

การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี
โดยการเติมตะกอนซิลิกา

นางสาวจิตติมา ธีญญานิติ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-395-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF RADIATION - VULCANIZED NATURAL RUBBER FILM PROPERTIES
BY ADDING PRECIPITATED SILICA



Miss Thittima Thunyaniti

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-395-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์
ด้วยรังสีโดยการเติมตะกอนซิลิกา

โดย

นางสาวจิตติมา ธีญญานิติ

ภาควิชา

นิวเคลียร์เทคโนโลยี


อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ชยากฤต ศิริอุปถัมภ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

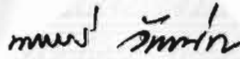
อาจารย์ มานิตย์ ช็อนสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

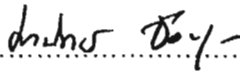
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



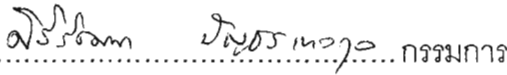
..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ชยากฤต ศิริอุปถัมภ์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ มานิตย์ ช็อนสุข)



..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ศิริวิธมนา ปัญชรเทวกุล)

จิตติมา วัฒนานิติ: การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยการเติมตะกอนซิลิกา (IMPROVEMENT OF RADIATION – VULCANIZED NATURAL RUBBER FILM PROPERTIES BY ADDING PRECIPITATED SILICA) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ชยากริต ศิริอุบลวัฒน์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. มานิตย์ ช้อนสุข , 104 หน้า. ISBN 974-334-395-4.

การวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี โดยการเติมตะกอนซิลิกา โดยการนำซิลิกาที่ผ่านการบดแล้วในปริมาณต่าง ๆ มาใช้เป็นสารเสริมแรงในฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติ และเปรียบเทียบกับฟิล์มยางที่ไม่เติมซิลิกา รวมทั้งการศึกษาถึงปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในฟิล์มยางภายหลังการเติมซิลิกา

จากผลการทดลองการเติมซิลิกาเป็นส่วนผสมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มยางดีขึ้นพอสมควร ปริมาณโปรตีนในฟิล์มยางที่ได้จะลดลงมาก การปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญคือ ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Trousar Tear Strength) ซึ่งเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 % เมื่อเติมซิลิกาในปริมาณที่เหมาะสมคือ 4 phr เนื่องจากอนุภาคซิลิกาทำให้เส้นทางการฉีกขาดหันเหไปทางอื่น จึงจะต้องใช้แรงเพิ่มขึ้นในการฉีกขาด ส่วนปริมาณโปรตีนจะลดลงเหลือเพียง 27 µg/g เมื่อล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 35 °C และใช้เวลาล้าง 12 นาที การลดลงของโปรตีนคาดว่าเนื่องจากการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ของ ซิลิกา โปรตีน และ ซิงค์ออกไซด์ ทำให้โปรตีนจำนวนมากไม่สามารถเคลื่อนที่มาที่ผิวของฟิล์มยางได้ ซึ่งจะทำให้ลดอัตราเสี่ยงที่จะเกิดอาการภูมิแพ้สำหรับผู้สวมใส่ที่แพ้โปรตีนในยางธรรมชาติได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี.....
สาขาวิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี.....
ปีการศึกษา 2542.....

ลายมือชื่อนิสิต *Ch. O.*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *Ch. R.*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *Ch. S.*.....

4070263321 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: RUBBER / VULCANIZATION / SILICA / ALLERGENIC PROTEIN / ALLERGY

THITTIMA THUNYANITI : IMPROVEMENT OF RADIATION - VULCANIZED NATURAL RUBBER FILM PROPERTIES BY ADDING PRECIPITATED SILICA . THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHYAGRIT SIRI-UPATHUM, THESIS COADVISOR : MANIT SONSUK, 104 pp. ISBN 974-334-395-4.

A study on addition of fine particle precipitated silica to improve radiation – vulcanized natural rubber latex (RVNRL) film properties was conducted. The radiation – vulcanized natural rubber latex that mixed with and without precipitated silica was casted into films and physical properties and extractable protein content were compared.

The addition of precipitated silica to natural rubber latex was found to increase physical properties to some extent. Level of extractable protein in latex films was also reduced. The main improvement of physical properties was in the trouser tear strength. This was improved to more than 50 % at optimum level of silica content of 4 phr. The proposed mechanism was that the silica particles divert the part of tear at the crack tip, thus raising the force needed to propagate the tear. On the topic of protein reduction, the results had shown that the use of precipitated silica dispersions could reduce extractable protein content in latex films down to 27 µg/g by water leaching at 30°C 12 minutes. The protein reduction was probably due to a complex interaction of silica, protein and zinc oxide which immobilized many of the proteins in the latex film. The reduction in extractable protein in latex film can lower the risk of Type I allergen in hypersensitive people.

ภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
สาขาวิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต ดร.จ.
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
Dr. J.
Dr. J.
Dr. J.

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ชยกาภิต ศิริอุปถัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณคุณมานิตย์ ช้อนสุข แห่งสำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ แก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ และให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบแรงดึง

ขอขอบคุณดร. นุชนาฏ ณ ระนอง แห่งสถาบันวิจัยยางที่ให้ความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้

ขอขอบคุณคุณวิชาญ เผือกธारा ผู้จัดการฝ่ายผลิต บริษัทกระบี่พาราบริบเบอร์ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านน้ำยางชั้น

