในเบนซีน

V_2 คือ ปริมาตรของชิ้นยางหลังแช่ในเบนซีน

W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นยางก่อนแช่ในเบนซีน

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นยางหลังแช่ในเบนซีน

d_r คือ ความหนาแน่นของชิ้นยางมีค่า 0.93 g/cm^3

d_s คือ ความหนาแน่นของเบนซีนมีค่า 0.8787 g/cm^3

นำผลของค่า Q มาแทนลงในสูตร (77)

$$\text{ความหนาแน่นครอสลิงค์} (\nu_0) = K \times Q^{5/3} \quad (77)$$

K คือ ค่าคงที่สำหรับเบนซีน-ยางธรรมชาติ = 4.71×10^{20}

Q คือ อัตราส่วนการบวมโดยปริมาตร

4. การหาเงื่อนไขการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี

4.1 การทดลองเพื่อศึกษา ค่า pH กับ เวลาการเก็บอายุน้ำยาง

นำน้ำยางที่วัลคาไนซ์ในปริมาณรังสีที่เหมาะสมแล้วมาวัดค่า pH ที่ระยะเวลาเก็บอายุน้ำยางคือ 0, 6, 14, 21, 35, 56 และ 84 วัน

4.2 การทดลองเพื่อศึกษา ค่าความหนืด กับ เวลาการเก็บอายุน้ำยาง
น้ำยางที่ฉายรังสีในปริมาณรังสีที่เหมาะสมแล้วมาวัดค่าความหนืดที่ระยะการเก็บ
น้ำยางเช่นเดียวกับในข้อ 4.1

4.3 การทดลองหาชนิดและปริมาณต่าง ๆ ของสารป้องกันออกซิเดชันลงในน้ำยางที่
ฉายรังสีที่เหมาะสมแล้ว เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนแรงดึงกับปริมาณ
รังสี ในข้อ 2 เพื่อหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่ให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุด สำหรับการวิจัย
ในครั้งนี้ จะแบ่งสูตรการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ และปริมาณต่าง ๆ ลงใน
น้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสีที่เหมาะสมแล้ว

ปริมาณความเข้มข้นของสารป้องกันออกซิเดชัน 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr
โดยใช้ชนิดต่าง ๆ ดังนี้

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1. แอนต็อกซิแดนท์ 2246 | 2. วิงสเต แอล |
| 3. วัลคาน็อก เคบี | 4. เพอร์มาแน็กซ์ ดับลิวเอสพี |
| 5. นอนน็อก ดับลิวเอสแอล | 6. วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี |
| 7. นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นที | |

4.4 การทดลองเพื่อเปรียบเทียบความทนแรงดึง กับเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์ม

น้ำยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ และปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ
เมื่อเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มยางเรียบร้อยแล้ว นำมาล้างด้วยน้ำกลั่นที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ
0, 1, 3, 5, 15, 30, 60 และ 180 นาที จากนั้นนำไปตากที่อุณหภูมิห้องให้แห้ง
(ประมาณ 1 วัน) นำมาอบที่อุณหภูมิ 70 °C นาน 1 ชั่วโมง แล้วทดสอบสมบัติทาง
กายภาพของแผ่นฟิล์มยาง

5. การเตรียมน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีเพื่อขรรูปเป็นถุงมือใช้ทางการแพทย์
(medical examination glove)

เจือน้ำยางขึ้นจากแหล่งผลิตที่ให้คุณสมบัติของแผ่นยางดี มาเจือจางด้วย 1% NH₃
เพื่อให้มีปริมาณเนอียงแห้ง 50% เติม 10% KOH โดยการกวนด้วยใบพัดตลอดเวลา จาก
นั้นเติม HPO 0.1 phr เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในถังขนาด 20 ลิตร ทิ้งไว้ค้าง
คืนแล้วจึงเติม *n*-BA 5 phr กวนต่อประมาณ 1 ชั่วโมง นำไปใส่ถังสแตนเลส แล้ว
ฉายรังสีที่อัตราให้รังสี 0.89 kGy/hr จนได้ปริมาณรังสีตามต้องการ จากนั้นเติมสารป้องกัน
ออกซิเดชันที่เหมาะสมในข้อ 3.4.3 แล้วแบ่งน้ำยางออกเป็น 3 ชุดดังนี้

ชุดที่ 1 ชุดควบคุม (control) คือน้ำยางที่ฉายรังสีแล้วไม่เติมสารป้องกัน
ออกซิเดชันใด ๆ

ชุดที่ 2 เติม นอนน็อก ดับลิวเอสแอล ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5
phr

ชุดที่ 3 เติม วัลคาน็อก เคบี ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5 phr
ในแต่ละชุดทำการกวน 1 ชั่วโมง เพื่อเตรียมการขรรูปแบบจุ่ม

สารจับตัว (coagulant) ที่ใช้จุ่มแบบพิมพ์ ใช้สัดส่วนผสมดังนี้

	phr
แคลเซียมไนเตรต	10
น้ำ	50
แอลกอฮอล์	40

6. ขั้นตอนและวิธีการจุ่มลงมืออย่างทางการแพทย์ในระดับห้องปฏิบัติการดังนี้

6.1 ล้างแบบพิมพ์ด้วยสารละลาย 10% KOH แล้วล้างออกด้วยน้ำให้สะอาดทำให้แห้ง

6.2 จุ่มแบบพิมพ์ลงใน 10% สารช่วยจับตัว ยกขึ้นอย่างช้า ๆ ภายในระยะเวลา 10 วินาที หมุนแบบพิมพ์ไปมาในระยะเวลาที่ขนานกับขั้น 5 รอบ วางแบบพิมพ์เพื่อให้สารจับตัวแห้งพอหมาดใช้เวลาประมาณ 10 นาที ในระหว่างที่วางทิ้งไว้ห้ามสัมผัสบริเวณที่จุ่มสารช่วยจับตัวแล้ว

6.3 จุ่มแบบพิมพ์ลงในถังน้ำยาง ในหัวข้อ 5 เช่นเดียวกับขั้นตอนการจุ่มในสารช่วยจับตัว แต่หมุนแบบพิมพ์ไปมาจนกว่าน้ำยางเกาะแบบพิมพ์สม่ำเสมอแล้วทำการม้วนขอบ

6.4 ล้างด้วยน้ำอุ่น 50 °C เป็นเวลา 3 นาที ทำให้ฟิล์มยางแห้งและอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

6.5 ถอดถุงมือหลังจากฟิล์มยางคงรูปแล้วจะร้อน

6.6 นำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D3578

7. วิธีการเตรียมสารป้องกันออกซิเดชัน

เนื่องจากสารป้องกันออกซิเดชันส่วนใหญ่ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงเตรียมมาให้อยู่ในรูปการกระจาย (dispersion) หรือ อิมัลชัน (emulsion) ได้ดังนี้

7.1 สารป้องกันออกซิเดชันชนิด แอนติออกซิแดนท์ 2246 วิงสเต แอลวัลคาน็อก เคบี และ วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี เตรียมอยู่ในรูปการกระจาย 25% เนื่องจากเป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในรูปของแข็ง

	น้ำหนักแห้ง, g	น้ำหนักเปียก, g
สารป้องกันออกซิเดชัน	25.0	-
วัลคาสแตป แอลอาร์	1.0	-
15% แอมโมเนียมคาซีเนต	0.25	1.67
น้ำ	-	72.33

วิธีการเตรียม 15% แอมโมเนียมคาซีเนต (ammomium caseinate)

	น้ำหนักแห้ง, g	น้ำหนักเปียก, g
คาซีอิน	15	-
น้ำ	-	77.5
25% NH ₃	-	7.5

ผสมคาซีอินลงในน้ำอุ่นอุณหภูมิ 60-70 °C จากนั้นเติม 25% NH₃ พร้อมกับกวนด้วยใบพัดอย่างแรง สำหรับการเตรียมสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในกลุ่มการกระจาย ให้เติมสารตามสูตรลงในหม้อบดผสม (ball mill) ทำการบดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่ความเร็วรอบของหม้อบดผสม ดังสมการ (78)

$$\text{RPM ของหม้อบด} = 0.75 \times \frac{42.5}{D} \quad (78)$$

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของหม้อบดผสม ในหน่วย เมตร

7.2 สารป้องกันออกซิเดชันชนิด นอนน็อก ดับลิวเอสแอล เพอร์มาแน็กซ์ ดับลิวเอสพี และ นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี เตรียมอยู่ในรูปอิมัลชัน 50% เนื่องจากเป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในรูปน้ำมัน

	น้ำหนักแห้ง, g	น้ำหนักเปียก, g
<u>ส่วนผสม 1</u>		
นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี	-	100
กรดโพลีอิก	5	-
<u>ส่วนผสม 2</u>		
15% แอมโมเนียมคาซีเนต	3	20
เบนโทไนต์	-	5
น้ำ	-	70

	น้ำหนักแห้ง, g	น้ำหนักเปียก, g
<u>ส่วนผสม 1</u>		
นอนน็อก ดับลิวเอสแอล หรือ เพอร์มาแน็กซ์ ดับลิวเอสพี	-	100
กรดโพลีอิก	5	-

ส่วนผสม 2

25% NH ₃	5	-
น้ำ	-	90

อุ่นส่วนผสม 1 ที่อุณหภูมิประมาณ 70 °C เทส่วนผสม 2 ลงไปพร้อมกับกวนด้วยใบพัดอย่างแรง เพื่อให้ส่วนผสมทั้งสองเป็นเนื้อเดียวกัน

บทที่ 3

ผล

1. ผลการทดสอบสมบัติน้ำยางข้นก่อนและหลังการฉายรังสีปริมาณ 8 kGy จากบริษัทผลิตน้ำยางข้น 3 บริษัท ดังแสดงไว้ในตาราง 4
2. ผลการเตรียมน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีปริมาณต่าง ๆ
 - 2.1 ผลการทดลองใช้ *m*-BA 5 phr เป็นเซนซิไทเซอร์ โดยมี KOH เป็นสารเพิ่มความเสถียร ได้ค่าความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มวัลคาไนซ์ด้วยรังสีกับปริมาณรังสีขนาดต่าง ๆ กันจาก 0-15 kGy แสดงไว้ในตาราง 5 และภาพประกอบ 3
 - 2.2 ผลการทดลองใช้ *m*-BA 5 phr ร่วมกับ HPO 0.1 phr เป็นเซนซิไทเซอร์ ได้สมบัติของแผ่นฟิล์มยางที่ฉายด้วยรังสีในปริมาณต่าง ๆ แสดงไว้ในตาราง 5 และ ภาพประกอบ 3
3. ผลการหาเงื่อนไขการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี
 - 3.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาค่า pH และความหนืดกับเวลาการเก็บอายุน้ำยางที่ได้จากน้ำยางฉายรังสีปริมาณ 8 kGy จากบริษัทเสริมพันธ์ จำกัดดังแสดงในตาราง 5 และในภาพประกอบ 4
 - 3.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางหลังจากเก็บอายุน้ำยางที่เวลา 0, 7, 15, 30, 45, 60 และ 85 วัน จากแหล่งผลิตน้ำยางข้น 3 บริษัท ดังแสดงในตาราง 7 และภาพประกอบ 5
 - 3.3 ผลการทดลองหาชนิด และความเข้มข้นของสารป้องกันออกซิเดชันเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr เติมลงในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีในปริมาณรังสี 8 kGy ทำการล้างแผ่นฟิล์มยางด้วยน้ำกลั่นจากระยะเวลา 0-180 นาที แสดงในตาราง 8-14 และในภาพประกอบ 6-12 แสดงการเปรียบเทียบสารป้องกันออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ก่อนและหลังการอบแผ่นฟิล์มยางที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 22 ชั่วโมง เพื่อแสดงค่าความทนแรงดึง กับเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์ม
 - 3.6 ผลการทดลองเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิด แอนต้ออกซิแดนท์ 2246 เพอร์มาแน็กซ์ ดับลิวเอสพี วิงสเต แอล วัลคาน็อก เฌปี นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นที นอนน็อก ดับลิวเอสแอล และ วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี ในน้ำยางฉายรังสีแกมมา และล้างแผ่นฟิล์มยางด้วยน้ำกลั่นเป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในตาราง 15
4. ผลการหาเงื่อนไขการขึ้นรูปถ่มมือยางทางการแพทย์
 - 4.1 ผลการทดลองโดยการเลือกชนิดของสารป้องกันออกซิเดชันที่ให้สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางดีที่สุดมา 2 ชนิด คือ วัลคาน็อก เฌปี และ นอนน็อก

ดัดบลิวเอสแอล โดยใช้ความเข้มข้น 4 ระดับคือ 0, 0.1, 0.3 และ 0.5 phr แล้วล้างแผ่นฟิล์มยางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงดังตาราง 16

4.2 ผลการทดลองสมบัติทางกายภาพของถุงมือยางทางการแพทย์ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคบี และนอห์น็อก ดัดบลิวเอสแอล ทำการล้างด้วยน้ำอุ่นอุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 3 นาที แสดงดังตาราง 17

4.3 ผลการทดลองสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคบี ความเข้มข้น 0.5 phr ทำการล้างแผ่นฟิล์มยางด้วยน้ำอุ่น 50 °C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันคือ 0, 1, 3, 5, 10 และ 15 นาที แสดงดังตาราง 18

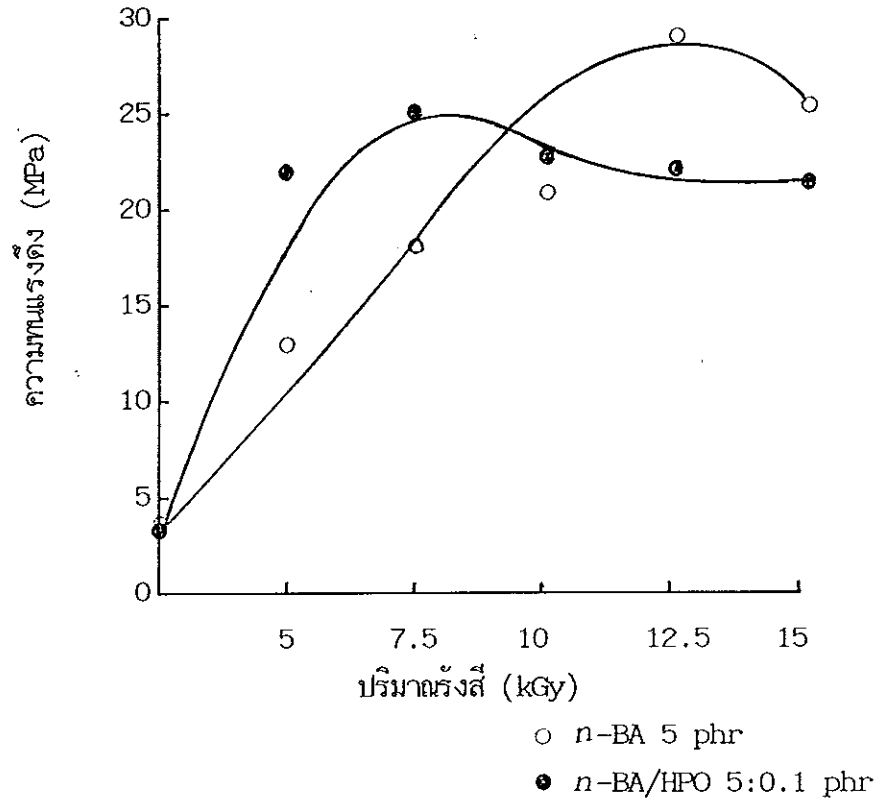
ตาราง 4 ผลการทดสอบสมบัติต่างๆของตามมาตรฐาน ISO 2004-1979(E) ก่อนฉายรังสี และหลังฉายรังสี ปริมาณ 8 kGy จากบริษัทผลิตน้ำยางข้น 3 บริษัท

เงื่อนไข	TSC (%)	DRC (%)	NH ₃ (%)	MSI (sec)	VFA	pH	KOH	Viscosity (cps)
ก่อนฉายรังสี	บ. จะนะน้ำยางข้น จำกัด	59.73	0.70	980	0.0139	10.74	0.71	67.8
	บ. พาราเทกซ์ จำกัด	61.72	60.19	1286	0.0695	10.73	0.54	98.7
	บ. เสริมพันธ์ จำกัด	62.15	60.75	0.58	540	0.0145	10.38	70.1
หลังฉายรังสี*	บ. จะนะน้ำยางข้น จำกัด	54.53	52.66	0.60	1422	9.98	1.08	28.5
	บ. พาราเทกซ์ จำกัด	53.05	51.20	0.57	2275	10.36	1.08	27.9
	บ. เสริมพันธ์ จำกัด	53.05	50.88	0.38	1210	10.12	1.17	26.4

* เจือจางใหม่ DRC 50% ด้วยสารละลาย 1% NH₃

ตาราง 5 ค่าความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มยาง ในหน่วย เมกะพาสคัล (MPa) โดยใช้ *n*-BA 5 phr และ *n*-BA 5 phr ร่วมกับ HPO 0.1 phr

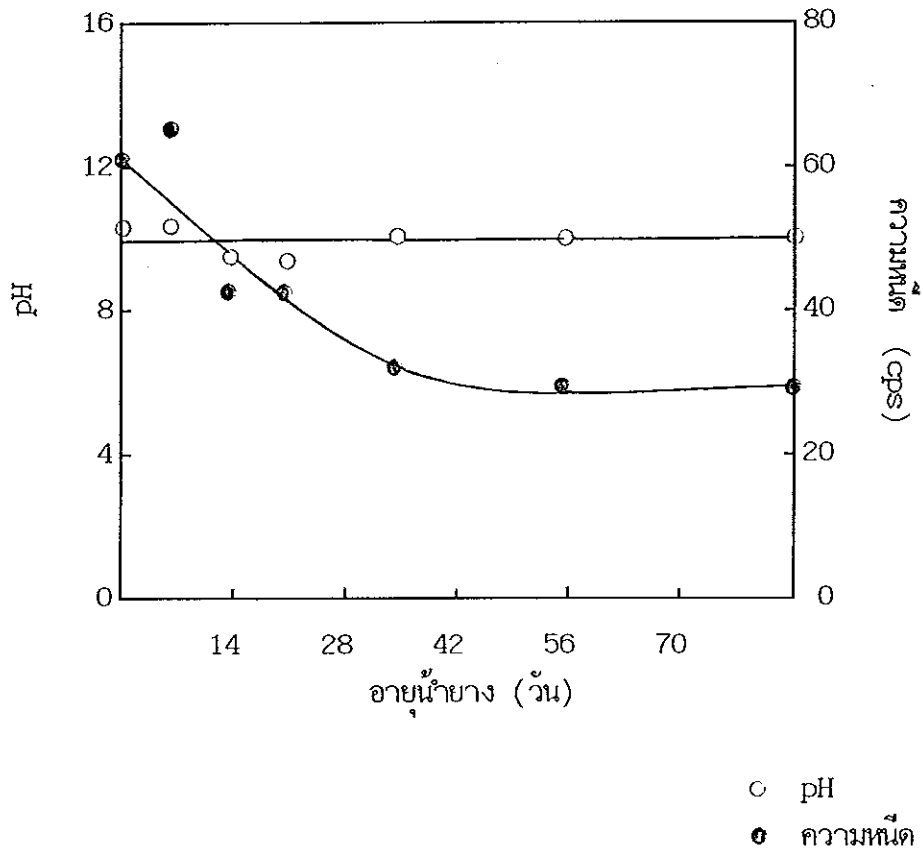
เงื่อนไข ปริมาณ (kGy)	0	5	7.5	10	12.5	15
<i>n</i> -BA 5 phr	3.81	13.06	18.00	21.17	29.17	25.31
<i>n</i> -BA 5 phr/ HPO 0.1 phr	3.60	22.37	25.02	22.74	21.68	21.47



ภาพประกอบ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทนแรงดึง (MPa) ของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางที่ฉายรังสีด้วยปริมาณต่าง ๆ

ตาราง 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า pH และความหนืด กับเวลาการเก็บอายุเน่าียงที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จากเน่าียงฉายรังสี ปริมาณ 8 kGy จากบริษัทเสริมพันธ์ จำกัด

อายุเน่าียง (วัน)	pH	ความหนืด
0	10.12	61.2
6	10.16	60.5
14	9.34	41.2
21	10.00	41.4
35	9.93	32.7
56	9.87	28.7
84	9.90	27.6

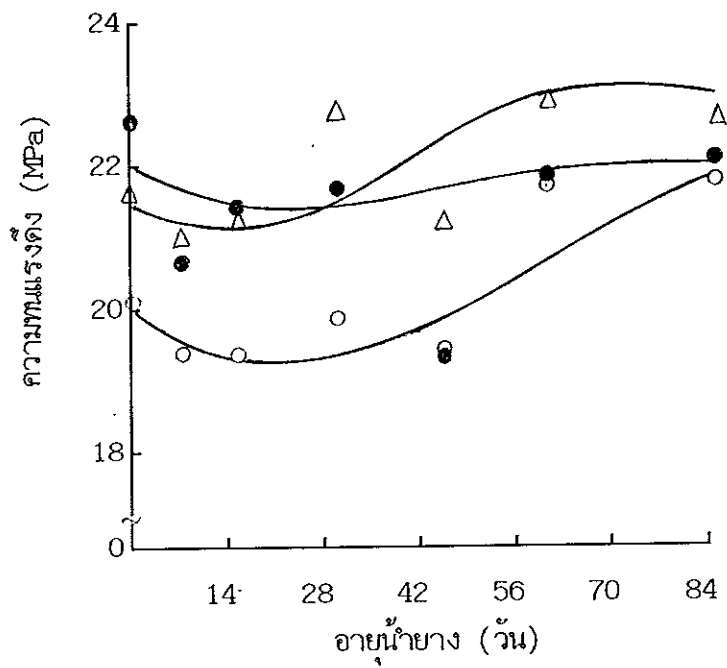


ภาพประกอบ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างการเก็บอายุน้ำยางกับ ค่า pH และ ความทึบ จาก บริษัท เสริมพันธ์ จำกัด

ตาราง 7 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางหลังการเก็บอายุน้ำยาง (storage time) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จากแหล่งผลิตน้ำยางชั้น 3 บริษัท

อายุน้ำยาง (วัน)	โมดูลัส 300%			โมดูลัส 600%			ความทนแรงดึง (MPa)			ความยาวยืดเมื่อขาด (%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
0	1.04	1.27	0.95	3.12	4.54	4.27	20.12	22.67	21.58	900	875	900
7	1.33	1.02	0.84	3.12	4.95	4.06	19.37	20.70	21.00	850	850	925
15	1.05	0.98	0.63	3.22	4.60	2.08	19.36	21.41	21.26	850	838	961
30	0.95	0.94	0.64	3.65	3.43	2.14	19.86	21.66	22.73	863	850	934
45	0.81	0.96	0.68	3.26	4.46	2.56	19.46	19.40	21.19	850	825	966
60	0.94	0.95	0.64	3.88	3.88	2.17	21.63	21.87	22.84	875	850	966
85	0.75	0.84	0.57	3.30	3.30	1.95	21.78	22.13	22.73	900	900	934

- A บริษัท จะนะน้ำยางชั้น จำกัด
- B บริษัท พาราเท็กซ์ จำกัด
- C บริษัท เสริมพันธ์ จำกัด



- บริษัท จะนะน้ำย้างขึ้น จำกัด
- บริษัท พาราเท็กซ์ จำกัด
- △ บริษัท เสริมพันธ์ จำกัด

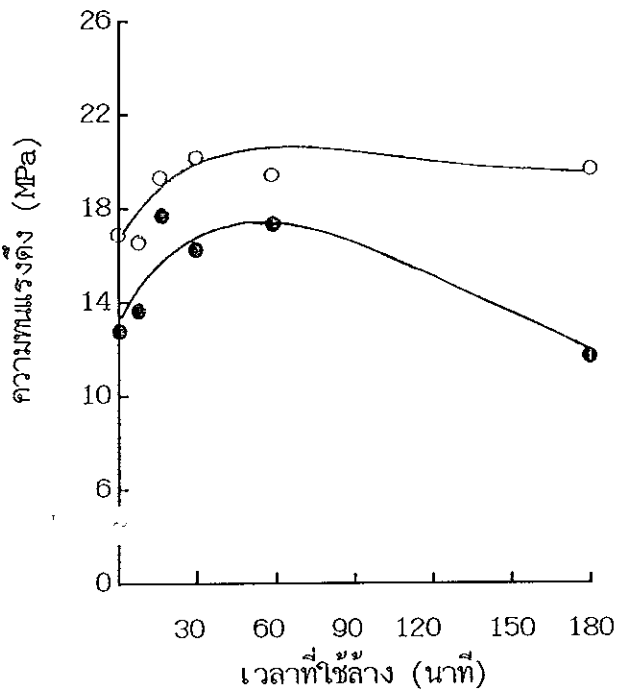
ภาพประกอบ 5 แสดงสมบัติความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางจากการฉายรังสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน

ตาราง 8 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิด แอนต้ออกซิแดนท์ 2246 เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

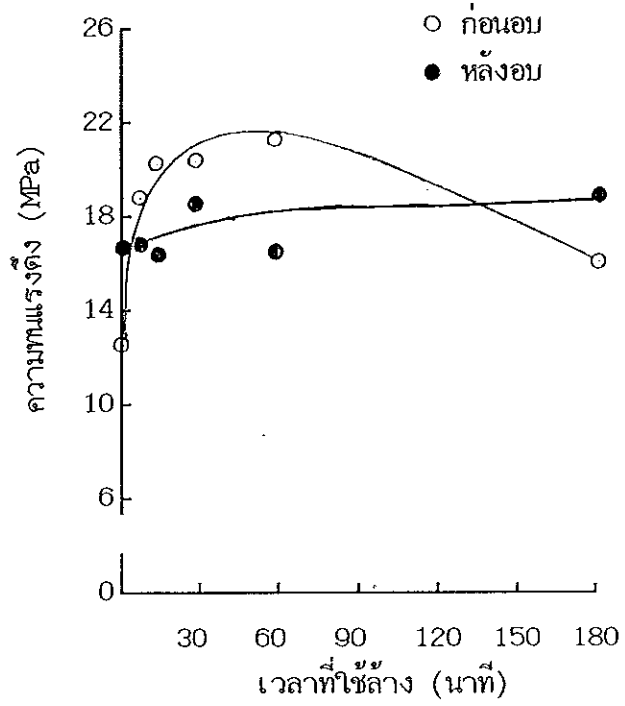
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
0	0	0.56	0.59	1.64	2.24	16.76	12.82	962	878
	1	0.60	0.70	2.48	2.46	16.48	17.71	871	877
	3	0.61	0.68	3.27	2.78	17.32	13.54	860	872
	5	0.61	0.69	2.91	2.94	16.86	13.51	877	936
	15	0.69	0.73	2.72	2.59	19.35	17.47	886	955
	30	0.81	0.89	4.71	3.89	20.00	16.40	867	785
	60	0.81	0.80	4.51	3.09	19.38	17.38	854	867
	180	0.77	1.02	4.09	4.24	19.73	11.62	865	768
0.5	0	0.55	0.54	1.89	1.59	12.55	16.69	869	972
	1	0.55	0.61	1.27	1.19	14.30	14.47	931	967
	3	0.74	0.64	3.01	1.77	20.24	16.50	880	1016
	5	0.60	0.58	1.68	1.48	18.84	16.94	926	1012
	15	0.61	0.63	2.15	1.02	20.32	16.18	877	1006
	30	0.65	0.72	2.13	2.50	20.32	18.52	909	983
	60	0.76	0.67	2.68	1.99	21.28	16.44	894	965
	180	0.53	0.55	1.59	1.41	16.17	18.79	941	963

ตาราง 8 ต่อ

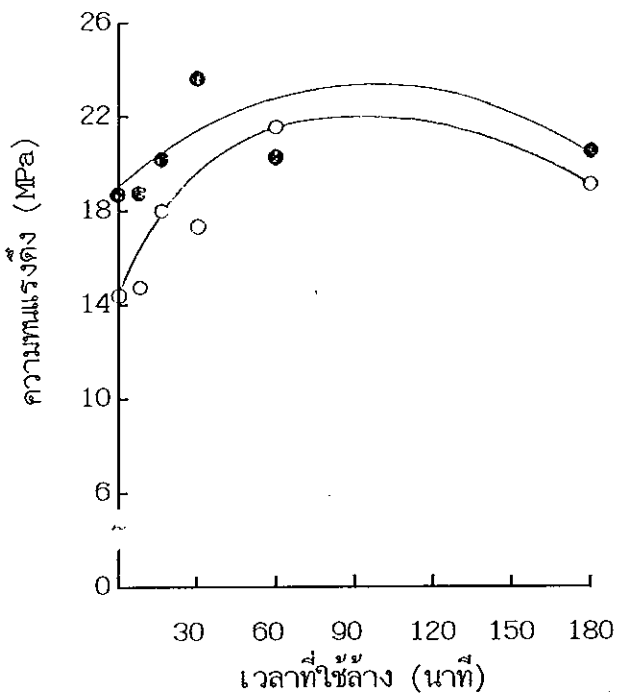
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยึดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.0	0	0.69	0.73	1.99	2.43	14.29	18.69	886	1003
	1	0.56	0.67	1.53	2.55	14.59	15.84	909	955
	3	0.84	0.60	3.85	1.79	14.52	15.90	779	959
	5	0.55	0.54	1.51	1.57	14.95	18.63	903	985
	15	0.61	0.59	1.73	1.63	18.07	20.44	932	1036
	30	0.67	0.69	2.49	1.96	17.37	23.72	873	1011
	60	0.86	0.69	4.00	2.27	21.54	20.13	863	975
	180	0.83	0.70	3.06	1.97	19.16	20.86	879	1041
1.5	0	0.53	0.69	1.53	2.47	14.56	16.38	916	915
	1	0.55	0.53	1.60	1.24	16.79	14.90	927	948
	3	0.56	0.53	1.20	1.19	10.30	15.11	830	1012
	5	0.79	0.58	2.70	2.27	19.60	20.93	882	904
	15	0.55	0.60	1.56	1.60	15.48	20.50	921	998
	30	0.71	0.68	2.46	2.00	18.99	21.21	897	997
	60	0.86	0.76	3.86	2.59	23.48	17.93	905	965
	180	0.61	0.65	2.80	1.73	17.42	19.55	846	970



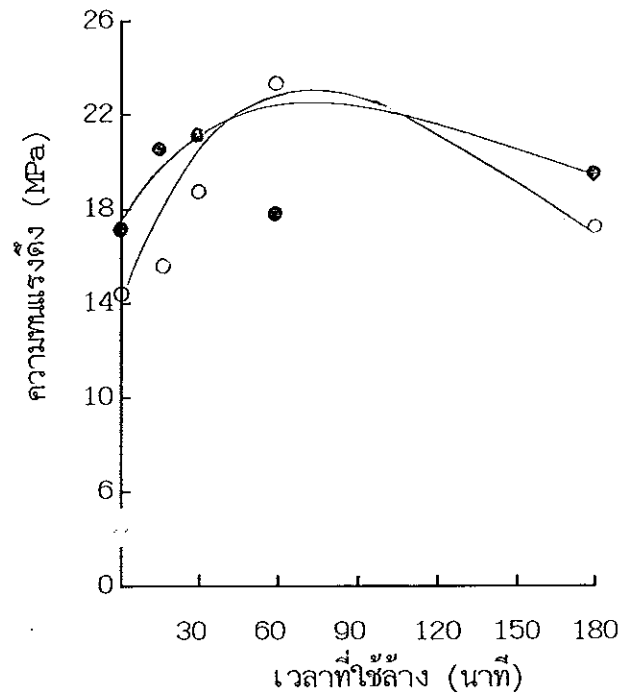
(a) 0 phr



(b) 0.5 phr



(c) 1.0 phr



(d) 1.5 phr

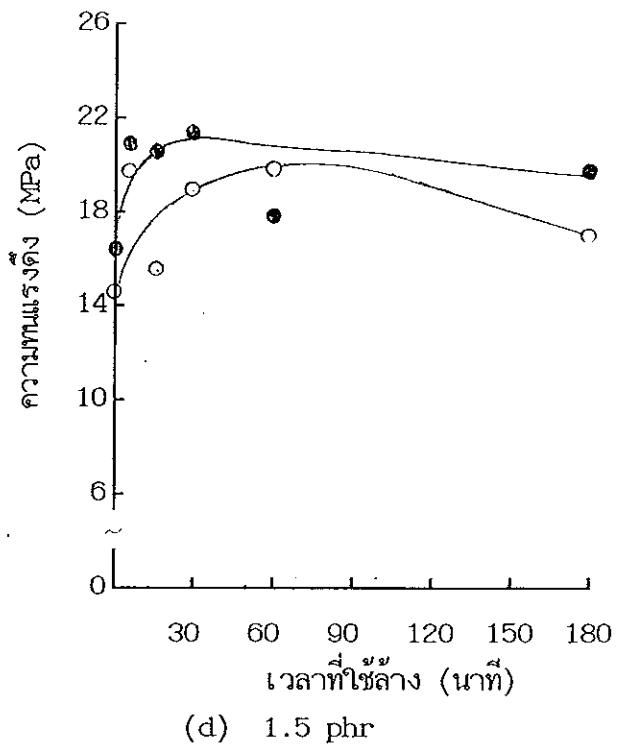
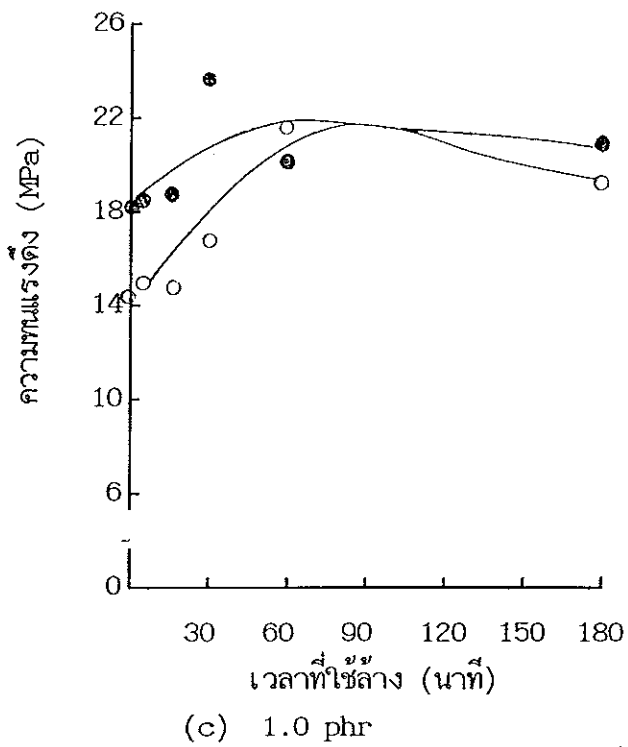
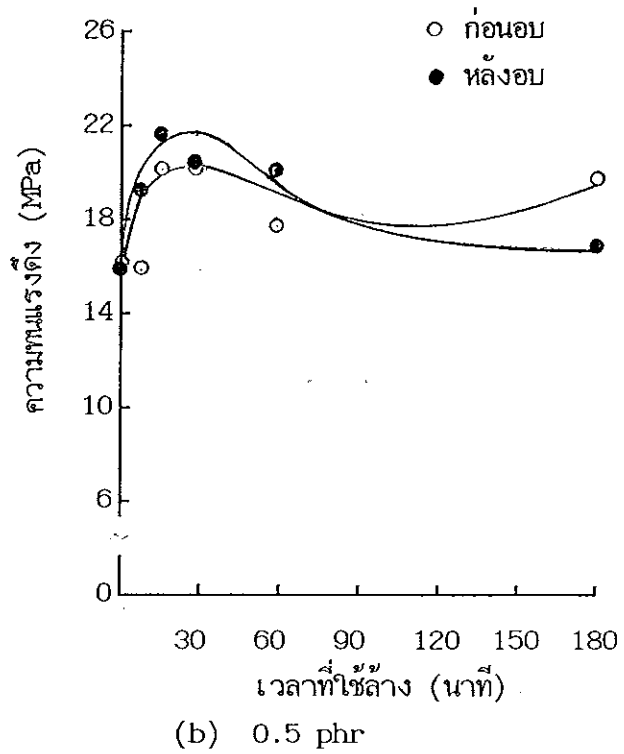
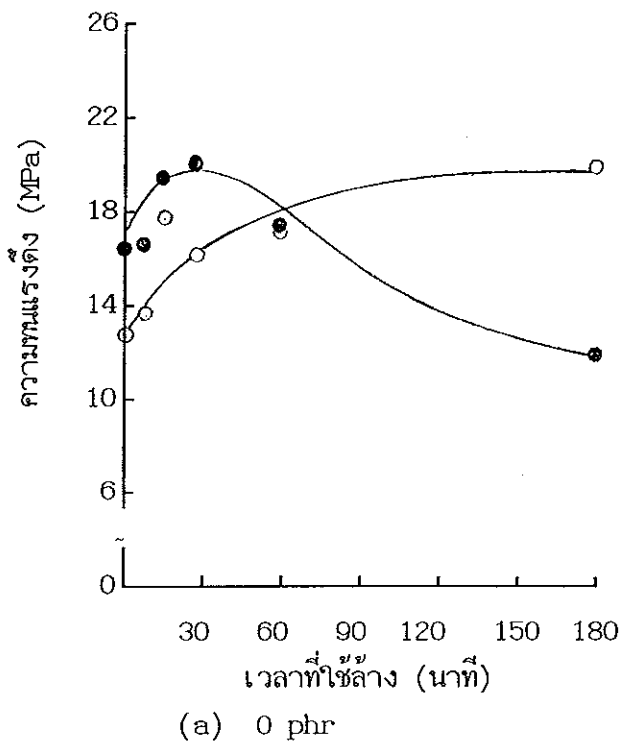
ภาพประกอบ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นให้มียางกับความทนแรงดึง เตรียมจาก น้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชั่นชนิด แอนติออกซิแดนท์ 2246 ความเข้มข้น ต่าง ๆ กัน