ขอขอบคุณคุณวารุณีย์ เย็นใจ และเจ้าหน้าที่กองเคมี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านการทดลองมาโดยตลอด และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณคุณพรณี เสถียรศรี และเพื่อนนิสิตที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับรังสี.....	6
2.1 กัมมันตภาพรังสี.....	6
2.2 ปริมาณและหน่วยทางรังสี.....	8
2.3 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีผ่านสสาร.....	11
2.4 ผลของรังสีที่มีต่อน้ำ.....	15
2.5 ผลของรังสีที่มีต่อโพลีเมอร์ที่เกิดการครอสลิงค์ขึ้น.....	17
3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับยางธรรมชาติ.....	19
3.1 พืชที่ให้ยาง.....	19
3.2 น้ำยางธรรมชาติ.....	20
3.3 ชนิดของยางธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม.....	25
3.4 การผลิตยางแห้ง.....	25
3.5 การผลิตน้ำยางข้น.....	29
3.6 น้ำยางคงรูป หรือ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์.....	34
3.7 การใช้ประโยชน์จากน้ำยางธรรมชาติ.....	40
3.8 สารตัวเติม.....	41

	หน้า
3.9 การแพ้โปรตีนในผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ.....	45
4 การทดลอง.....	50
4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	50
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	50
4.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	50
5 ผลการวิจัย.....	55
5.1 ผลการทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์ น้ำยางธรรมชาติ.....	55
5.2 ผลการทดลองหาปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมสำหรับ เติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี.....	60
5.3 ผลการทดลองคุณสมบัติของฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังป่มเร่ง (aging) เมื่อเติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr.....	67
5.4 ผลการวิเคราะห์โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (Water soluble protein) จากฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ในปริมาณต่างๆ.....	68
5.5 ผลการวิเคราะห์ค่า Si/Protein ratio โดยใช้เทคนิค energy dispersive X - ray spectrometry ใน LVSEM จากฟิล์มยางที่ไม่เติมและเติม precipitated silica ใน ปริมาณ 4 phr.....	70
5.6 ผลการทดลองหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำที่เหมาะสม สำหรับ ล้างฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr.....	73
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	75
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	75
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก.....	80
ภาคผนวก ก.....	81
ภาคผนวก ข.....	82
ภาคผนวก ค.....	84
ภาคผนวก ง.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	104

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 Quality Factor.....	10
2.2 แสดงผลของรังสีต่อโพลีเมอร์แต่ละชนิด.....	18
3.1 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	21
3.2 การกำหนดขีดจำกัดของสมบัติน้ำยางชั้นที่ผลิตจากวิธีการปั่น.....	33
3.3 ตัวอย่างสูตรทำน้ำยางคงรูป.....	35
4.1 สูตรที่ใช้ผลิต RVNRL.....	51
4.2 สูตรสำหรับเตรียมซิลิกาในรูป dispersion.....	53
5.1 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ที่ปริมาณรังสีต่างๆ.....	55
5.2 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณรังสีต่างๆ.....	57
5.3 ค่า 300% Modulus ที่ปริมาณรังสีต่างๆ.....	59
5.4 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	62
5.5 ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	63
5.6 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	65
5.7 ค่า 300% Modulus ที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	66
5.8 คุณสมบัติของฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง.....	68
5.9 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ โดยใช้เวลาล้างด้วยน้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง.....	69
5.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่พบจากฟิล์มยางโดยวิธีเรืองรังสีเอ็กซ์.....	70
5.11 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ที่เงื่อนไขการล้างแบบต่าง ๆ.....	73

สารบัญญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
3.1 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด.....	22
3.2 น้ำยางเสียสภาพจับเป็นก้อนยาง.....	23
3.3 ผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น.....	31
3.4 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน.....	35
3.5 กระบวนการผลิต RVNRL.....	36
3.6 ผลของ KOH ต่อความหนืดของน้ำยาง.....	37
3.7 ผลการเติม n-BA เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการผลิต RVNRL.....	38
3.8 ผลของการเพิ่มปริมาณ n-BA ต่อ tensile strength สูงสุด และค่า vulcanization dose.....	38
5.1 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ที่ปริมาณรังสีต่างๆ.....	56
5.2 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณรังสีต่างๆ.....	58
5.3 ค่า 300% Modulus ที่ปริมาณรังสีต่างๆ.....	60
5.4 การกระจายขนาดอนุภาคของ precipitated silica ก่อนบด.....	61
5.5 การกระจายขนาดอนุภาคของ precipitated silica หลังบด 7 วัน.....	61
5.6 ค่าความต้านทานการดึงจนขาดที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	63
5.7 ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	64
5.8 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	65
5.9 ค่า 300% Modulus ที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ.....	67
5.10 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (Water soluble protein) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่างๆ โดยใช้เวลาล้างด้วยน้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง.....	69
5.11 สเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของธาตุที่พบจากฟิล์มยางที่ไม่เติม precipitated silica....	71
5.12 สเปกตรัมรังสีเอกซ์เรืองของธาตุที่พบจากฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr.....	72
5.13 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (Water soluble protein) ที่เงื่อนไข การล้างแบบต่างๆ.....	74



1.1 ที่มาของปัญหา

ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติที่นำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไปจะต้องผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งจะทำให้ยางที่ได้ทนต่อสภาพร้อนจัดและเย็นจัดได้ วิธีการวัลคาไนซ์น้ำยางดิบโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

1. การวัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์ เป็นกระบวนการที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

2. การวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแกมมา โดยหลังจากที่มีการศึกษาพบว่ารังสีแกมมาสามารถทำให้โพลิเมอร์หลายชนิดเกิดการครอสลิงค์ (Cross-link) และทำให้คุณสมบัติของโพลิเมอร์ดีขึ้นกว่าเดิมได้ จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการวัลคาไนซ์น้ำยางด้วยรังสีแกมมา