ตาราง 9 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิด เพอร์ออกไซด์ คัมบิวเอลฟี เจมกัน 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ที่การล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
0	0	0.48	0.48	1.19	1.04	12.89	16.76	992	1128
	1	0.49	0.47	1.31	0.86	15.71	16.48	968	1079
	3	0.49	0.50	1.07	0.99	13.54	17.32	1006	1068
	5	0.47	0.52	0.98	1.36	13.51	16.86	1026	1083
	15	0.55	0.50	1.88	1.56	17.47	19.35	980	1055
	30	0.53	0.64	1.29	1.75	16.40	20.00	1000	1012
	60	0.55	0.58	1.67	1.43	17.23	17.38	1031	961
	180	0.67	0.58	1.99	1.39	19.73	11.62	965	943
0.5	0	0.58	0.55	1.89	1.70	16.11	15.73	1079	951
	1	0.52	0.54	1.19	1.31	15.96	18.35	1051	1021
	3	0.49	0.51	1.20	1.32	13.49	17.01	1014	968
	5	0.49	0.56	1.10	1.73	15.56	19.18	1015	991
	15	0.70	0.64	1.11	1.75	20.15	21.54	1039	936
	30	0.67	0.61	1.53	1.68	20.43	20.84	1047	933
	60	0.60	0.56	1.73	1.48	17.79	19.95	1041	955
	180	0.70	0.60	1.85	1.40	19.61	16.84	1509	998

ตาราง 9 ต่อ

ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยึดเมือขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.0	0	0.69	0.73	1.99	2.43	14.29	18.69	886	1003
	1	0.56	0.67	1.53	2.55	14.59	15.84	909	955
	3	0.84	0.60	3.85	1.79	14.52	15.90	779	959
	5	0.55	0.54	1.51	1.57	14.95	18.63	903	985
	15	0.61	0.59	1.73	1.63	18.07	20.44	932	1036
	30	0.67	0.69	2.49	1.96	17.37	23.72	873	1011
	60	0.86	0.69	4.00	2.27	21.54	20.13	863	975
	180	0.83	0.70	3.06	1.97	19.16	20.86	879	1041
1.5	0	0.53	0.69	1.53	2.47	14.56	16.38	916	915
	1	0.55	0.53	1.60	1.24	16.79	14.90	927	948
	3	0.56	0.53	1.20	1.19	10.30	15.11	830	1012
	5	0.79	0.58	2.70	2.27	19.60	20.93	882	904
	15	0.55	0.60	1.56	1.60	15.48	20.50	921	998
	30	0.71	0.68	2.46	2.00	18.99	21.21	897	997
	60	0.86	0.76	3.86	2.59	19.86	17.93	905	965
	180	0.61	0.65	2.80	1.73	17.42	19.55	846	970



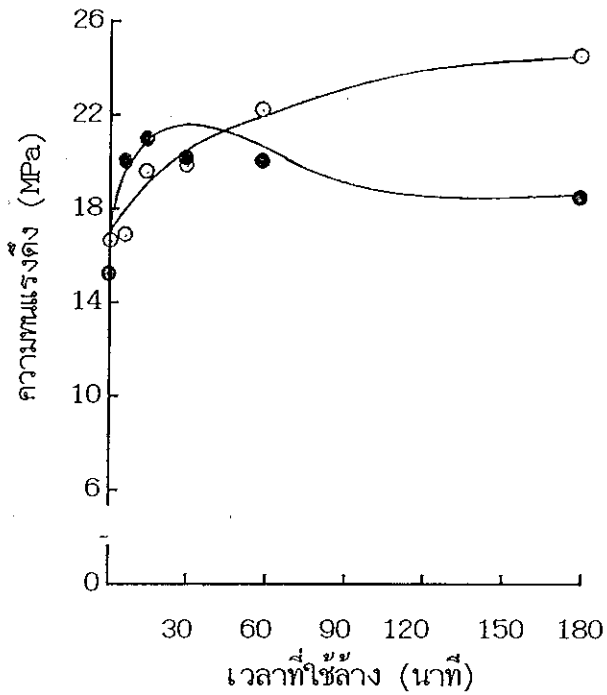
ภาพประกอบ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยางกับความทนแรงดึง เตรียมจาก น้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด เพอร์มาเน็กซ์ ดับบลิวเอสพี ความเข้มข้น ต่าง ๆ กัน

ตาราง 10 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิด วิงสเดแอลเจิน 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

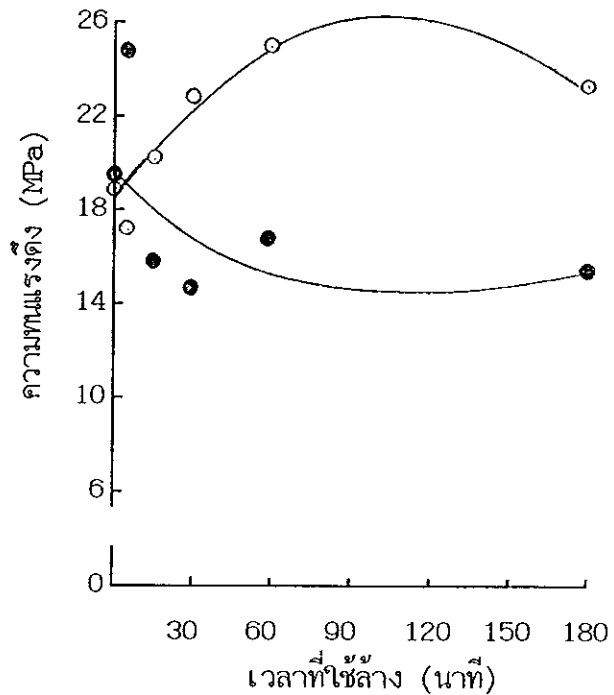
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
0	0	0.53	0.71	1.59	1.75	16.61	15.08	941	778
	1	0.56	0.63	1.73	2.04	17.44	18.47	940	1023
	3	0.57	0.84	2.05	2.12	16.39	15.80	904	973
	5	0.54	0.62	1.35	2.15	17.30	20.23	946	971
	15	0.56	0.75	2.03	2.76	19.62	21.04	925	937
	30	0.71	0.74	2.46	2.78	19.94	20.23	941	932
	60	0.74	0.74	2.64	2.72	22.43	20.07	973	874
	180	0.71	0.60	2.90	2.63	24.50	18.46	936	854
0.5	0	0.60	0.60	1.71	2.11	18.87	19.39	1401	963
	1	0.61	0.56	1.91	2.19	19.22	14.05	956	891
	3	0.68	0.56	2.68	1.76	19.67	18.86	808	1038
	5	0.57	0.72	1.76	3.27	17.42	24.62	956	1012
	15	0.86	0.71	3.82	2.71	20.18	15.74	863	868
	30	0.85	0.78	3.75	3.35	22.71	14.59	889	845
	60	0.79	0.67	3.29	2.68	24.92	16.77	956	907
	180	0.83	0.73	4.46	2.75	23.29	15.47	983	895

ตาราง 10 ต่อ

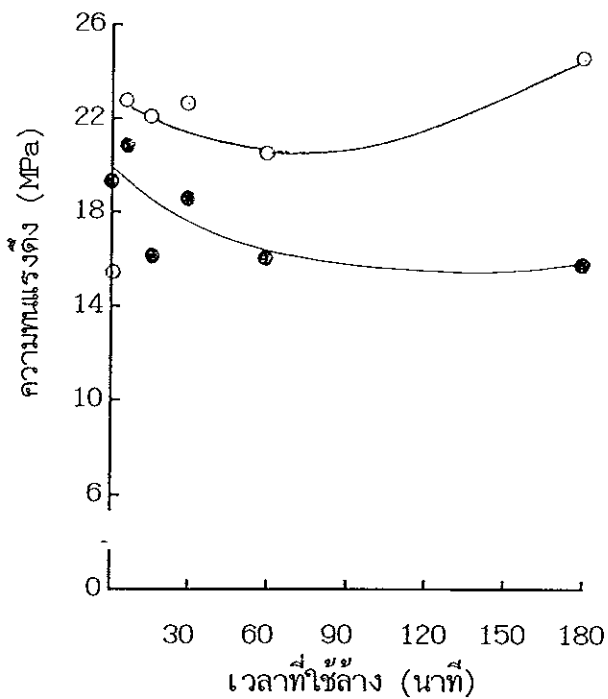
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 500%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยึดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.0	0	0.50	0.58	1.44	2.20	15.36	19.10	957	1028
	1	0.65	0.70	2.63	2.69	20.94	20.26	890	974
	3	0.54	0.61	2.10	2.58	18.91	21.63	916	1214
	5	0.77	0.65	3.46	2.27	22.71	20.79	901	946
	15	0.80	0.68	3.36	2.52	22.06	16.15	900	885
	30	0.88	0.73	3.83	2.92	22.84	18.57	878	896
	60	0.71	0.76	3.19	3.04	20.56	16.05	891	874
	180	0.83	0.75	3.95	3.41	24.69	15.57	900	848
1.5	0	0.58	0.59	2.01	2.12	19.03	19.91	928	946
	1	0.73	0.63	3.15	2.06	22.62	19.46	900	959
	3	0.77	0.59	2.98	2.09	20.95	20.42	1243	957
	5	0.70	0.71	2.86	3.12	21.02	17.81	899	884
	15	0.75	0.69	2.50	2.41	22.89	20.19	912	945
	30	0.86	0.76	3.85	3.52	24.88	15.15	894	844
	60	0.78	0.69	3.78	2.80	22.34	15.14	1084	873
	180	0.83	0.61	3.06	2.10	18.37	15.88	846	921



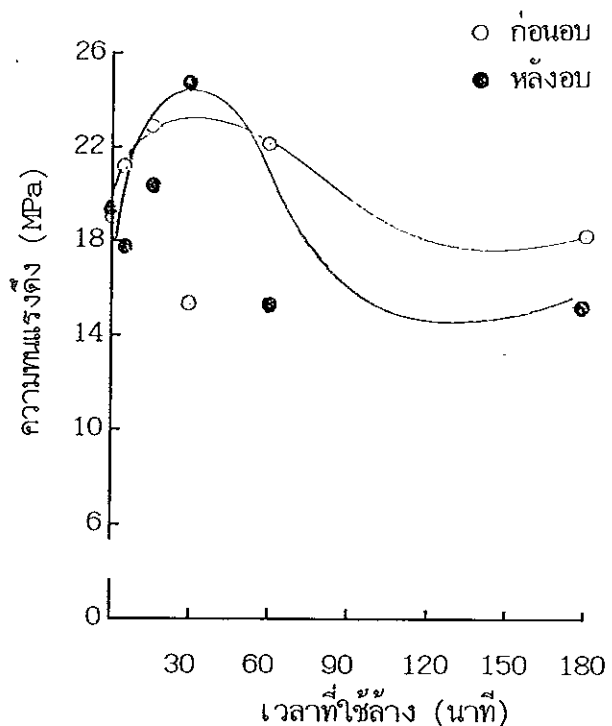
(a) 0 phr



(b) 0.5 phr



(c) 1.0 phr



(d) 1.5 phr

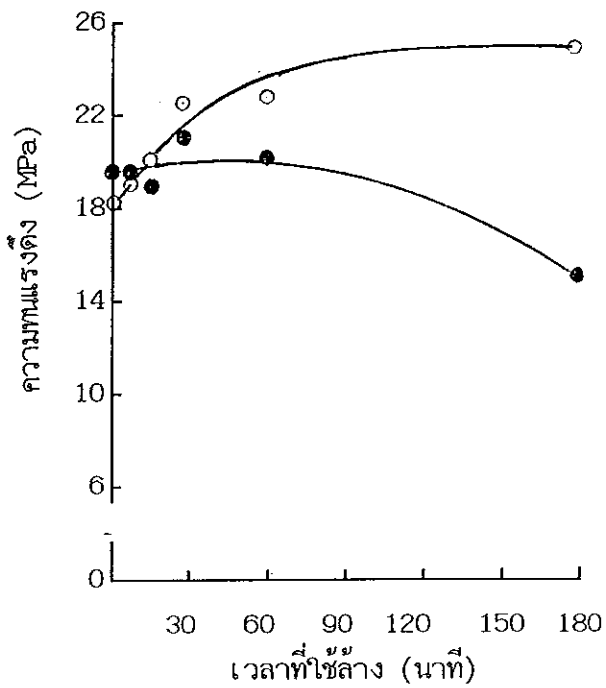
ภาพประกอบ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยางกับความทนแรงดึง เตรียมจาก น้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วิงสเต แอล ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ตาราง 11 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิด นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

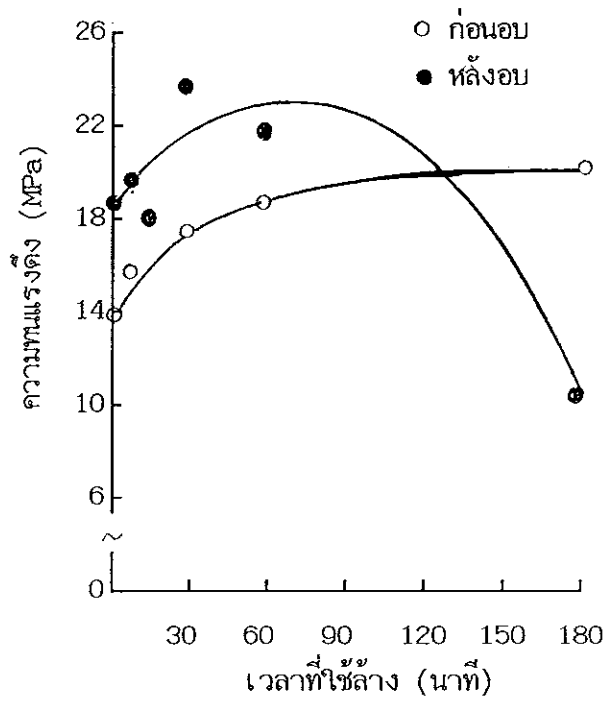
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
0	0	0.49	0.48	1.08	1.09	18.03	19.73	1025	1154
	1	0.51	0.47	1.27	0.93	16.16	19.92	1008	1142
	3	0.49	0.45	1.19	0.93	18.11	17.73	999	1109
	5	0.53	0.51	1.23	1.16	19.00	19.71	1000	1142
	15	0.51	0.50	1.23	1.13	20.22	18.98	1027	1079
	30	0.60	0.51	1.85	1.11	22.55	21.14	997	1105
	60	0.66	0.53	2.50	1.25	22.84	20.07	966	1119
	180	0.71	0.60	2.90	1.55	24.50	14.97	936	1024
0.5	0	0.50	0.51	1.32	1.50	13.98	18.54	1017	978
	1	0.51	0.57	1.25	1.71	12.14	16.51	981	998
	3	0.55	0.56	1.64	1.73	17.46	22.60	963	1051
	5	0.50	0.50	1.14	1.29	15.70	19.62	1014	1077
	15	0.55	0.61	1.57	2.11	17.97	17.98	980	962
	30	0.53	0.53	1.39	1.42	17.47	23.77	981	1131
	60	0.61	0.62	1.83	1.95	18.53	21.61	982	1037
	180	0.65	0.61	2.38	1.90	20.23	10.03	942	882

ตาราง 11 | ต่อ

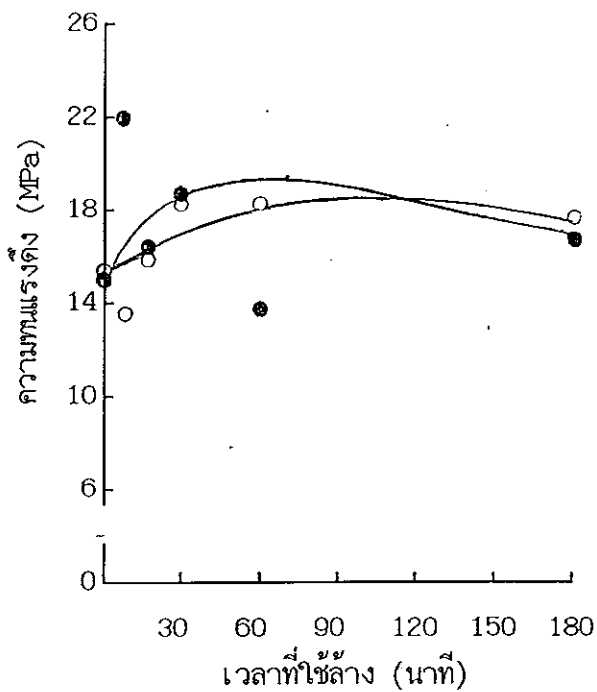
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยึดเมือขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.0	0	0.48	0.51	1.12	1.19	15.08	14.26	985	990
	1	0.49	0.55	1.17	1.75	13.93	17.24	982	983
	3	0.51	0.62	1.44	1.90	13.46	22.22	962	1009
	5	0.52	0.51	1.42	1.49	13.77	21.97	957	1033
	15	0.53	0.55	1.47	1.89	15.71	16.17	982	963
	30	0.59	0.54	1.99	1.75	18.04	18.74	916	1026
	60	0.57	0.67	1.67	2.16	18.15	13.49	975	861
	180	0.60	0.65	2.03	2.08	17.71	16.50	931	907
1.5	0	0.51	0.52	1.25	1.32	12.14	17.92	981	1009
	1	0.51	0.54	1.28	1.54	13.38	18.52	946	1033
	3	0.51	0.61	1.27	2.29	15.87	17.89	1035	924
	5	0.52	0.56	1.61	1.77	14.77	17.24	948	1030
	15	0.58	0.57	2.43	1.73	15.83	18.83	930	969
	30	0.59	0.50	1.99	1.27	17.79	18.40	943	1048
	60	0.51	0.64	1.31	2.30	15.54	19.35	985	1052
	180	0.64	0.56	2.48	1.65	16.11	19.07	900	993



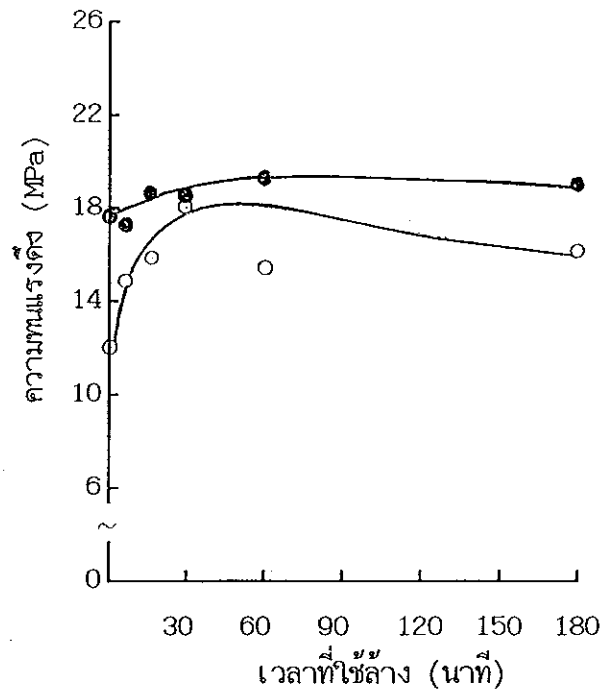
(a) 0 phr



(b) 0.5 phr



(c) 1.0 phr



(d) 1.5 phr

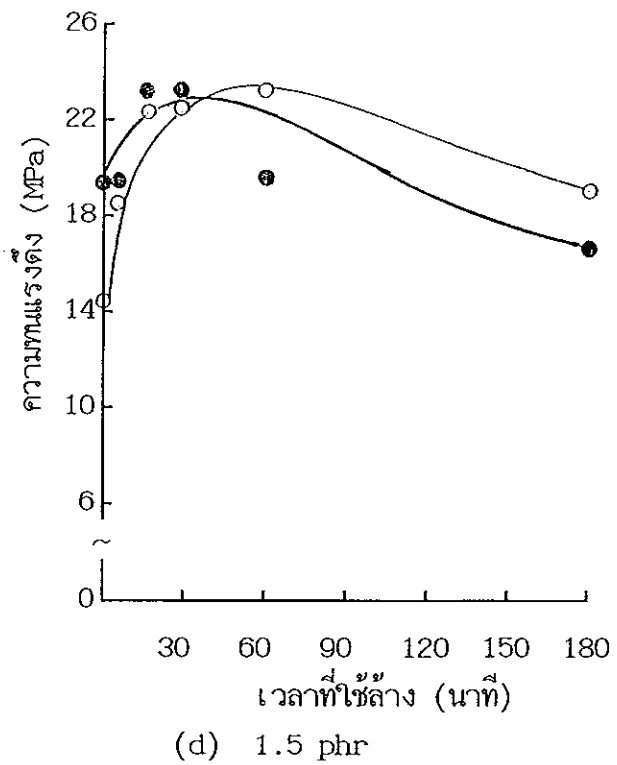
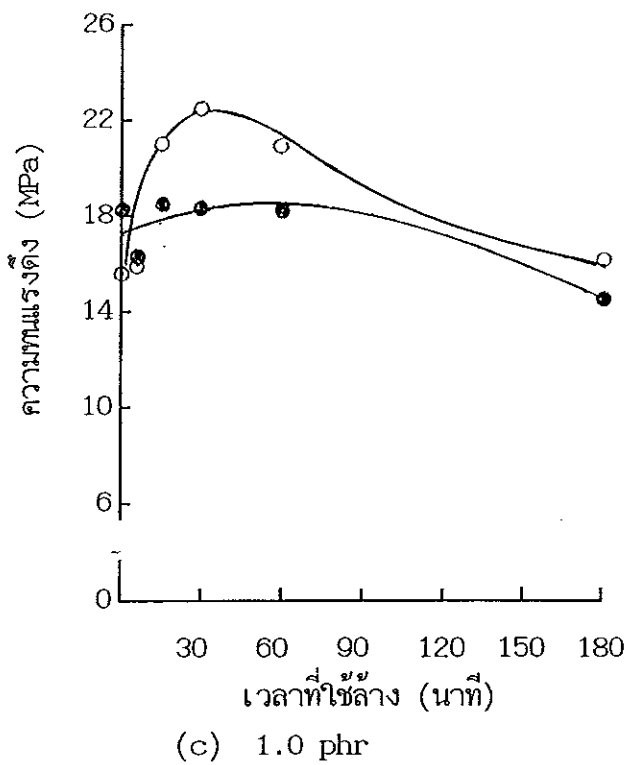
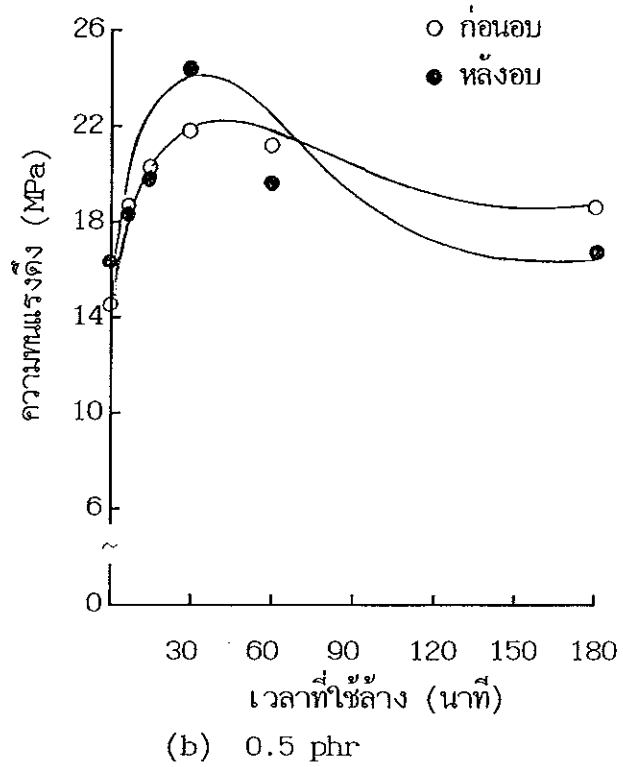
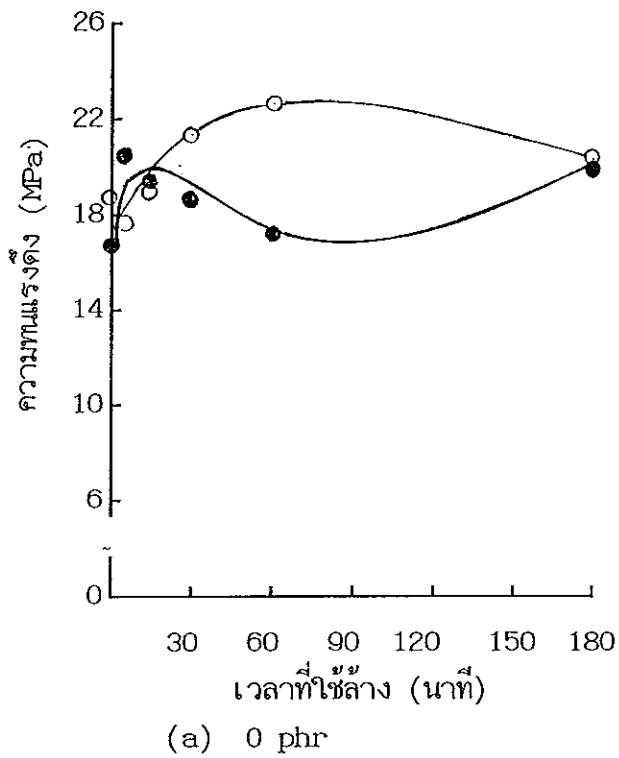
ภาพประกอบ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยางกับความทนแรงดึง เตรียมจาก น้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด นอนแพล็กซ์ ทีเอ็นพี ความเข้มข้น ต่าง ๆ กัน

ตาราง 12 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ชนิด นอนน็อก ดับบลิวเอสแอล เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
0	0	0.51	0.49	1.26	1.15	18.74	16.82	1051	1064
	1	0.50	0.50	1.33	1.10	19.21	17.78	1036	1039
	3	0.54	0.49	1.57	1.19	16.78	19.45	959	1176
	5	0.51	0.51	1.58	1.24	17.61	20.63	966	1096
	15	0.51	0.49	1.41	1.08	19.25	19.67	933	1028
	30	0.56	0.63	1.75	1.92	21.43	18.60	1020	973
	60	0.64	0.58	2.65	1.51	22.73	17.44	934	1085
	180	0.57	0.63	1.95	1.75	20.41	19.83	952	1087
0.5	0	0.54	0.50	1.54	1.14	14.63	16.48	952	1079
	1	0.49	0.54	1.07	1.45	17.13	17.00	1002	1051
	3	0.52	0.46	1.69	1.50	18.25	20.56	979	1064
	5	0.52	0.52	1.35	1.43	18.76	18.34	1024	997
	15	0.52	0.49	1.22	1.12	20.21	19.85	1032	1082
	30	0.55	0.64	1.30	2.11	21.89	24.47	967	1055
	60	0.55	0.66	1.70	2.22	21.14	19.67	993	952
	180	0.62	0.68	2.20	2.50	18.78	16.87	955	853

ตาราง 12 ต่อ

ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยึดเมือขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.0	0	0.49	0.48	1.22	1.10	15.76	18.25	988	1056
	1	0.46	0.50	0.93	1.39	17.21	18.18	1077	1056
	3	0.51	0.50	1.41	1.37	20.66	19.63	982	1043
	5	0.51	0.51	1.25	1.48	16.19	16.91	1041	977
	15	0.55	0.52	1.82	1.30	21.22	18.73	931	1029
	30	0.51	0.55	1.19	1.53	22.46	18.46	1029	1043
	60	0.56	0.64	1.71	2.29	21.03	18.29	1018	971
	180	0.64	0.68	2.73	1.96	17.16	14.63	915	859
1.5	0	0.49	0.50	1.18	1.23	14.45	19.25	974	1067
	1	0.48	0.52	1.27	1.46	15.48	19.95	974	1026
	3	0.53	0.48	1.33	1.15	17.09	19.42	995	1076
	5	0.51	0.52	1.29	1.48	18.35	19.85	971	1024
	15	0.54	0.53	1.81	1.43	22.47	23.32	950	1088
	30	0.55	0.52	1.51	1.25	22.40	23.14	1024	1080
	60	0.59	0.57	1.84	1.69	23.32	19.54	967	1016
	180	0.63	0.58	1.98	1.64	19.08	16.61	989	934



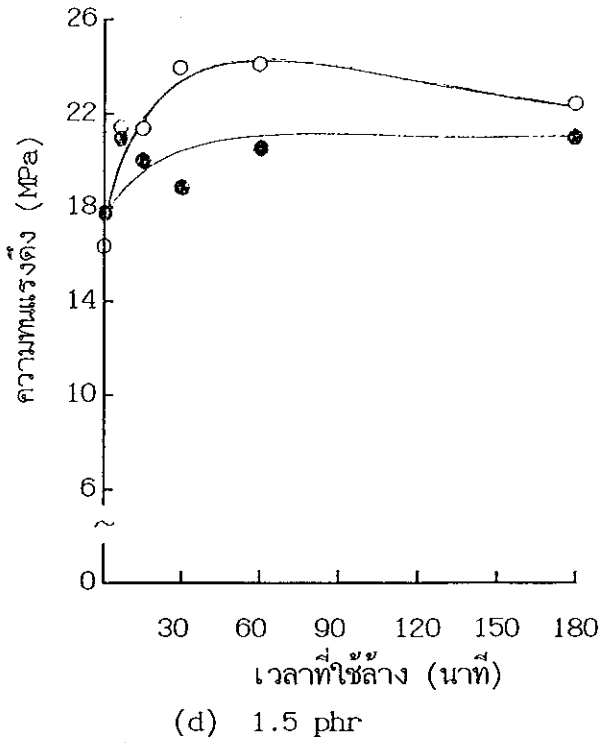
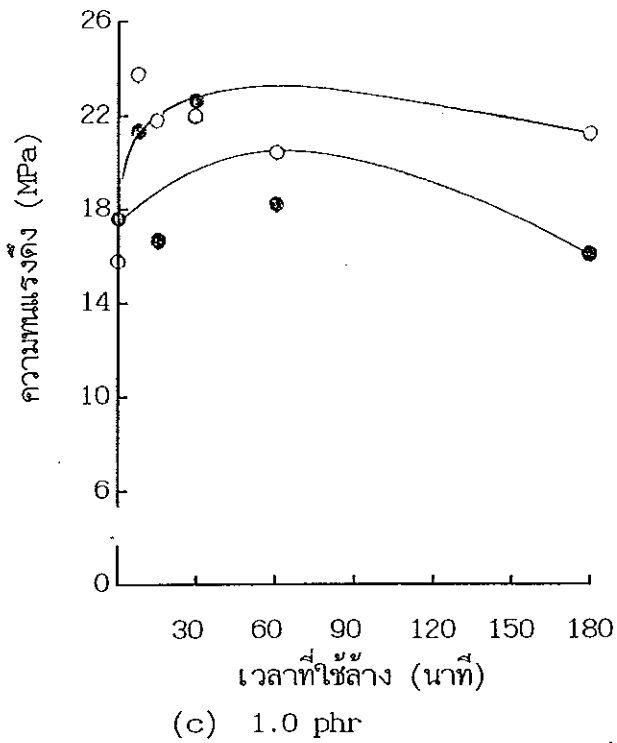
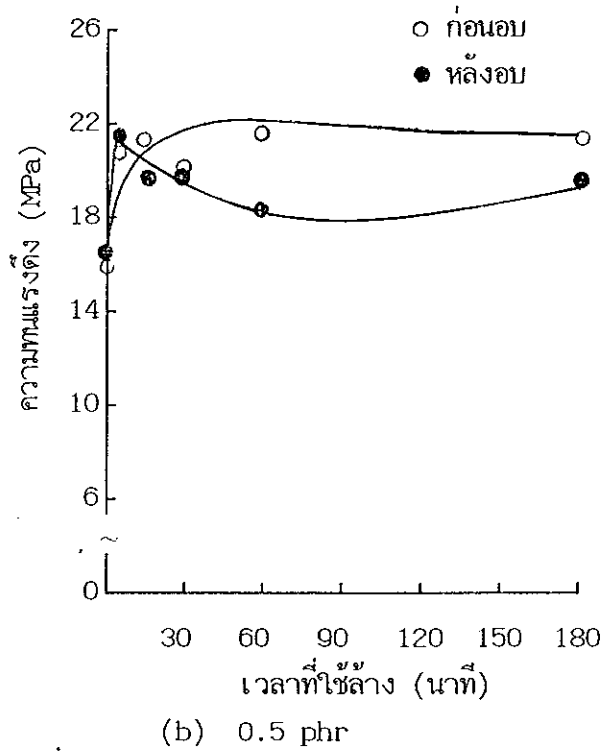
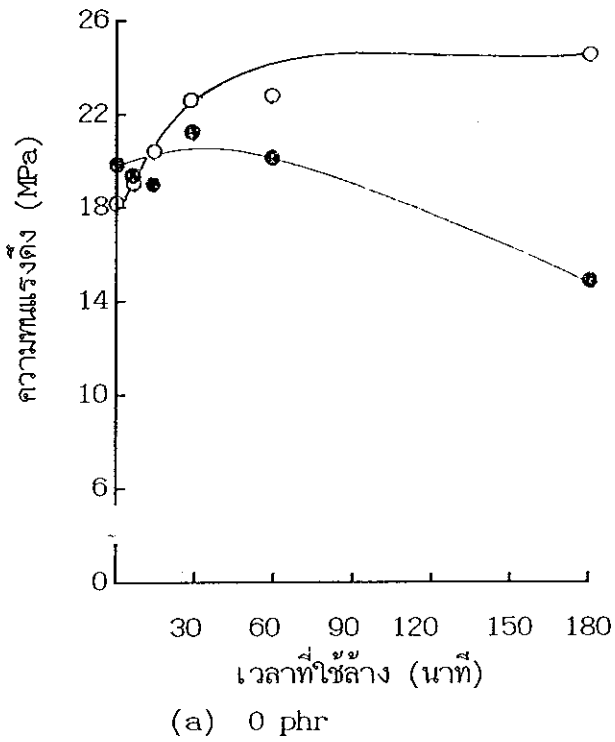
ภาพประกอบ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยางกับความทนแรงดึง เตรียมจาก น้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด นอนน็อก ดับลิวเอสแอล ความเข้มข้น ต่าง ๆ กัน