เนื่องจากน้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสีมีคุณสมบัติที่ดีโดยเฉพาะเพื่อใช้ในทางการแพทย์คือปราศจากสารก่อมะเร็งจำพวกไนโตรโซเอมีน และไม่ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อซึ่งมีสาเหตุทั้งจากสารเคมีที่ตกค้างในกระบวนการวัลคาไนซ์และโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ โดยการวัลคาไนซ์โดยใช้รังสีจะไม่ต้องใช้สารเคมีในการทำปฏิกิริยาเช่น ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) ไทยูแรมไดซัลไฟด์ (thiuram disulphide) แต่ต้องใช้สารไวปฏิกิริยา (sensitizer) เพื่อลดปริมาณรังสีที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ให้ต่ำลงโดยการเติม n-Butyl acrylate (n-BA) และเติม stabilizer คือ potassium hydroxide (KOH) ซึ่ง n-BA สามารถจัดออกได้โดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ดังนั้นปัญหาการแพ้สารเคมีต่าง ๆ ที่ตกค้างจากตัวเร่งปฏิกิริยาจึงหมดไป และการวัลคาไนซ์ด้วยรังสีจะช่วยลดปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางลง เนื่องจาก extractable protein (EP) เสื่อมสลายด้วยรังสี มีโมเลกุลเล็กลง และล้างออกด้วยน้ำได้ง่าย ดังนั้นจึงเป็นการลดปัญหาการแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ และนอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสียังมีข้อดีอีกคือ มีความนุ่มและโปร่งแสงกว่า สามารถเสื่อมสลายได้เองตามธรรมชาติ แต่การวัลคาไนซ์ด้วยรังสีมีข้อด้อยคือ มีค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) และค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยให้ดีขึ้นโดยการเติมสารยึดเหนี่ยวอนุภาคอย่างบางชนิด เช่น Fumed Silica หรือสารอินทรีย์บางชนิด เช่น Polyvinyl alcohol (PVA) ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ precipitated silica โดยมีการศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำให้คุณสมบัติข้างต้นดีขึ้น และนอกจากนี้จะได้ผล

ตามมาอีกอย่างคือจะตรวจพบโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) น้อยลงเนื่องจากซิลิกาไปตรึงโปรตีนในแผ่นยางไม่ให้แพร่มาสู่วิวยาง ซึ่งโปรตีนบางชนิดในน้ำยางธรรมชาติทำให้เกิดอาการแพ้ได้อย่างรวดเร็ว (immediate Type I skin contact allergy)

ในการทำการวิจัยครั้งนี้สาเหตุที่เลือกใช้ precipitated silica เนื่องจากมีการผลิตใช้กันในประเทศแล้ว โดยบริษัท Oriental Silica จำกัด ส่วน Fumed Silica จะได้มาจากการถลุงเฟอร์โรซิลิกอน (ferro-silicon) ซึ่งมีการผลิตกันในต่างประเทศ ขนาดของอนุภาคของ Fumed Silica ประมาณ 0.2-0.3 μm แต่ขนาดอนุภาคของ precipitated silica มีขนาดใหญ่ประมาณ 10-20 μm จึงจำเป็นจะต้องนำไปบดให้มีขนาดอนุภาคตามต้องการก่อน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและทดลองเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ภายหลังการเติม precipitated silica
2. เพื่อศึกษาการลดลงของปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ในฟิล์มยางจากข้อ 1 ซึ่งเป็นสาเหตุของการทำให้เกิดอาการแพ้ (allergy type I)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติโดยพิจารณาจากค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength)
2. ทดลองหาปริมาณของ precipitated silica ที่เหมาะสมสำหรับใช้เติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี โดยพิจารณาจากค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) และค่าโมดูลัส(modulus)
3. ทดสอบค่า Tensile Strength ของฟิล์มยางที่เติมปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมทั้งก่อนและหลัง aging
4. ทดลองหาปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในฟิล์มยางที่ได้จากการเติม precipitated silica ตามเงื่อนไขจากข้อ 2 ในน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี
5. ทดลองหาเวลาและอุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมสำหรับใช้ล้างฟิล์มยาง เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุด

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. ทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ โดยใช้ปริมาณรังสี 0 – 30 kGy ใช้สารไวปฏิกิริยาก็คือ n-Butyl acrylate (n-BA) 5 phr (part per hundred rubber) และล้างด้วยน้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
3. หาปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมสำหรับใช้เติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี และใช้เงื่อนไขที่เหมาะสมจากข้อ 2 โดยการทดสอบค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) และค่าโมดูลัส (modulus)
4. ทดสอบค่า Tensile Strength ของฟิล์มยางที่เติมปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง (aging) ทั้งที่ไม่เติมและเติม TNPP (Tris nonylated phenyl phosphite) เป็นสารป้องกันยางเสื่อม (antioxidant) โดยเติมในปริมาณ 2 phr
5. นำฟิล์มยางที่ได้จากการเติม precipitated silica ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน ไปวิเคราะห์โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) โดยวิธี Modified Lowry และ Si/Protein ratio โดยใช้เทคนิค energy dispersive x-ray spectrometry ใน LVSEM
6. ทดลองหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำสำหรับล้างฟิล์มยาง โดยใช้เวลาล้าง 0 - 15 นาที และอุณหภูมิ 30 - 75 °C
7. สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยครั้งนี้

ได้เทคนิคการผลิตฟิล์มยางจากน้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี ที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีขึ้นซึ่งไม่ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ (non cytotoxicity) และลดอัตราการเกิดอาการแพ้ (allergy type I)

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง^{1,2,3,4,5}

1. HAQUE, M.E. , DAFADER , N.C. , AKHTAR, F. , and AHMAD M.U. (1995) ได้ทำการวิจัยเรื่องปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ โดยทดลองใช้สารไวปฏิกิริยาหลายชนิด ผลปรากฏว่าสารไวปฏิกิริยาที่ดีที่สุดคือ n-Butyl acrylate โดยใช้ในปริมาณ 5 phr และปริมาณรังสีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางคือ 12 kGy
2. MORRIS, M.D. , GEIGER, R.F. , ANAND, JR. and ANAND, J.N. ได้ทำการวิจัยเรื่องการเติม Fumed Silica ในน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์ สำหรับผลิตภัณฑ์ยางที่