ตาราง 13 ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคมี เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วย น้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง นาที	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
0	0	0.49	0.48	1.08	1.09	18.03	19.73	1025	1154
	1	0.51	0.47	1.27	0.93	16.16	19.92	1008	1142
	3	0.49	0.45	1.19	0.93	18.11	17.73	999	1169
	5	0.53	0.51	1.23	1.16	19.00	19.71	1000	1142
	15	0.51	0.50	1.23	1.13	20.33	18.98	1027	1079
	30	0.60	0.51	1.85	1.11	22.55	21.14	997	1105
	60	0.66	0.53	2.50	1.23	22.84	20.07	966	1119
	180	0.71	0.60	2.90	1.55	24.50	14.97	936	1024
0.5	0	0.52	0.49	1.52	1.01	16.18	16.91	966	1085
	1	0.50	0.53	1.13	1.58	19.29	18.94	987	1009
	3	0.52	0.58	1.38	1.85	19.32	21.15	970	932
	5	0.54	0.56	1.77	1.71	20.87	21.93	965	1031
	15	0.56	0.57	1.58	1.89	20.71	19.75	960	972
	30	0.57	0.55	1.99	1.64	19.94	19.78	965	1004
	60	0.67	0.56	2.56	1.63	21.47	18.33	935	908
	180	0.62	0.63	1.83	1.87	20.76	19.65	938	990

ตาราง 13 ต่อ

ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ ชั่วโมง	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยึดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.0	0	0.48	0.49	1.07	1.16	15.94	17.65	1024	1049
	1	0.53	0.53	1.39	1.32	18.16	18.74	1030	1090
	3	0.49	0.51	1.15	1.50	18.75	19.53	1005	1051
	5	0.60	0.57	2.18	1.92	23.63	21.35	941	1022
	15	0.55	0.54	1.59	1.63	21.69	16.76	994	949
	30	0.59	0.60	1.82	1.76	21.95	22.88	965	1064
	60	0.62	0.57	2.23	1.79	20.59	18.14	979	937
	180	0.62	0.63	2.11	1.88	21.24	16.05	971	1024
1.5	0	0.50	0.50	1.11	1.51	16.61	17.98	978	1009
	1	0.46	0.48	1.06	1.24	19.96	18.60	1045	971
	3	0.51	0.53	1.41	1.50	19.72	19.87	982	1010
	5	0.55	0.58	1.41	1.94	21.55	20.88	1015	1011
	15	0.54	0.50	1.43	1.35	21.63	19.95	984	1045
	30	0.61	0.62	2.04	2.19	23.66	18.95	936	898
	60	0.64	0.59	2.43	1.88	24.07	20.55	962	1028
	180	0.60	0.56	1.91	1.47	22.41	20.52	966	1057



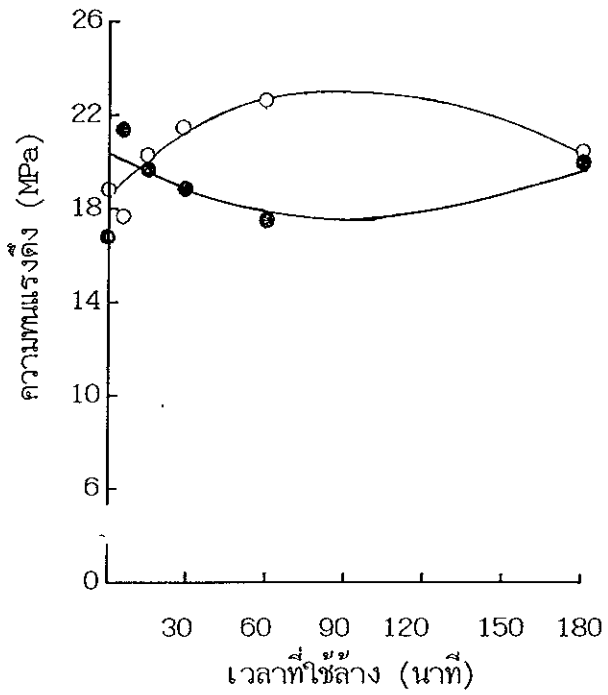
ภาพประกอบ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยางกับความทนแรงดึง เตรียมจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคบี ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ตาราง 14 ผลการทดสอบสมบัติของแผ่นฟิล์มที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี เข้มข้น 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เวลาต่าง ๆ กัน

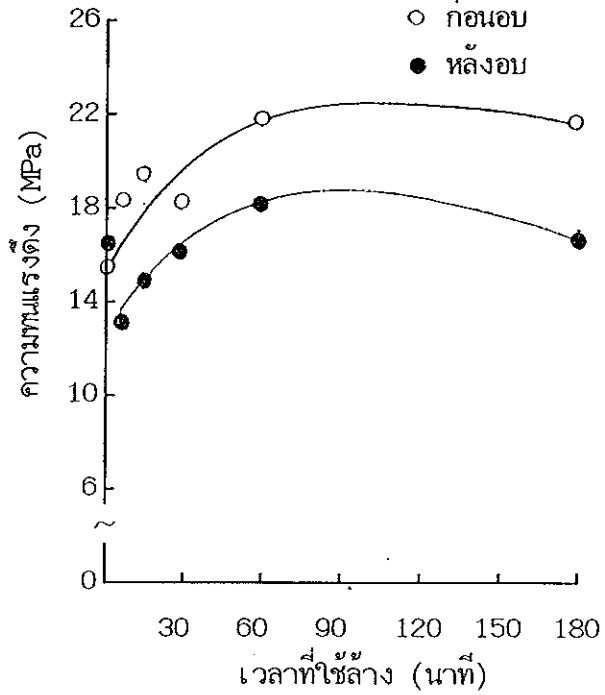
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง นาที	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
0	0	0.51	0.49	1.26	1.15	18.74	16.82	1051	1064
	1	0.50	0.50	1.33	1.10	19.21	17.78	1036	1039
	3	0.54	0.49	1.57	1.19	16.78	19.45	959	1176
	5	0.51	0.51	1.58	1.24	17.61	20.63	966	1096
	15	0.51	0.49	1.41	1.08	19.25	19.67	993	1028
	30	0.56	0.63	1.75	1.92	21.43	18.60	1020	973
	60	0.64	0.58	2.65	1.51	22.73	17.44	934	1085
	180	0.57	0.63	1.95	1.75	20.41	19.83	952	1087
0.5	0	0.49	0.49	1.11	1.12	15.52	16.47	1036	957
	1	0.49	0.49	1.41	1.30	15.16	15.20	976	1128
	3	0.55	0.52	1.64	1.31	18.14	16.48	984	1017
	5	0.47	0.48	0.94	0.99	18.27	13.20	1075	1000
	15	0.57	0.46	2.38	1.11	19.49	14.90	931	1021
	30	0.55	0.49	1.62	1.38	18.31	15.88	951	918
	60	0.64	0.54	1.76	1.19	21.96	18.26	1019	911
	180	0.74	0.52	2.08	1.19	21.77	16.54	987	994

ตาราง 14 ต่อ

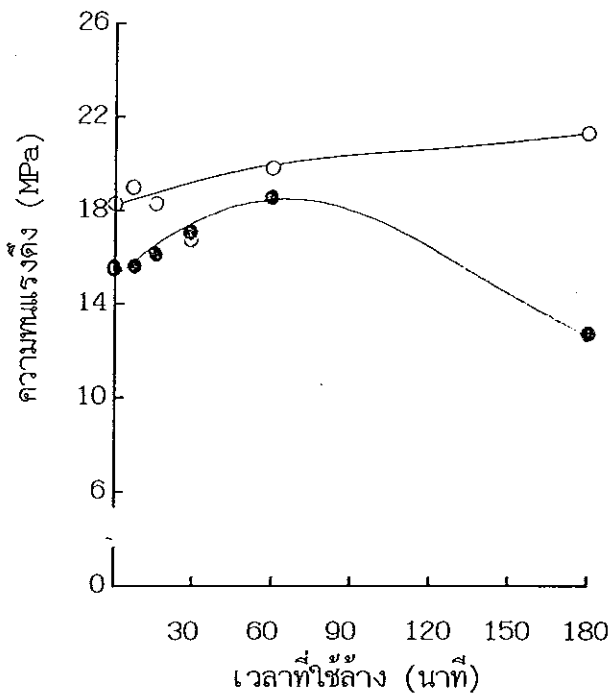
ความเข้มข้น (phr)	เวลาที่ใช้ล้าง นาที	โมดูลัส 300%		โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยึดเมื่อขาด (%)	
		ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1.0	0	0.53	0.51	1.46	1.29	18.44	16.82	1018	1053
	1	0.52	0.53	1.14	1.00	17.40	13.00	992	1000
	3	0.62	0.52	2.73	1.24	21.55	17.33	951	1030
	5	0.54	0.49	1.53	1.04	19.19	15.59	994	1057
	15	0.55	0.59	1.64	1.62	18.14	16.26	984	966
	30	0.51	0.46	1.70	1.23	17.41	17.91	961	1087
	60	0.61	0.64	2.34	1.76	19.77	18.52	957	975
	180	0.60	0.50	1.70	1.09	21.81	12.58	1017	951
1.5	0	0.55	0.57	1.83	2.11	16.32	15.48	946	1029
	1	0.49	0.53	1.25	1.51	16.40	16.41	1077	1035
	3	0.50	0.54	1.05	1.37	17.44	15.44	1046	1019
	5	0.55	0.64	1.42	1.94	19.41	20.00	1031	1012
	15	0.71	0.54	3.49	2.62	23.16	17.90	934	982
	30	0.56	0.49	1.87	1.23	18.23	16.17	988	868
	60	0.69	0.58	3.03	2.02	23.42	20.10	965	961
	180	0.73	0.62	2.70	1.80	21.10	13.58	945	911



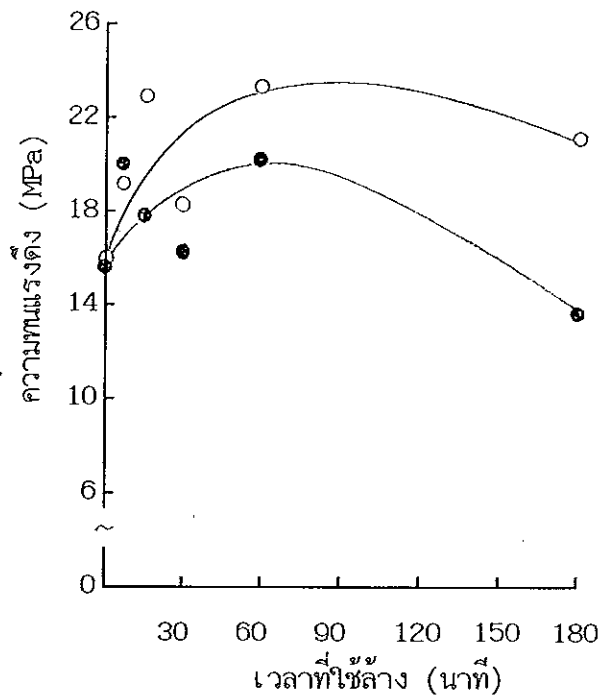
(a) 0 phr



(b) 0.5 phr



(c) 1.0 phr



(d) 1.5 phr

ภาพประกอบ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์มยางกับความทนแรงดึง เตรียมจาก น้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ด้วยการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี ความ เข้มข้นต่าง ๆ กัน

ตาราง 15 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันความเข้มข้น 0.5 phr ลงในน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ที่มีอายุการเก็บ 45 วัน ทำการล้างแผ่นฟิล์มยางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

น้ำยางฉายรังสี	โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)		การคืนตัวหลังจากถูกยืด (%)
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	
ไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน	3.63	1.63	27.24	11.93	950	950	8.9
แอนต็อกซิแดนท์ 2246	2.57	1.99	24.58	16.90	950	950	9.1
เพอร์มาแน็กซ์ ดับบลิวเอสพี	2.71	1.95	24.74	16.18	975	950	7.8
วิงส์เต แอล	2.77	1.70	27.55	13.39	975	1000	9.1
นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี	2.77	1.72	24.95	19.59	975	1000	9.6
นอนน็อก ดับบลิวเอสแอล	2.66	1.88	24.34	16.23	975	950	7.5
วัลคาไนซ์ เคบ	3.50	2.04	25.06	16.04	925	925	8.5
วัลคาไนซ์ เอ็มบีสองทับเอ็มจี	2.93	1.54	26.43	13.04	975	990	8.3

* เลือกใช้ในการขึ้นรูปเป็นถุงมือยางทางการแพทย์

ตาราง 16 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันที่เหมาะสมที่สุด ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เงื่อนไข	โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)		ความหนาแน่น โครสลิงค์ $\times 10^{20}$	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ		
ไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน	1.83	1.23	26.72	14.10	1091	1123	5.06	
วัลคาน็อก เคบี (phr)	0.1	1.76	1.42	26.71	14.01	1083	1077	5.03
	0.3	2.20	1.25	27.03	10.01	1013	849	5.05
	0.5	1.53	1.61	24.76	14.88	1028	952	5.02
นอนน็อก ดับลิว เอสแอล (phr)	0.1	1.72	1.29	26.58	9.48	1042	920	5.04
	0.3	1.80	1.70	24.90	13.07	1085	1048	5.06
	0.5	2.03	1.43	26.66	19.47	1067	1027	5.05

ตาราง 17 สมบัติทางกายภาพของดงมียางทางการแพทย์ที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันที่เหมาะสมที่สุด เจ็มซัน 0.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำอุ่น 50 °C เป็นเวลา 3 นาที

เงื่อนไข	ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)		ความหนาแน่นครอสลิงค์ $\times 10^{20}$	การคืนตัวของยางหลังจาก ถูกยืดที่ 300%
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ		
ไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน	21.67	เหลว	990	เหลว	5.05	8.17
วัลคาน็อก เคบี	21.29	20.22	950	1025	5.07	8.17
นอนน็อก ดับลิวเอสแอล	19.52	20.19	965	1050	5.04	8.50

ตาราง 18 สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคมี เข้มข้น 0.5 phr ทำการล้างด้วยน้ำอุ่น 50 °C เป็นเวลาด่าง ๆ กัน

เวลาที่ใช้ล้าง (นาที)	โมดูลัส 600%		ความทนแรงดึง (MPa)		ความยาวยืดเมื่อขาด (%)		การคืนตัวของยางหลังจาก ถูกยืดที่ 300%
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	
0	2.23	1.43	20.01	17.85	975	1000	9.67
1	2.16	1.46	22.27	17.77	1000	1050	8.33
3	1.92	1.39	21.18	17.53	1000	1050	8.77
5	2.10	1.32	20.52	17.27	975	1050	8.66
7	2.36	1.55	20.43	17.04	975	1040	8.50
10	2.22	1.43	21.51	17.76	1000	1050	8.17
15	2.22	1.62	21.25	18.05	975	1000	8.17