ได้จากสารจุ่ม (Dipping product) ของ Cabot Corporation สหรัฐอเมริกา ซึ่งผลการวิจัยพบว่า เมื่อเติม Fumed Silica ลงไปในน้ำยางจะทำให้เพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์ โดยเฉพาะค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) จะเพิ่มจาก 25 เป็น 35 N/mm เมื่อเติม Fumed Silica 1 % และเพิ่มขึ้นเป็น 40 N/mm เมื่อเติม 2 % ส่วนค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และนอกจากนี้ยังตรวจพบ Extractable Protein น้อยลงประมาณ 38 – 50 % จากตัวอย่างที่ไม่ได้เติม Fumed Silica ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการล้างฟิล์มยาง

3. Varghese, Siby, Makuuchi, K., Yoshii, F. and Katsumura, Y. (1997) ได้ทำการวิจัยเรื่องผลการเติมโพลีเมอร์ที่ละลายน้ำได้ (water soluble polymer) เช่น Polyvinyl alcohol (PVA) และ Polyethylene oxide (PEO) ผลปรากฏว่าสามารถทำให้ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) จะลดลงเพียงเล็กน้อย และยังทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ล้างออกได้เร็วขึ้นโดยเมื่อใช้เวลาล้างเพียง 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องจะตรวจไม่พบโปรตีนเลย

4. สิริลักษณ์ ชูโชติ (2536) ได้ทดลองเตรียมกราฟต์โคโพลีเมอร์จากน้ำยางธรรมชาติ กับเมทิลเมทาครีเลต (MMA) เพื่อให้ได้คุณสมบัติของผลผลิตเป็น thermoplastic elastomer (TPE) โดยวิธีฉายรังสีแกมมา จากการทดลองพบว่ากราฟต์น้ำยางธรรมชาติกับ MMA โดยใช้ CCl_4 เป็นสารไวปฏิกิริยาต้องการ MMA 50 phr, CCl_4 5 phr และปริมาณรังสี 4 – 5 kGy เพื่อให้ได้ TPE ที่มีผิวเรียบหลัง masticate และทำ hot press ที่อุณหภูมิประมาณ 150 – 170°C โดยมีความแข็งประมาณ 40 (Shore A) ค่าความต้านทานแรงดึงจนขาดประมาณ 2 MPa ถ้าต้องการเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงจนขาดและความแข็งทำได้โดยการวัลคาไนซ์บางส่วนก่อนด้วยรังสีก่อนการทำกราฟต์ด้วยรังสีที่ประมาณ 4 – 5 kGy โดยใช้ นอร์มอลบิวทิลอะครีเลต (n-BA) 5 phr เป็นสารไวปฏิกิริยา โดยจะได้ความต้านทานแรงดึงจนขาดสูงขึ้นเป็น 15 MPa และมีความแข็งเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 50 (Shore A)

5. ปารรณนา คิวสุวรรณ (2535) ได้ทดลองใช้สารป้องกันยางเสื่อมชนิดต่าง ๆ เติมลงในน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีจากแหล่งภายนอกและภาคใต้ของประเทศไทย โดยใช้ 2-เอทิลเฮกซิลอะครีเลตกับคาร์บอนเตตราคลอไรด์ (2-EHA: CCl_4) และนอร์บิวทิลอะครีเลตร่วมกับคาร์บอนเตตราคลอไรด์ (n-BA: CCl_4) เป็นสารไวปฏิกิริยาพบว่า สารป้องกันยางเสื่อมทุกตัวที่เติมลงไปในน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีทั้ง 2 แหล่ง จะให้ค่าความต้านแรงดึงสูงสุดที่ปริมาณรังสี 13 – 17 kGy เมื่อใช้ 2-EHA: CCl_4 เป็นสารไวปฏิกิริยา และใช้ปริมาณรังสี 12 kGy เมื่อใช้ n-BA: CCl_4 เป็นสารไวปฏิกิริยา สำหรับการล้างฟิล์มยางด้วย 1% แอมโมเนียจะทำไฟฟิล์มยางมี

ความต้านแรงดึงสูงสุดในเวลาที่น้อยกว่าล้างด้วยน้ำกลั่น จากการทดลองพบว่า สารป้องกันยางเสื่อม Vulcanox MB และ Vulcanox MB2/Mg ที่ปริมาณ 0.8 – 1 ส่วนต่อเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน จะทำให้ฟิล์มยางมีค่าความต้านแรงดึงหลังปั๊มแรงดีที่สุดเหมาะสำหรับยางทั้ง 2 แหล่งและสารไวปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด น้ำยางที่ใช้ 2-EHA:CCl₄ เป็นสารไวปฏิกิริยาจะมีความหนืดมากกว่าน้ำยางที่ใช้ n-BA:CCl₄ เป็นสารไวปฏิกิริยา ส่วนค่าความเป็นต่างของน้ำยางทั้ง 2 แหล่งจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อทิ้งน้ำยางไว้ตั้งแต่ 3 สัปดาห์ แต่ค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังปั๊มแรงจะลดลงอย่างมากเมื่อทิ้งน้ำยางไว้ก่อนนำไปทำฟิล์มยางตั้งแต่ 3 สัปดาห์ เป็นต้นไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับรังสี

ในปัจจุบันเทคนิคนิวเคลียร์ (Nuclear technique) ซึ่งใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติเฉพาะตัวของอนุภาคต่าง ๆ ที่ได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์ (Nuclear Reaction) หรือจากธาตุที่มีคุณสมบัติเป็นไอโซโทปรังสี (Radioisotope) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ งานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพและด้านการเกษตร งานตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทางด้านอุตสาหกรรมก็เริ่มเห็นผลประโยชน์และความคุ้มค่าในการลงทุนที่จะนำเอาเทคนิคนิวเคลียร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในการเพิ่มผลผลิตทางอุตสาหกรรมมากยิ่งขึ้น เช่น การวัดคาบครึ่งน้ำยาธรรมชาติโดยใช้รังสี เนื่องจากมีคุณสมบัติหลายอย่างที่ดีกว่าการวัดคาบครึ่งด้วยซัลเฟอร์ เช่น ไม่มีปัญหาจากสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ ปริมาณโปรตีนที่สกัดออกมามีปริมาณน้อย ทำให้ลดอาการแพ้ผลิตภัณฑ์ยาธรรมชาติเนื่องมาจากสารเคมีและโปรตีนในน้ำยาธรรมชาติ

2.1 กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)

กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) หมายถึงพลังงานที่ปลดปล่อยออกจากนิวเคลียสที่ไม่เสถียรของอะตอมบางชนิดออกมาในรูปอนุภาคต่าง ๆ หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งอาจจะเรียกว่ารังสี ซึ่งมีความแตกต่างกันดังนี้

1. อนุภาคอัลฟา (Alpha particle) หรือรังสีอัลฟา (Alpha ray) นิยมเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ α เป็นนิวเคลียสของธาตุฮีเลียม ${}^4_2\text{He}$ มีประจุไฟฟ้าเท่ากับ +2 มีอำนาจในการทะลุทะลวงต่ำ เพียงกระดาษแผ่นเดียวก็สามารถกั้นได้ อนุภาคอัลฟาส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากกระบวนการสลายตัวของธาตุหนักที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 83 คือตั้งแต่บิสมัท (Bismuth) ขึ้นไป

2. อนุภาคเบตา (Beta particle) หรือรังสีเบตา (beta ray) คืออนุภาคอิเล็กตรอนที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากธาตุกัมมันตรังสี โดยปกติเมื่อกล่าวถึงอนุภาคเบตาจะหมายถึงอนุภาคเบตาลบ (negative beta) นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสมากกว่าปกติจะเกิดการสลายตัวให้อนุภาคเบตาลบและอนุภาคแอนตินิวตริโน เนื่องจากทั้งแอนตินิวตริโนและอนุภาคเบตาถูกปลดปล่อยออกมาพร้อม ๆ พลังงานของอนุภาคเบตาจึงมีลักษณะเป็นแถบพลังงานหรือสเปกตรัม (spectrum) ที่มีค่าตั้งแต่ 0 จนถึงค่าพลังงานสูงสุด โดยพลังงานเฉลี่ยของอนุภาคเบตามีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของพลังงานสูงสุด

3. อนุภาคเบตาบวก (Positive beta) หรือโพซิตรอน (Positron) เป็นอนุภาคที่มีมวลและประจุเท่ากับอิเล็กตรอน แต่มีประจุเป็นบวก นิวไคลด์ที่มีจำนวนนิวตรอนในนิวเคลียสน้อยกว่าปกติ จะสลายตัวให้โพซิตรอนออกมา นอกจากการสลายตัวให้โพซิตรอนแล้วยังพบว่า มีอนุภาคนิวตริโนถูกปล่อยออกมาในเวลาเดียวกันด้วย การกระจายพลังงานของอนุภาคโพซิตรอนมีลักษณะเป็นเช่นเดียวกับของอนุภาคเบตาลบ ค่าพลังงานเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.4 เท่าของพลังงานสูงสุด อนุภาคโพซิตรอนเมื่อผ่านเข้าไปในตัวกลางใด ๆ จะมีพลังงานลดลงจนเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนของตัวกลาง จากนั้นจะเกิดการสลายตัวต่อให้รังสีแกมมา 2 ตัว ที่มีพลังงานแต่ละ 0.511 MeV แต่มีทิศทางตรงข้ามกัน กระบวนการรวมตัวกันของอนุภาคโพซิตรอนและอิเล็กตรอนนี้เรียกว่ากระบวนการแอนนิฮิเลชัน (Annihilation)

4. อนุภาคนิวตรอน (Neutron) เป็นอนุภาคที่เป็นกลางมีมวลมากกว่ามวลของอนุภาคโปรตอนเล็กน้อย อนุภาคนิวตรอนอิสระเป็นอนุภาคที่ไม่เสถียรจะสลายตัวให้อนุภาคโปรตอน อิเล็กตรอน และอนุภาคแอนตินิวตริโน

5. อนุภาคโปรตอน (Proton particle) มีประจุเท่ากับ +1 สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ ${}^1_1\text{H}$ หรือ ${}^1_1\text{p}$ อนุภาคโปรตอนส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ เช่น อนุภาคนิวตรอนกับธาตุบางชนิด

6. รังสีแกมมา (Gamma ray) และรังสีเอ็กซ์ (X-ray) เป็นรังสีที่มีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ไม่มีมวล ไม่มีประจุ เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแสง รังสีประเภทนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โฟตอน (photon) ข้อแตกต่างของรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์คือ รังสีแกมมาเป็นรังสีที่เกิดขึ้นจากภายในนิวเคลียส ในขณะที่รังสีเอ็กซ์เกิดขึ้นภายนอกนิวเคลียส เช่น ของอิเล็กตรอนในวงโคจร

อันตรกิริยาที่สำคัญของรังสีแกมมา มีด้วยกัน 3 แบบดังนี้

1). ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟค (Photoelectric effect) เป็นปรากฏการณ์ที่รังสีแกมมาเกิดอันตรกิริยากับอะตอมของตัวกลางแล้วรังสีแกมมาถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนตัวกลางจนหมดแล้วสลายตัวไป อิเล็กตรอนที่ได้รับพลังงานจากรังสีแกมมาจะหลุดออกมาจากอะตอมเรียกว่า "โฟโตอิเล็กตรอน (photoelectron)" เนื่องจากอะตอมจะมีพลังงานหลงเหลือ (recoil energy) อยู่น้อยมาก พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนตัวที่หลุดออกมาจึงมีค่าเท่ากับพลังงานของรังสีแกมมาลบด้วยพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอน ถ้าปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟคเกิดขึ้นกับอิเล็กตรอนวงใน ๆ เช่นจาก K shell เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกจากวงโคจร อิเล็กตรอนจากวงโคจรนอกจะเข้าไปแทนที่ โดยจะปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของ

รังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic X-ray) และผลที่ตามมาคือเกิดปรากฏการณ์ไอเจ (Auger electron) ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟกจะขึ้นได้ดีกับตัวกลางที่มีเลขอะตอมสูงและรังสีแกมมาที่มีพลังงานต่ำ ๆ

2). ปรากฏการณ์คอมป์ตัน (Compton effect) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาการชนแบบยืดหยุ่นของรังสีแกมมากับอะตอมของตัวกลาง โดยรังสีแกมมาจะคายพลังงานบางส่วนให้กับอิเล็กตรอนทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกไปแล้วรังสีแกมมาจะเคลื่อนที่ไปอีกทิศทางหนึ่ง โดยพลังงานและโมเมนตัมก่อนชนและหลังชนจะเท่ากัน

3). ปรากฏการณ์ผลิตคู่ (Pair production effect) รังสีแกมมาที่จะทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้จะต้องมีพลังงานไม่น้อยกว่า 1.02 MeV เนื่องจากเมื่อรังสีแกมมาวิ่งผ่านสนามไฟฟ้าของอะตอมบริเวณใกล้ ๆ กับนิวเคลียส แกมมาจะถูกเหนี่ยวนำให้สลายตัวเป็นคู่อิเล็กตรอนที่ประจุบวกหนึ่งตัวและประจุลบหนึ่งตัว (โพสิตรอนกับอิเล็กตรอน) ที่มีพลังงานตัวละ 0.511 MeV วิ่งไปในทิศทางตรงกันข้าม โดยโอกาสการเกิดปรากฏการณ์นี้จะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีแกมมาสูงขึ้น

2.2 ปริมาณและหน่วยทางรังสี (Radiation Quantities and Units)

ในการอธิบายผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสี จำเป็นจะต้องมีการกำหนดปริมาณและหน่วยทางรังสีที่ใช้วัด ปริมาณและหน่วยทางรังสีที่สำคัญ คือ ความแรงแรังสี (Activity), ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose), ปริมาณ Exposure dose และปริมาณรังสีสมมูล (Dose Equivalent) ปริมาณและหน่วยทางรังสี จะถูกกำหนดโดย ICRU (International Commission on Radiological Units and Measurements)

1. ความแรงแรังสี (Activity)

ความแรงแรังสี เป็นปริมาณที่บอกถึงจำนวนอะตอมของสารกัมมันตรังสีที่สลายต่อหน่วยเวลา บอกในหน่วย Ci โดยกำหนดว่าธาตุเรเดียม (^{226}Ra) หนัก 1 กรัม มีความแรงแรังสีเท่ากับ 3.7×10^{10} disintegration per second (dps) หรือเรียกว่า 1 คูรี (Ci)

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ disintegration per second (dps)}$$

ต่อมา SI units ได้กำหนดว่า 1 dps ให้ใช้ชื่อเฉพาะว่า เบคเคอเรล (Becquerel, Bq) จะได้ว่า

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegration per second (dps)}$$

และ

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

2. ปริมาณรังสีดูดกลืน (Absorbed dose)

Absorbed dose จะวัดพลังงานที่ถูกดูดกลืนภายในตัวกลาง หน่วยของ Absorbed dose เดิมใช้หน่วย rad (radiation absorbed dose) ซึ่งมีค่าเท่ากับพลังงานที่ดูดกลืน 100 erg/g หรือ 0.01 J/kg

$$\begin{aligned} 1 \text{ rad} &= 100 \text{ erg/g} \\ &= 0.01 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

ในระบบ SI units จะใช้หน่วย gray (Gy) และกำหนดว่าเป็นพลังงานที่ดูดกลืน 1 J/kg จะได้ว่า

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

3. Exposure dose

Exposure dose, X เป็นปริมาณที่วัดการแตกตัวของอากาศที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีแกมมาและรังสีเอ็กซ์ (γ- or X- radiation) โดยกำหนดว่า

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta M}$$

โดย ΔQ คือผลรวมของจำนวนประจุไฟฟ้าในอากาศชั่วใดชั่วหนึ่งของไอออน (ions) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิเล็กตรอนที่เกิดมาจาก โฟตอน (photons) ในมวล ΔM หน่วยเดิมของ exposure dose คือ roentgen (R) กำหนดว่าเป็นปริมาณรังสีเอ็กซ์หรือแกมมาที่ทำให้เกิดการแตกตัวให้ประจุ 1 electrostatic unit (esu) ในอากาศ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (0 °C, 760 mm/Hg) โดย

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

ในระบบ SI units จะใช้หน่วย C/kg โดย

$$1 \text{ C/kg} = 3881 \text{ R}$$

4. ปริมาณรังสีสมมูล (Dose equivalent)

Dose equivalent เป็นหน่วยที่คิดถึงอันตรายเนื่องจากรังสีในทางชีววิทยา โดยรังสีต่างชนิดกันมีค่า Absorbed dose เท่ากันจะมีระดับความรุนแรงไม่เท่ากัน เช่น fast neutrons 0.01 Gy (1 rad) สามารถทำอันตรายได้มากกว่า γ - rays 0.1 Gy (10 rad) ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบอันตรายที่เกิดขึ้นเนื่องจากรังสีแต่ละชนิดจึงต้องคูณค่า Absorbed dose กับค่า Quality Factor (Q) ของรังสีแต่ละชนิด ซึ่งค่า Quality Factor เป็นอัตราส่วนความรุนแรงของรังสีอื่นที่ Absorbed dose 1 Gy กับรังสีเอ็กซ์หรือรังสีแกมมา ที่ Absorbed dose 1 Gy โดยค่า Quality factor ของรังสีแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 Quality Factor