บทที่ 4

บทวิจารณ์

1. ผลจากการทดสอบสมบัติน้ำยางข้นก่อนและหลังการฉายรังสี

จากการทดลองตาราง 4 ก่อนทำการฉายรังสีได้ทำการเจือจางน้ำยางด้วยสารละลาย 1% NH_3 เพื่อให้มีความเข้มข้นที่พอเหมาะ ปริมาณ DRC ที่ทำการทดสอบจากบริษัทผลิตน้ำยางข้น 3 แห่ง มีค่าระหว่าง 50 - 52% ปริมาณ NH_3 และ pH ก่อนและหลังการฉายรังสีไม่แสดงความแตกต่างอย่างเด่นชัด ค่า VFA และ KOH เพิ่มขึ้นหลังจากการฉายรังสี ส่วนค่า MSI เพิ่มขึ้นหลังจากการฉายรังสีประมาณ 2 เท่า แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน และค่าความหนืดหลังจากการเจือจางด้วยแอมโมเนียมีค่าลดลง แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนเช่นกัน

2. ผลจากการเตรียมน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

2.1 ผลการทดลองใช้ *n*-BA 5 phr เป็นเซนซิไทเซอร์ตามตาราง 5 และภาพประกอบ 3 ปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติมีค่าจาก 0 - 15 kGy สมบัติทางกายภาพของฟิล์มยางคือ ค่าความทนแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณรังสีที่ 12.5 kGy มีค่าเท่ากับ 29.12 MPa เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีถึง 15 kGy ค่าความทนแรงดึงสูงสุดที่ได้ลดลง

2.2 ผลการทดลองใช้ *n*-BA ร่วมกับ HPO ในสัดส่วน 5 : 0.1 phr ตามตาราง 5 และภาพประกอบ 3 ปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติประมาณ 8 kGy ที่ให้ค่าความทนแรงดึงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 25 MPa ซึ่งใช้ปริมาณรังสีน้อยกว่าการใช้ *n*-BA เพียงอย่างเดียว ถือว่าเป็นปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ *n*-BA ร่วมกับ HPO ที่ทำหน้าที่เป็นเซนซิไทเซอร์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Parinya, A., 1990 : 305

3. ผลการหาเงื่อนไขการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสี

3.1 การศึกษาค่า pH และความหนืดของน้ำยางหลังจากการฉายรังสี และทำการเก็บอายุน้ำยางเป็นเวลาจาก 0 - 84 วัน ดังแสดงในตาราง 6 และภาพประกอบ 4 พบว่า ความหนืดของน้ำยางในช่วง 0 - 6 วัน มีค่า ประมาณ 61 cps หลังจากทิ้งน้ำยางตั้งแต่ 30 วันขึ้นไป ค่าความหนืดลดลงเหลือประมาณ 30 cps แสดงถึงเสถียรภาพของน้ำยางหลังจากเก็บอายุของน้ำยางไว้ได้นาน ส่วนค่า pH นั้นไม่เปลี่ยนแปลง

3.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง หลังจากเก็บอายุน้ำยางในช่วง 0-85 วัน ตามตาราง 7 และภาพประกอบ 5 พบว่า ค่า โมดูลัส 300% และ 600% ลดลงเมื่อเก็บอายุน้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสีนานขึ้น ส่วนค่าความทนแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก คืออยู่ในช่วง 20 - 22 MPa และความยาวยืดเมื่อขาดให้พลาในลักษณะเช่นเดียวกัน

คือค่าที่ได้ไม่แสดงความแตกต่างกัน

3.3 ตามผลการทดลองในตาราง 8-14 และภาพประกอบ 6-12 จากการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิดต่าง ๆ ในปริมาณ 0-1.5 phr ค่าโมดูลัส 300% และ 600% มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่ระยะเวลา 0-60 นาที ให้ผลการวิจัยสอดคล้องกับ วาเฮป (Wahab, 1990:216) แสดงว่าการล้างแผ่นฟิล์มยางเป็นการกำจัดสารพวก ไฮโดรฟลิค ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ที่อยู่ในน้ำยางออกไป เป็นผลทำให้ความทนแรงดึงของยางเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

แผ่นฟิล์มยางที่เติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิดแอนติออกซิแดนซ์ 2246 เข้มข้น 1.0 และ 1.5 phr ใช้เวลาการล้างด้วยน้ำกลั่นที่เหมาะสมที่สุดอยู่ในระยะเวลา 60 นาที ให้ค่าความทนแรงดึงก่อนและหลังการอบสูงกว่าแผ่นฟิล์มยางที่ไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน และผลที่ได้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานดงมีอย่าง (ASTM D3578)

ผลการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด เพอร์มานันท์ ดับลิวเอสซี เข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 phr เมื่อใช้ระยะเวลาล้างแผ่นฟิล์มยางนานขึ้น ทำให้ความทนแรงดึงสูงขึ้น จากการอบแผ่นฟิล์มยางที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 22 ชั่วโมง ความทนแรงดึงจากการบ่มเร่งที่ได้สูงกว่าก่อนอบ แสดงว่าสารป้องกันออกซิเดชันชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการทนความร้อนได้ดี

จากการเติม วิงสเต แอล เข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5 phr ใช้เวลาการล้างแผ่นฟิล์มยาง 60, 5-30 และ 5-15 นาที ตามลำดับ ที่ทำให้ความทนแรงดึงก่อนและหลังการอบอยู่ในค่าที่เหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน เวลาการล้างที่เหมาะสมอยู่ที่ 60 นาทีขึ้นไป ดังนั้นการเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิดนี้ เมื่อใช้ความเข้มข้นมากขึ้น เวลาในการล้างลดลง

การเติมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด นอนแผล็กซ์ ทีเอ็นพี ให้ความทนแรงดึงมีค่าต่ำกว่าแผ่นฟิล์มยางที่ไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ผลที่ได้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานดงมีอย่าง

แผ่นฟิล์มยางที่เติม นอนน็อก ดับลิวเอสแอล ในระดับความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 phr เวลาการล้างที่ดีที่สุดในช่วง 15-60 นาที ได้ความทนแรงดึงก่อนและหลังอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานดงมีอย่าง แต่เมื่อใช้เวลาล้างนานขึ้น ความทนแรงดึงที่ได้ลดลง ส่วนที่ระดับ 0.5 phr ต้องใช้เวลาการล้างอยู่ในช่วง 30-60 นาที จึงจะทำให้ความทนแรงดึงที่เหมาะสม

ความทนแรงดึงของฟิล์มยางจากการเติม วัลคาน็อก เคบี ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 phr ให้ค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานดงมีอย่างเมื่อทำการล้าง ที่ระยะเวลา 60 นาที ส่วนความเข้มข้น 1.0 และ 1.5 phr จะใช้เวลาการล้างน้อยลง จึงทำให้ความทนแรงดึงอยู่ในค่าที่เหมาะสม

ผลการเติม วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี เข้มข้น 0.5 phr ความทนแรงดึงที่เหมาะสมใช้เวลาล้าง 60-180 นาที เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นคือ 1.0 และ 1.5 phr ใช้เวลาการล้างที่เหมาะสมคือ 3 และ 15 นาที ตามลำดับ แสดงว่าการเพิ่มความ

เข้มข้นของสารป้องกันออกซิเดชัน ใช้เวลาการล้างน้อยลง จึงทำให้ความทนแรงดึงอยู่ในค่าที่เหมาะสม

สารป้องกันออกซิเดชันชนิด แอนต้ออกซิแดนท์ 2246 และ วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอมจี ให้ประสิทธิภาพเป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่ดี แต่แผ่นฟิล์มยางหลังจากโดนความร้อนหรือทิ้งไว้เป็นเวลานานสีของแผ่นฟิล์มยางจะเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ แอนต้ออกซิแดนท์ 2246 มีสีชมพู วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอมจี และ เพอร์มานันท์ระดับลิวเอสพี ให้สีชาวน้ำ ส่วนสารป้องกันออกซิเดชันชนิด วัลคาน็อก เคบี และ นอนน็อกระดับลิวเอสแอล จะไม่เปลี่ยนสีของแผ่นฟิล์มยาง จึงเลือกใช้ในการขึ้นรูปเป็นถุงมียางทางการแพทย์ต่อไป

3.4 ผลการทดลองตาราง 15 จากการใช้สารป้องกันออกซิเดชันชนิดต่างๆ กัน ในระดับความเข้มข้น 0.5 phr ผลการล้างแผ่นฟิล์มยางของน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีอูยา 45 วัน ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ปรากฏว่าสมบัติความทนแรงดึงหลังบ่มเร่งของแผ่นฟิล์มที่ไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน มีค่า 11.93 MPa ซึ่งมีค่าต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน แสดงว่าการเติมสารป้องกันออกซิเดชันเป็นการช่วยให้สมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์ม เช่น โมดูลัส ความทนแรงดึง ดัชนีส่วนครีการคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด มีค่าไม่แสดงความแตกต่างกัน

4. ผลการหาเงื่อนไขการขึ้นรูปถุงมียางทางการแพทย์

4.1 ตาราง 16 เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยาง ในการเลือกใช้สารป้องกันออกซิเดชันที่เหมาะสม พบว่าค่าความทนแรงดึงเมื่อใช้ วัลคาน็อก เคบี และ นอนน็อก ระดับลิวเอสแอล ในระดับความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5 phr มีค่าที่ไม่แสดงความแตกต่างอย่างเด่นชัด ส่วนค่าความทนแรงดึงหลังบ่มเร่งหลังจากล้างด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อใช้นอนน็อก ระดับลิวเอสแอล 0.5 phr เท่านั้น ที่ให้ค่าความทนแรงดึงหลังบ่มเร่งเกินมาตรฐาน คือเท่ากับ 19.47 MPa ส่วนความหนาแน่นครอสลิงค์ของแผ่นฟิล์มยางชนิดที่เติมและไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน มีค่าที่ใกล้เคียงกันแสดงถึงการครอสลิงค์ของโมเลกุลยาง ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับการเติมสารป้องกันออกซิเดชัน

4.2 ตาราง 17 จากการขึ้นรูปเป็นถุงมียางทางการแพทย์ และใช้เงื่อนไขการล้างด้วยน้ำอุ่น 50 °C เป็นเวลา 3 นาที (เงื่อนไขใกล้เคียงกับการผลิตถุงมียางในระดับอุตสาหกรรม) พบว่าถุงมียางที่ไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ถุงมียางเหลว แต่เมื่อเติม วัลคาน็อก เคบี และ นอนน็อก ระดับลิวเอสแอล ให้ค่าความทนแรงดึงหลังบ่มเร่งมีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณ 20 MPa จากการศึกษาการคืนตัวของยางหลังจากถูกยืด และความหนาแน่นครอสลิงค์ ของถุงมียางชนิดที่เติมและไม่เติมสารป้องกันออกซิเดชัน ไม่แสดงความแตกต่างเช่นกัน

4.3 ตาราง 18 เพื่อเป็นการลดระยะเวลาการล้างจึงศึกษาสมบัติแผ่นฟิล์มยางจากการเติม วัลคาน็อก เคบี ด้วยการล้างด้วยน้ำอุ่น 50 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน พบ

ว่าการล้างนานกว่า 1 นาที ขึ้นไปให้สมบัติความทนแรงดึงที่ดี และการคืนตัวของยางหลัง
จากถักยัด มีค่าน้อยกว่าไม่ล้างน้ำเลยแสดงถึงเสถียรภาพของแผ่นฟิล์มยางที่ดีกว่า

บทที่ 5

บทสรุป

1. การเตรียมน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีโดยใช้ *n*-BA 5 phr เป็น เซนซิไทเซอร์ และมี KOH เป็นสารเพิ่มความเสถียร ใช้ปริมาณรังสีในการวัลคาไนซ์ 12.5 kGy ได้ค่าความทนแรงดึง 29.12 MPa และเมื่อใช้ *n*-BA ร่วมกับ HPO 5 : 0.1 phr โดยมี KOH เป็นสารเพิ่มความเสถียรเช่นกัน ใช้ปริมาณรังสีในการวัลคาไนซ์ต่ำลงคือ 8 kGy โดยค่าความทนแรงดึงสูงสุด 25.02 MPa ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับใช้ในระดับอุตสาหกรรมที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้ ทั้งนี้กลไกของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ยังไม่เป็นที่เข้าใจนัก แต่อาจเนื่องจากรังสีช่วยให้ HPO เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลได้เร็วกว่าการใช้ *n*-BA เพียงอย่างเดียว และทำให้โมเลกุลยางธรรมชาติเกิดการครอสลิงค์ได้เร็วขึ้นเช่นกัน จึงทำให้ปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ต่ำลง

ผลจากการเก็บอายุน้ำยางหลังจากวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแล้ว น้ำยางมีความหนืดลดลง pH ค่อนข้างคงที่ ความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในช่วง 0 - 45 วัน แต่หลังจาก 56 วัน หรือประมาณ 2 เดือนขึ้นไป ค่าความทนแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น สรปได้ค่อนข้างแน่ชัดว่า น้ำยางมีเสถียรภาพเพียงพอ ดังนั้นน้ำยางที่นำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์แบบจุ่มไม่ควรใช้ในทันที เนื่องจากผลการทดลองในเรื่องอายุการเก็บทำให้ความหนืดของน้ำยางลดลง หรือน้ำยางที่ได้จากการฉายรังสีด้วยรังสีวสันควรเก็บน้ำยางไว้อย่างน้อย 6 วัน

จากชนิดของสารป้องกันออกซิเดชันชนิด แอนติออกซิแดนท์ 2246 วัลคาไนซ์ เคบี วัลคาไนซ์ เอ็มปัสสองทับเอ็มจี นอนน็อก ดับลิวเอสแอล เพอร์มาแน็กซ์ ดับลิวเอสที วิงสเต แอล และ นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นที ทีเติมลงในน้ำยางหลังจากการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแล้ว สรปได้ว่าสารป้องกันออกซิเดชันดังกล่าว ทำให้ค่าความทนแรงดึงหลังบ่มเร่งสูงขึ้น และค่าความทนแรงดึงขึ้นกับชนิด, ความเข้มข้นของสารป้องกันออกซิเดชัน และเวลาที่ใช้ล้างแผ่นฟิล์ม

2. การขึ้นรูป เป็นผลิตภัณฑ์แบบจุ่มจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

จากการเลือกสารป้องกันออกซิเดชันที่เหมาะสมที่สุดคือ วัลคาไนซ์ เคบี มาทดลองขึ้นรูปเป็นถุงมือทางการแพทย์มีค่าความทนแรงดึง และความยาวยืดเมื่อขาดได้ตามมาตรฐาน ASIM D3578 ถุงมือที่ได้มีลักษณะอ่อนนุ่มน่าสัมผัส มีสีเหลืองอ่อนคล้ายสีธรรมชาติของยาง ดังนั้นน้ำยางจากการทำวิจัยในครั้งนี้อาจนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้เช่น ลูกโป่ง จุกหลอกสำหรับเด็ก ถุงยางอนามัย ท่อสำหรับสวนเข้าไปในอวัยวะภายในร่างกาย เป็นต้น เนื่องจากปราศจากสารตกค้างไนโตรซามีน เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน และ *n*-BA ที่เป็นโมโนฟังก์ชันนั้นจะถูกกำจัดออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่ายโดยใช้

ความร้อนช่วย ในขั้นตอนการทำให้ยางคงรูป เพราะมีความดันไอสูงพอ

แผ่นฟิล์มยางที่เติมวัลคาน็อก เคบ ทำการล้างน้ำอุณหภูมิ 50 °C เพื่อเป็นการ
ประหยัดเวลาในระหว่างขั้นตอนการผลิต เมื่อเปรียบเทียบกับ การล้างน้ำอุณหภูมิห้องนาน 1
ชั่วโมง สามารถสรุปได้ว่าถ้ามืออย่างผลิตขึ้นได้เน่ ควรล้างด้วยน้ำอุ่นไม่น้อยกว่า 1 นาที
เพื่อให้ได้สมบัติความทนแรงดึงสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการชะล้างส่วนที่ไม่ใช่ออกไป

บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร, สถาบันวิจัยยาง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 1993. สถิติยางประเทศไทย. กรุงเทพฯ ฯ.
- จินตารมย์ ชวเจริญพันธ์. 2535. "เครื่องเร่งลำอิเล็กตรอน", ใน ข่าวพลส. 2 (มี.ค - เม.ษ 2535) 1-3.
- ชยากริต ศิริอุปถัมภ์. 2532. รายงานวิจัยและพัฒนาเรื่องการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติวัลตานิซต์ด้วยรังสี. ระยะที่ 2 กิ่งห้องทดลอง. กรุงเทพฯ ฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มานิตย์ ช้อนสุข. 2534. "เคมีรังสี", ใน ผลงานนิเวศลิษฐ์และการใช้ประโยชน์. 4.5-4.6. สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน.
- วรารณ ขจรไชยกุล. 2525. น้ำยาง. เอกสารทางวิชาการเลขที่ 109. ศูนย์วิจัยยางหาดใหญ่, 1.
- วันชัย ธรรมวานิช, ชาญชัย อัครวินิจกุลชัย และ สมพร จงศ์คำ. 2535. "การใช้ประโยชน์จากต้นกำเนิดนิวตรอนแบบไอโซโทป", ใน ข่าวพลส. 5 (ก.ย-ต.ค 2535), 1-3.
- ศัพท์วิทยาศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. 2529. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว กรุงเทพฯ ฯ.
- สัมพันธ์ วงศ์นาวา. 2535. การเรืองแสงรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงานเบื้องต้น. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา.
- ASTM D412-87. 1982. Standard Test methods for Rubber Properties in Tension.
- ASTM D573-88. 1982. Standard Test Method for Rubber Deterioration in an Air Oven.
- ASTM D3578-77. 1982. Standard Specification for Rubber Examination

Gloves.

- Brydson, J.A. 1988. Rubber Chemistry. Applied Science Publisher.
Ltd. London. 263.
- Chapiro, A. 1969. "Radiation Induced Reactions" In Encyclopedia
of Polymer Science and Technology, 11, 702. Norbert, M.B.,
U.S.A. John Wiley & Sons, Inc.
- Chapiro, Adolple. 1987. Historical Outline of Radiation Effects,
In Polymers for High Technology Electronics and Photonics, 65.
Bowden, M.J., Turner, S.R. Washington, DC, U.S.A.
- Chyagrit, S., Makuuchi, K. and Ishigaki, I. 1990. "Radiation
Vulcanisation Mechanism of Liquid Isoprene with 2-
Ethylhexyl Acrylate", In Proceedings of the International
Symposium on Radiation Vucanisation of Natural Rubber Latex,
36-349. S. MACHI. s.l. : JAERI.
- Gorton, A.D.T., Mc Sweeney, G.P. and Tidd, B.K. 1987. "Formulating
Rubber to Meet Regulatory Nitrosamine Limits". NR Tecnol.
18(1), 1.
- ICRP Publication 60. Annuals of the ICRP, 1990. Recommendations
of the International Comission on Radiological Protection.
Pergamon Press. Oxford. 1991.
- ISO 2004-1979(E). Rubber Latex, Natural, Centrifuged or Creamed,
Ammonia-Preserved Types-Specification.
- James DD' Ianni. 1972. Stabilization of Synthetic Rubbers and
Latices. Annual Meeting of the International Institue of
Synthetic Rubber Produces at the 13th, June 19-22. Munich,
Germany.

- Laizer, et al. 1969. Proc. Symp. Large Radiation Sources for Industrial Processes, Munich. IAEA. Vienna.
- Makuuchi, K. 1991. "Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex", In International Atomic Energy Agency Regional Training Course on RVNRL, 1-11.
- Makuuchi, K. and Devendra, R. 1986. IAEA Expert Advisory Group Meeting on RVNRL. Takasaki, Japan.
- Makuuchi, K. and Hagiwara, M. 1984. "Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex with Polyfunctional Monomer II", Radiat. phys. Chem. 24(2), 2031.
- Makuuchi, K. and Markovic, V. 1991. "Radiation Processing of Natural Rubber Latex", IAEA Bulletin. 25.
- Ma'zam MD Said, Pendel, T.D. and Blackley, D.C. 1990. "Peroxide Pre-vulcanisation of Natural Rubber Latex", J. nat. Rubb. Res. 5(1), 27.
- Minoura, Y. and Asoa, M. 1961. "Studies on the Gamma Ray Irradiation of Natural Rubber Latex", J. Appl. Polm. Sci. 5, 401.
- Nakamura, A., Isaraski, Y., Tsuchiya, T. and Kaniwa. M.A. 1989. Radiation Vulcanization NRL is not Cytotoxic, paper presented at an International Symposium on Radiation Vulcanization of NRL, Tokyo and Takasaki, July 1989.
- Parinya, A. and Makuuchi, K. 1990. "Selection of Hydroperoxides as Co-sensitizer for n-Butyl Acrylate". In Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex, 305-318. S. MACHI. s.l. : JAERI.

- Razzak, M.T. 1991. RTC on Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex. CAIR - BATAN, Jakarta - Indonesia. June 26 - July 10, 1991.
- Sabarinah, Sundardi, F. and Kuncoro. 1990. "Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex Using a Combination of Monofunctional Acrylic Monomer and CCl_4 ", J. Radiat. Phys. Chem. 36(6), 815-818.
- Sumarno, K. and Sundardi, F. 1977. "Studies on the Preparation and Uses of Cobalt-60 Gamma-Ray Irradiation Natural Latex", J. Appl. Polm. Sci. 21, 3077.
- Sumbogo, Sundardi and Utama. 1990. "Effect of Antioxidant on the Aging Property of Rubber Film Prepared from Radiation Vulcanised Natural Rubber Latex", In Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex, 234. S. MACHI. s.l. : JAERI.
- Thomas, E.V. 1989. "Effect of Non Rubber Solids and Stabilising Agents on Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex", In Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex, 178. S. MACHI. s.l.: JAERI.
- Wahab, S.B., Sulaiman, S.B., Makuuchi, K. and Devendra, R. 1990. "Stabilization of Radiation Vulcanized Natural Rubber Latex Film", In Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex. 245. S. MACHI. s.l. : JAERI.
- Zhonghai, C. and Makuuchi, K. 1990. "n-Butyl Acrylate as a Sensitizer for Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex", In Proceedings of the International Symposium on Radiation Vulcanisation of Natural Rubber Latex. 326. S. MACHI. s.l. : JAERI.

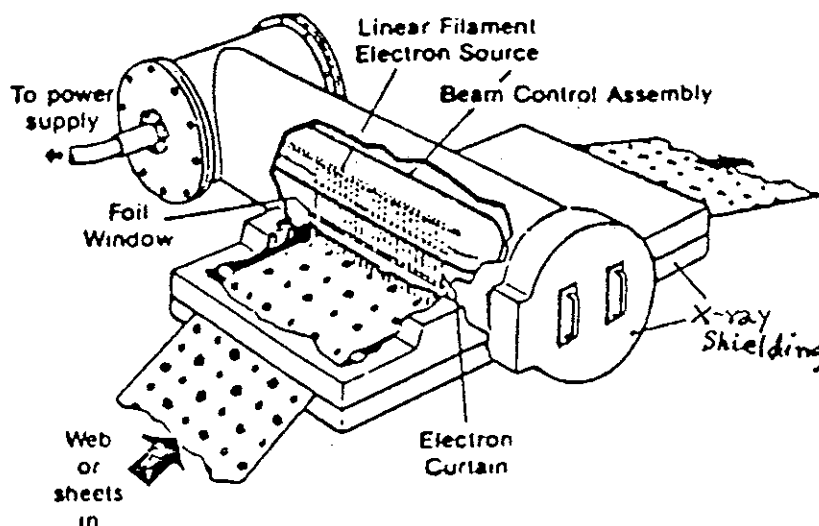
ภาคผนวก ก

เครื่อง เร่งลำอิเล็กตรอน

เครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนแบบที่นิยมใช้ในงานวิจัยและพัฒนา ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมี 2 แบบ คือแบบกระแสตรง เรียกว่า DC-accelerator และแบบแนวตรง เรียกว่า linear accelerator หรือเรียกสั้น ๆ ว่า LINAC ทั้งสองแบบมีความต่างกันตรงพลังงานของลำอิเล็กตรอนที่ผลิตได้

1. แบบกระแสตรง

ถูกออกแบบให้ผลิตลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานกลางและต่ำระหว่าง 0.1-5 MeV สำหรับ DC-accelerator ที่ให้พลังงานต่ำระหว่าง 0.1-0.5 MeV จะประกอบด้วยเครื่องกำบังรังสีในตัว (selfshielded) เนื่องจากรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นขณะเดินเครื่องมีพลังงานต่ำทำให้เครื่องมีขนาดเล็ก สามารถติดตั้งได้สะดวกทุกหนทุกแห่งในโรงงาน บริเวณที่ส่งลำแสงจะถูกออกแบบเป็น 2 แบบ เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน ได้แก่แบบม่านลำแสง (curtain type) ดังแสดงในภาพประกอบ 13



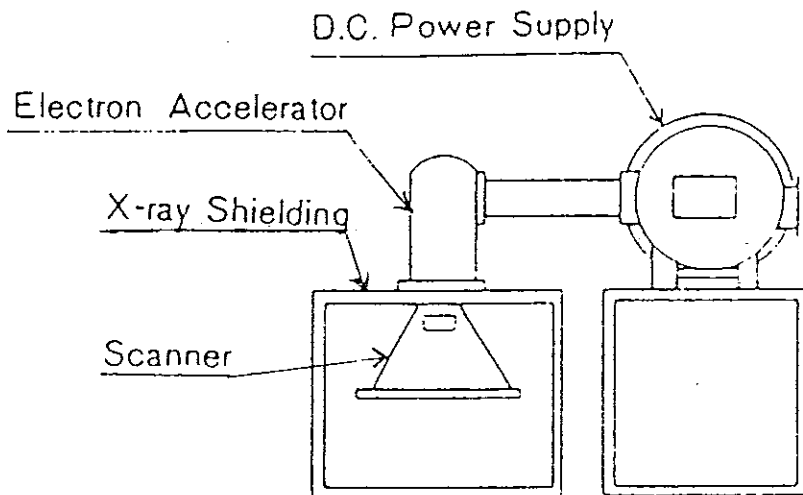
ภาพประกอบ 13 เครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนแบบม่านลำแสง

ที่มา : จินตารมย์ ชวเจริญพันธ์. 2535:2.

เครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนระดับพลังงานต่ำนี้ เหมาะสำหรับใช้งานที่ผิวของวัสดุ เนื่องจากอำนาจทะลุทะลวงต่ำมาก เพียงไม่เกิน 3 mm. เท่านั้น ตัวอย่างเช่นการอบเคลือบผิววัสดุและการพิมพ์ เป็นต้น

แบบกระแสตรงที่ให้พลังงานปานกลางระหว่าง 0.5-5 MeV ส่วนใหญ่จะเป็นแบบกวาด ดังแสดงในภาพประกอบ 14 ตัวเครื่องมีขนาดใหญ่ขึ้น และต้องมีห้องกำบังรังสีซึ่งผนังทำด้วยคอนกรีตหนา เนื่องจากขณะเดินเครื่องจะมีลำอิเล็กตรอนพลังงานสูงบางส่วน ไป

ตกกระทบโลหะหนักที่อยู่ในบริเวณห้องฉายรังสี ทำให้เกิดรังสีเอกซ์ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เครื่องระดับพลังงานปานกลางนี้เหมาะสำหรับใช้งานปรับปรุงคุณภาพวัสดุ เช่นการทำครอสลิงค์ของพลาสติก ฉนวนหุ้มสายไฟ การวัลคาไนซ์ หรือการกราฟฟของน้ำยาง เป็นต้น



ภาพประกอบ 14 เครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนแบบกวาด

ที่มา : จินตารมย์ ชวเจริญพันธ์. 2535:2.

2. แบบแนวตรง

เป็นเครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนที่ให้อิเล็กตรอนพลังงานสูงในระดับ 5-10 MeV สามารถใช้ได้กับงานผลิตเวชภัณฑ์ปลอดเชื้อที่ต้องใช้อำนาจทะลวงสูง และงานวิจัยนิวเคลียร์ฟิสิกส์ เช่น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของอัญมณี เป็นต้น แบบแนวตรงนี้ไม่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เพราะค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากค่าใช้จ่ายหลักของเครื่องเร่งลำอิเล็กตรอนขึ้นกับพลังงานของลำอิเล็กตรอนที่เครื่องผลิตได้ ถ้าเครื่องผลิตอิเล็กตรอนพลังงานสูงราคาก็สูงตาม

ภาคผนวก ข

ชนิดของสารป้องกันออกซิเดชันที่ใช้ในการทำวิจัย

1. แอนต้ออกซิแดนท์ 2246

เป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในกลุ่ม ฟีนอลอัลดีไฮด์ คอนเดนแซท (phenol-aldehyde condensate) สารป้องกันออกซิเดชันชนิดนี้มีลักษณะเป็นผงสีขาว จนถึงครีมและเทา น้ำหนักโมเลกุล 340.51 จุดหลอมเหลว 120 °C ความถ่วงจำเพาะ 1.08 มีความทนทานต่อความร้อน ทนทานต่อการหักงอ ป้องกันการออกซิไดซ์ ไม่เปลี่ยนสีของยาง แต่ถ้ายางเป็นสีขาวแล้วการนำยางไปถูกแสงแดดนาน ๆ จะทำให้ยางเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูได้

2. เพอร์มาเน็กซ์ ดับลิวเอสพี

อยู่ในกลุ่มเช่นเดียวกับสารป้องกันออกซิเดชันชนิด แอนต้ออกซิแดนท์ 2246 มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ความถ่วงจำเพาะ 1.77 จุดหลอมเหลว 130 °C ไม่ละลายในน้ำ ละลายได้ในแอลกอฮอล์ คลอโรฟอร์ม และปิโตร (petro)

3. วิงสเต แอล

เป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในกลุ่ม พอลิเมอร์ริค ฮินเดอร์ส ฟีนอล (polymeric hindered phenol) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ความถ่วงจำเพาะ 1.10 เปรอร์เซ็นต์การระเหยที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 30 นาที เท่ากับ 3 ปริมาณการใช้ 0.5-2.0 phr

4. นอนแฟล็กซ์ ทีเอ็นพี

เป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในรูป ฟอสไฟต์ (phosphite) มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีค่อนข้างเหลือง ความหนืดที่ 25 °C เท่ากับ 10,000 cps

5. นอนน็อก ดับลิวเอสแอล

เป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในกลุ่ม ซับสติติว ฟีนอล (substitued phenol) มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดที่ไม่มีสี ความถ่วงจำเพาะ 1.0 ไม่ละลายน้ำ ละลายได้ในเบนซีน คลอโรฟอร์ม และแอลกอฮอล์ ความสามารถในการละลายได้ในยางมีมากกว่า 2%

6. วัลคาน็อก เคบี

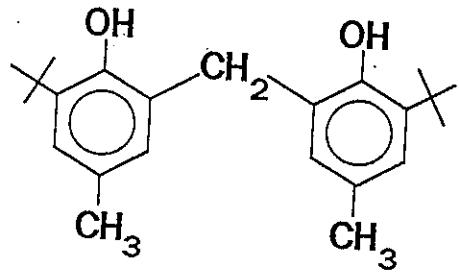
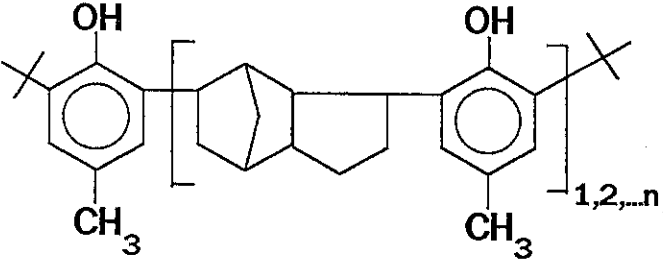
อยู่ในกลุ่มเช่นเดียวกับ นอนน็อก ดับลิวเอสแอล มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน ไม่ทำให้

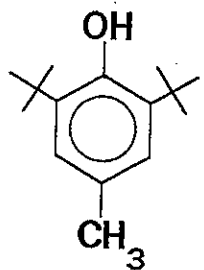
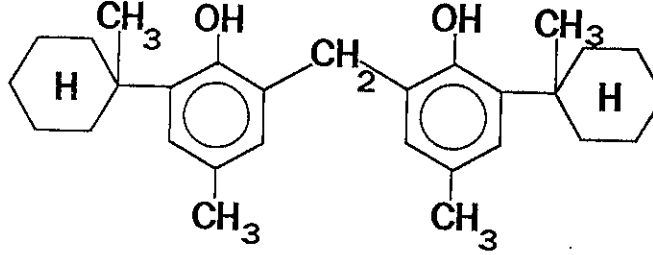
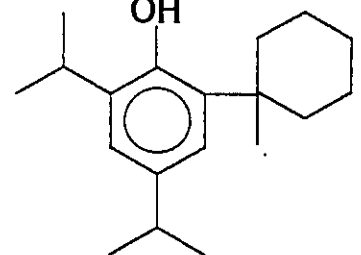
ผลิตภัณฑ์ตกสี จุดหลอมเหลว 69°C ความถ่วงจำเพาะ 1.05 ละลายได้ในเบนซีน
โทลูอีน แอลกอฮอล์ อะซิโตน ไม่ละลายน้ำ

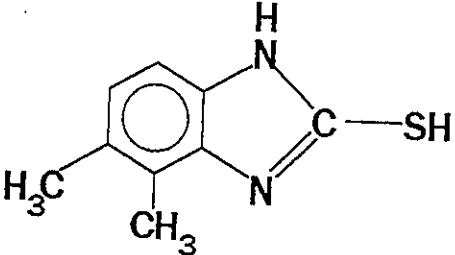
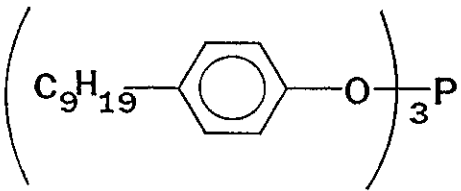
7. วัลคาน็อก เอ็มบีสองทับเอ็มจี

เป็นสารป้องกันออกซิเดชันที่อยู่ในกลุ่มอิมิดาซิด (Imidazyl) มีลักษณะเป็นผงสีขาว
มีสมบัติทำให้ยางตกสีเล็กน้อย

ตาราง 19 แสดงชนิดของสารป้องกันออกซิเดชันที่ใช้ในการทำวิจัย

ชื่อทางการค้า	บริษัทผลิต	สูตรทางเคมี	สูตรโครงสร้าง
Antioxidant 2246 Vulcanox BKF Antage W-400 Antigen MDP Sundant 2246 Nocrac NS-6	Anchor Bayer Kawaguchi Sumitomo Sanshinchem Oouchi	2,2-methylene-bis-(4-methyl-6-tert-butyl phenol) หรือ 2,2-methylene-bis-(6-t-butyl-4-cresol)	
Wingstay L	Goodyear	Butylated reaction product of p-cresol and dicyclopentadiene	

ชื่อทางการค้า	บริษัทผู้ผลิต	สูตรทางเคมี	สูตรโครงสร้าง
Vulcanox KB Ionol BHT Permanax BHT Antage BHT	Bayer Shell Monsanto Vulnax Kawaguchi	2,6-di-tert-butyl-p-cresol หรือ 2,6-di-tert-butyl-4-methyl phenol	
Permanax WSP Nonox WSP	Vulnax ICI	2,2'-dihydroxy-3,3'-di-(α -methyl cyclohexyl)-5,5'-dimethyl-diphenyl methane	
Nonox WSL	ICI	2-(1-methylcyclohexyl)-4,6-dimethyl phenol	

ชื่อทางการค้า	บริษัทที่ผลิต	สูตรทางเคมี	สูตรโครงสร้าง
Vulcanox MB ₂ /Mg	Bayer	4 and 5-methyl mercaptobenzimidazol	
Nonflex TNP Nocrac TNP	seiko Couchi	tris-(nonylated phenyl phosphite)	

ภาคผนวก ค

ตาราง 20 ค่าความทนแรงดึงของแผ่นฟิล์มเมื่อใช้ *m*-BA 5 phr ร่วมกับ HPO ในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน ทำการฉายรังสีในปริมาณ 4, 8 และ 12 kGy

ความเข้มข้นของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (HPO)		4 kGy	8 kGy	12 kGy
	-	14.1	19.7	21.1
HPO	0.05 phr	14.9	23.4	26.3
	0.10 phr	16.4	26.4	26.8
	0.15 phr	24.2	24.0	25.0

ที่มา : Prinya. A., 1990 : 311.