Radiation	Energy	Q
gamma	all	1
beta	all	1
neutron	slow	5
neutron	fast	20
alpha	all	20

หน่วยเดิมของ dose equivalent คือ rem (radiation equivalent man) โดยกำหนดให้

$$H \text{ (rem)} = D \text{ (rad)} \times Q$$

เมื่อ H = dose equivalent

D = absorbed dose

Q = quality factor

ในระบบ SI Unit หน่วยของ equivalent ใช้ว่า ซีเวิร์ต (sievert, Sv) โดย

$$H \text{ (Sv)} = D \text{ (Gy)} \times Q$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

2.3 ปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีผ่านสาร^{5,6}

เมื่อรังสีไม่ว่าจะเป็นประเภทใดก็ตามผ่านเข้าไปในสาร จะถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอมหรือโมเลกุลในตัวกลางนั้นและเป็นผลให้อะตอมหรือโมเลกุลของตัวกลางดังกล่าวเกิดการแตกตัว (ionization) เป็นอิออนบวกและลบหรือถูกกระตุ้นให้อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น (excitation) คืออะตอมหรือโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงกว่าระดับพลังงานสภาวะพื้นฐาน (ground state) ตามสมการดังนี้



เมื่ออะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะดังกล่าวข้างต้นเกิดขึ้นแล้วอะตอมและโมเลกุลดังกล่าวมีความไวต่อปฏิริยามากอาจจะเข้าร่วมตัวกันเองหรือไปทำปฏิริยากับอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอะตอมหรือโมเลกุลนั้น ดังต่อไปนี้

2.3.1 ปฏิริยาของอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ในรูปของอิออนหรืออยู่ในรูปสภาวะถูกกระตุ้น

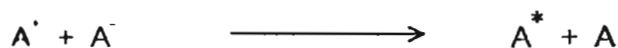
1. ปฏิริยาเคมีที่เกิดจากอิออน

1). ปฏิริยา Ion Recombination



A^* คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้น

หรือ



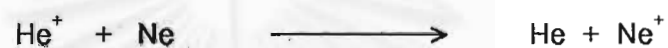
ตัวอย่างเช่น



2). ปฏิกริยา Charge Transfer



ตัวอย่างเช่น



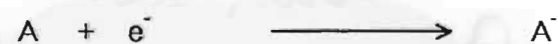
3). ปฏิกริยา Ion - Molecule



ตัวอย่างเช่น



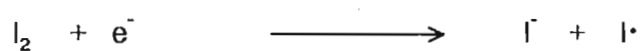
4). ปฏิกริยา Electron Addition



หรือ

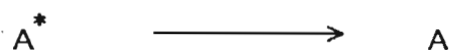


ตัวอย่างเช่น

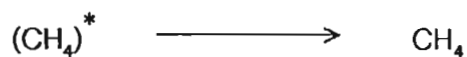


2. ปฏิกริยาที่เกิดจากอะตอมหรือโมเลกุลในสภาวะถูกกระตุ้น

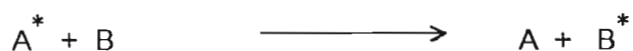
1). ปฏิกริยา Radiative or nonradiative conversion to the ground state no chemical change



ตัวอย่างเช่น



2). ปฏิกริยา Nonradiative Energy Transfer



ตัวอย่างเช่น



3). ปฏิกริยา Electron Transfer



ตัวอย่างเช่น



D เป็นโมเลกุลของ methylene blue

4). ปฏิกริยา Hydrogen Abstraction



ตัวอย่างเช่น

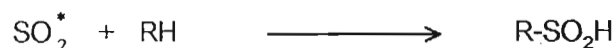


Q เป็นโมเลกุลของ quinone

5). ปฏิกริยา Addition



ตัวอย่างเช่น



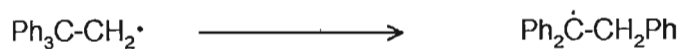
จากปฏิกิริยาของอ็อกซอนหรือโมเลกุลที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นดังกล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่าในบางปฏิกิริยาเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ซึ่งมีความว่องไวต่อปฏิกิริยามาก และมีบทบาทสำคัญต่อการศึกษาด้านเคมีรังสี

2.3.2 ปฏิกริยาของอนุมูลอิสระ

1. ปฏิกริยา Radical Rearrangement



ตัวอย่างเช่น



2. ปฏิกิริยา Radical Dissociation



ตัวอย่างเช่น



3. ปฏิกิริยา Addition



ตัวอย่างเช่น



4. ปฏิกิริยา Abstraction



ตัวอย่างเช่น



5. ปฏิกิริยา Radical Combination



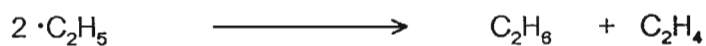
ตัวอย่างเช่น



6. ปฏิกิริยา Disproportionation



ตัวอย่างเช่น



7. ปฏิกิริยา Electron Transfer



ตัวอย่างเช่น

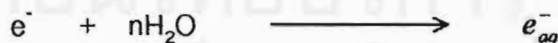
2.4 ผลของรังสีที่มีต่อน้ำ⁵

เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางสำคัญในสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย และน้ำยังเป็นตัวกลางหรือตัวทำละลายในกระบวนการทางเคมีหรือกระบวนการทางชีวะ ดังนั้นจึงมีการศึกษาเคมีรังสีของน้ำอย่างกว้างขวางว่า เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในน้ำแล้วเกิดอะไรขึ้น