ตาราง 21 สมบัติทางกายภาพของถุงมือทางการแพทย์ชนิดถุงมือตรวจโรค (examination glove) เกณฑ์ต้องการทางกายภาพ

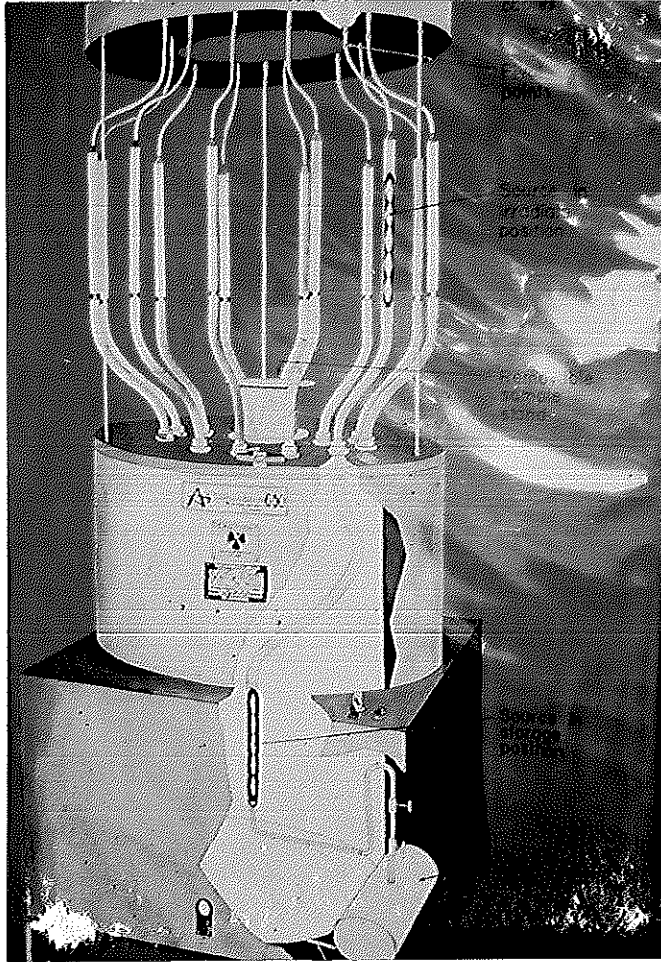
ก่อนอบ		หลังบ่มแรง	
ความทนแรงดึง	ความยาวยืดเมื่อขาด	ความทนแรงดึง	ความยาวยืดเมื่อขาด
21 MPa	700%	16 MPa	500% (min)

ที่มา : ASTM D3578-77. 1982.

ภาคผนวก ง



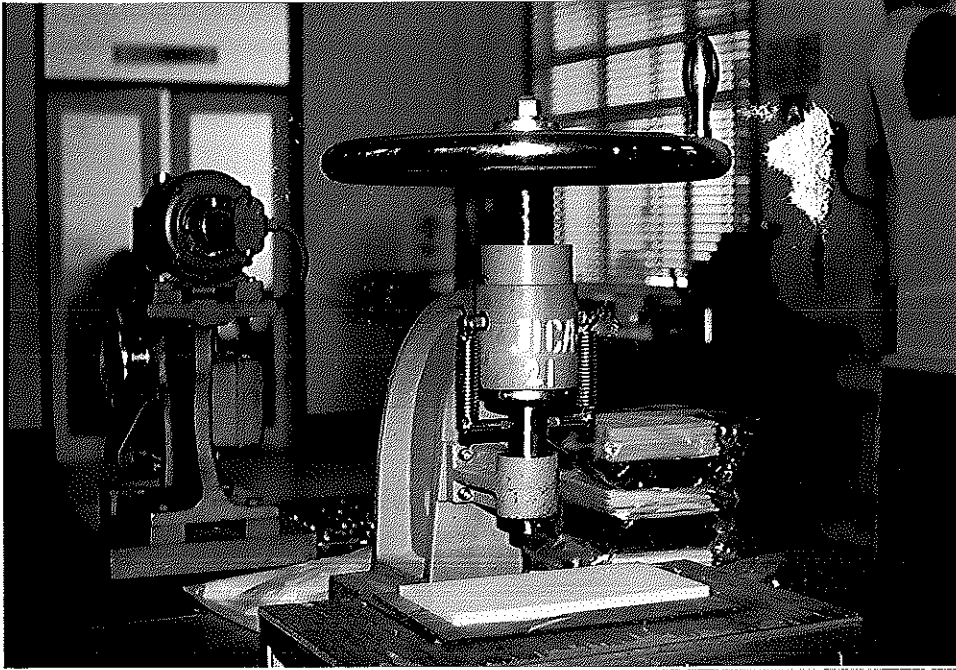
ภาพประกอบ 15 เครื่องฉายรังสี Carrier Type JS-8900 บริษัท Nordian



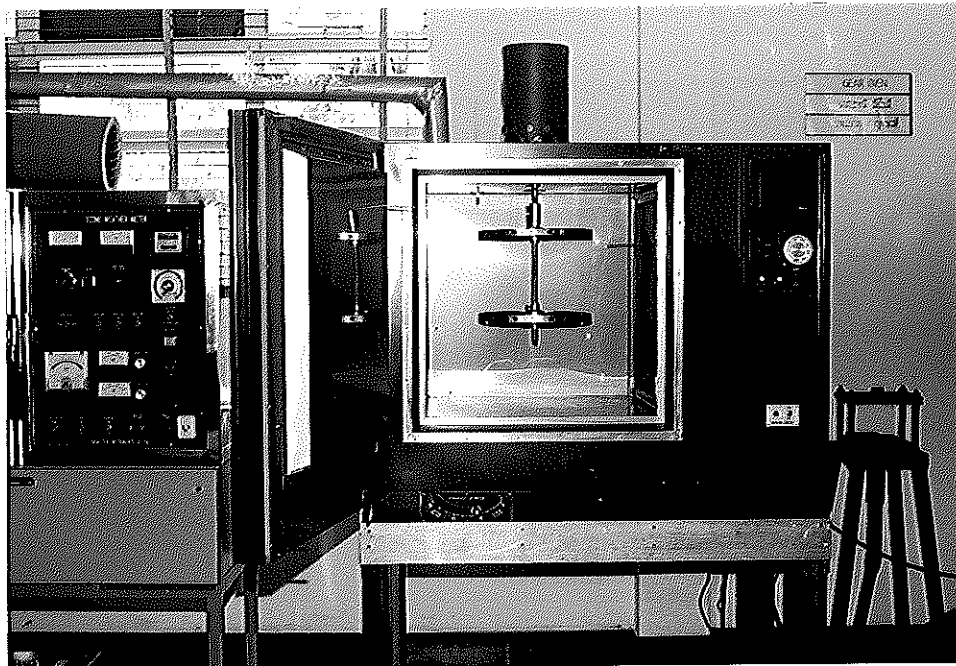
ภาพประกอบ 16 เครื่องฉายรังสี Gamma Beam-650 บริษัท AECL



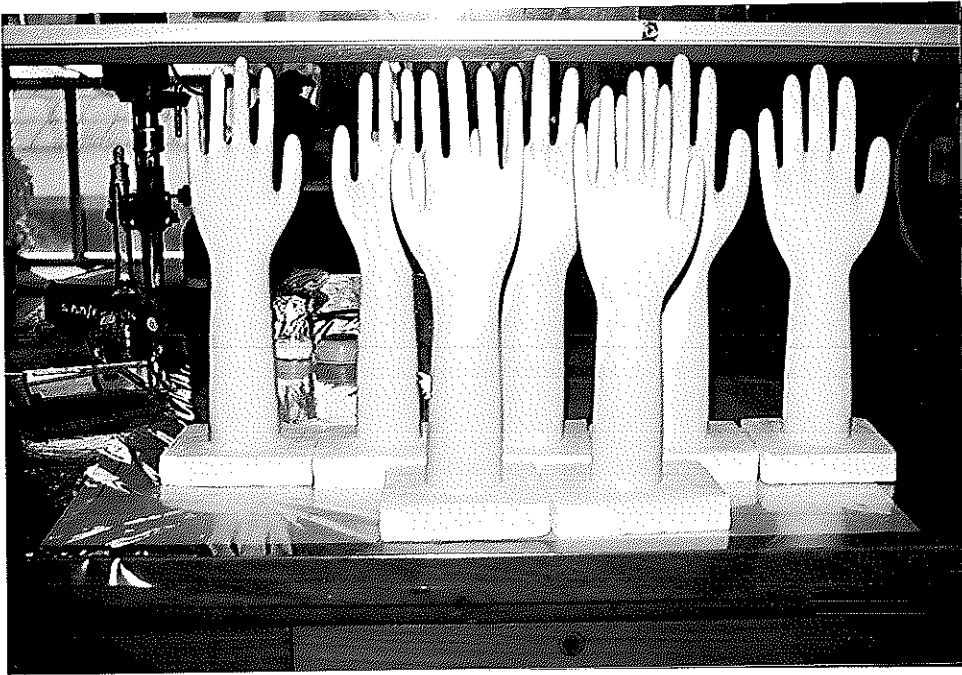
ภาพประกอบ 17 เครื่องทดสอบความทนแรงดึง ยี่ห้อ Lloyd รุ่น 1000 S



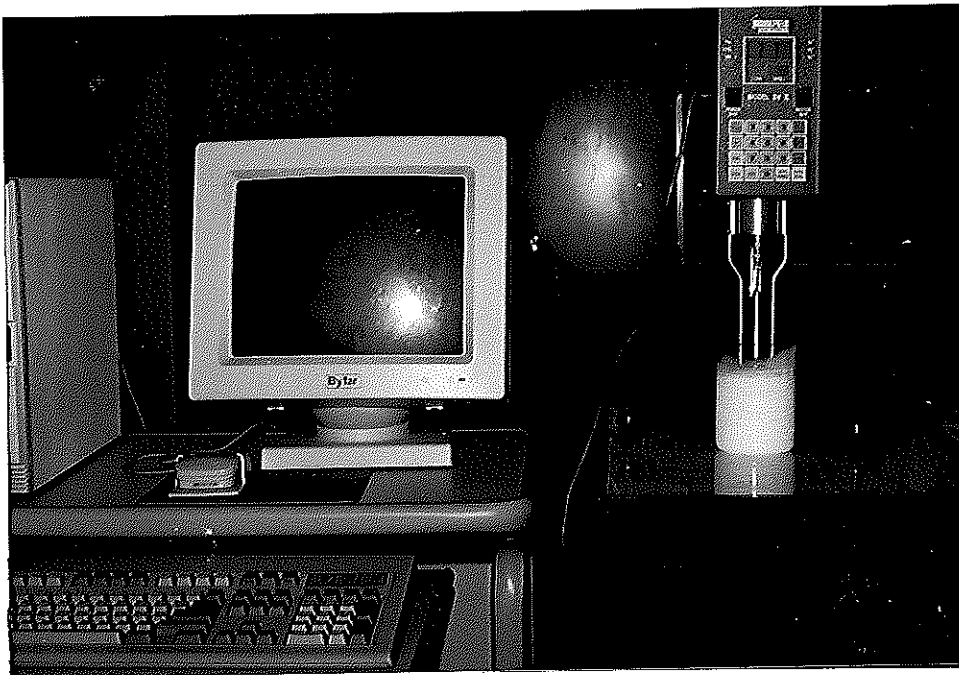
ภาพประกอบ 18 เครื่องตัดแผ่นฟิล์มยาง



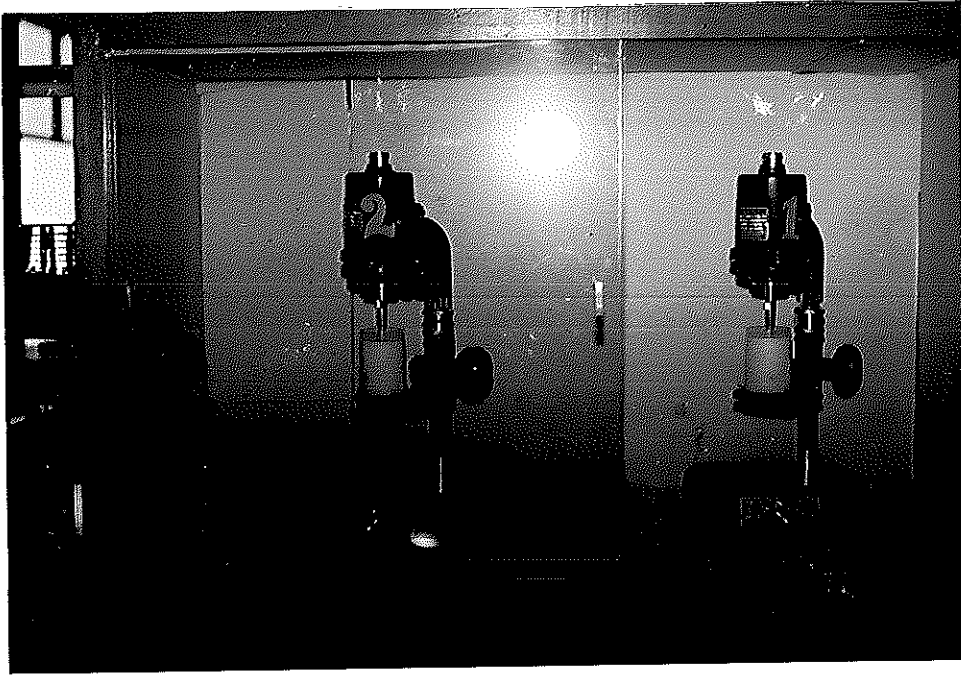
ภาพประกอบ 19 ตู้อบไฟฟ้าชนิด Geer Oven ยี่ห้อ Tabai



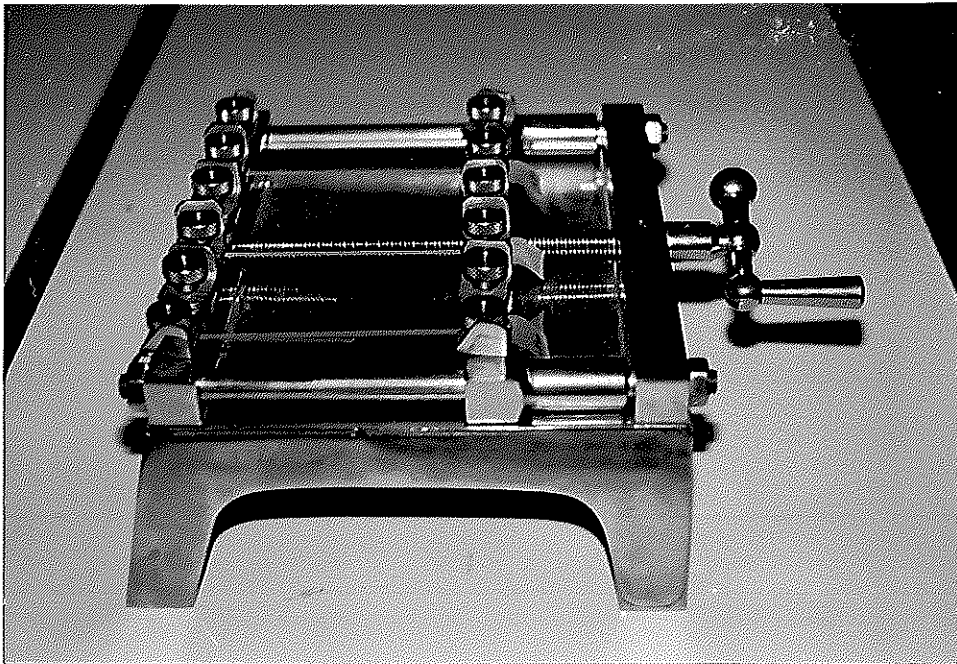
ภาพประกอบ 20 แบบพิมพ์มือสำหรับตงมือขางทางการแพทย



ภาพประกอบ 21 เครื่องวัดความหนืด รุ่น DV-II



ภาพประกอบ 22 เครื่องวัดความเสถียรของน้ำยาง



ภาพประกอบ 23 เครื่องวัดการคงตัวของยางหลังจากถูกยืด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นางสาวปรีดีเปรม จงรักษ์

วัน เดือน ปี เกิด 31 ธันวาคม 2506

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	พ.ศ. 2528

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับระหว่างการศึกษา)

ทุนผู้ช่วยสอน ประจำปีการศึกษา 2535

ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 5 สังกัดศูนย์วิจัยยางสงขลา
กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์