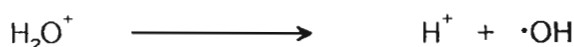
ดังที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในน้ำก็จะทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการแตกตัวเป็นอิออน หรือโมเลกุลอยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นซึ่งจะเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาประมาณ 10^{-18} ถึง 10^{-13} วินาที ภายหลังจากที่รังสีผ่าน และสามารถเขียนเป็นรูปสมการดังนี้



อิเล็กตรอน (e^-) เมื่อเกิดขึ้นมาแล้วก็จะสูญเสียพลังงานโดยการชนกับอะตอมหรือโมเลกุลรอบ ๆ จนกระทั่งพลังงานถึงระดับที่เรียกว่า thermal energy (0.025 eV) อิเล็กตรอนนั้นก็จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ ซึ่งจะเรียกว่าอิเล็กตรอนนี้ว่า Solvated electron ให้สัญลักษณ์ e_{aq}^- ปฏิกิริยาการนี้เกิดขึ้นประมาณ 10^{-11} วินาทีหลังจากที่รังสีผ่าน อาจเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้



อิออนบวก (H_2O^+) เมื่อเกิดขึ้นจะไม่อยู่ตัวจะสลายตัวกลายเป็น H^+ และ $\cdot\text{OH}$ ภายในเวลา 10^{-13} วินาที หลังจากรังสีผ่านซึ่งอาจเขียนในรูปสมการได้ดังนี้



หรือ



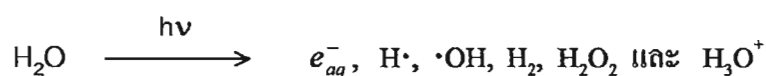
โมเลกุลที่อยู่ในสถานะถูกกระตุ้น (H_2O^*) เมื่อเกิดขึ้นจะไม่อยู่ตัวเช่นเดียวกับ H_2O^+ จะสลายให้ $\text{H}\cdot$ และ $\cdot\text{OH}$ และเกิดขึ้นภายในเวลา 10^{-13} วินาทีหลังจากรังสีผ่าน และสามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้



ถ้าพิจารณาถึง e_{aq}^- , $\cdot\text{H}$, $\cdot\text{OH}$ และ H_3O^+ จะเกิดขึ้น ณ บริเวณรังสีผ่าน ดังนั้นจึงมีโอกาสที่สามารถจะทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันได้มาก และสามารถจะเขียนสมการแสดงถึงปฏิกิริยาได้ดังนี้



ปฏิกิริยาทั้งหมดนี้จะเกิดขึ้นประมาณ 10^{-8} วินาที หลังจากรังสีผ่าน ดังนั้นเมื่อรังสีผ่านเข้าไปในน้ำ หลังจาก 10^{-8} วินาที ก็จะมีเกิดผลิตภัณฑ์หลายชนิดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งรวมเรียกว่า primary species โดยสามารถเขียนในรูปสมการสรุปได้ดังนี้



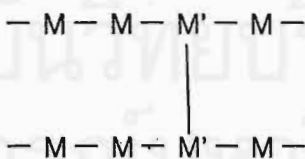
และ primary species เหล่านี้จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไปอีกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีที่มีน้ำเป็นตัวกลางอยู่

2.5 ผลของรังสีที่มีต่อโพลิเมอร์ที่เกิดการครอสลิงก์ขึ้น

เมื่อสายโพลิเมอร์ถูกรังสีไอออนไนซ์จะเกิดผลขึ้นสองอย่างคือ การเกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของโพลิเมอร์ (Crosslinking) และการขาดออกของสายโซ่โพลิเมอร์ (Degradation) ผลของการ Crosslinking ต่อคุณสมบัติของโพลิเมอร์จะทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ค่า Tensile Strength และค่า Modulus เพิ่มขึ้น ค่า Elongation และความสามารถในการทำละลาย (Solubility to Solvent) จะลดลง ส่วนผลของ Degradation ต่อโพลิเมอร์จะเกิดผลในทางตรงกันข้าม

เมื่อโพลิเมอร์ถูกไอออนไนซ์ด้วยรังสี จะเกิดทั้ง Crosslinking และ Degradation ในเวลาพร้อม ๆ กัน แต่จะมีเพียงอย่างเดียวที่เกิดขึ้นมากกว่า หลายปีที่ผ่านมา Miller ได้เสนอกฎในการทำนายว่าถ้าโพลิเมอร์อยู่ในรูป $(-CH_2-CHR-)_n$ จะเกิด Crosslinking ขึ้น และจะเกิด Degradation ถ้าโพลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นคาร์บอน 4 ตัวซ้ำกันไม่เรื่อย ๆ ในรูป $(-CH_2-CR_1R_2-)_n$ ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งใช้กฎดังกล่าวเพื่อแยกกลุ่มโพลิเมอร์เป็นสองกลุ่ม โดยโพลิเมอร์กลุ่มที่ 1 จะเกิด Crosslinking และในโพลิเมอร์กลุ่มที่ 2 จะเกิด Degradation

การเกิด Crosslink จะเกิดโครงข่าย 3 มิติ เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล จะเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล แต่ในการเกิด Degradation น้ำหนักโมเลกุลจะลดลง โดยตัวอย่างการเกิด Crosslink ของโพลิเมอร์ที่เป็น tetrafunctional เป็นดังรูป



ตารางที่ 2.2 แสดงผลของรังสีต่อโพลิเมอร์แต่ละชนิด

Group 1	Group 2
Cross - linking Polymers	Degrading Polymers
Polyethylene $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	Polyisobutylene $-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$
Polypropylene $-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}}-$	Poly - methylstyrene $-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{C}}}-$
Polystyrene $-\text{CH}_2-\overset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\overset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$	Polymethacrylates $-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{COOR}}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{COOR}}{\text{C}}}-$
Polyacrylates $-\text{CH}_2-\overset{\text{COOR}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\overset{\text{COOR}}{\text{CH}}-$	Polymethacrylamide $-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CONH}_2}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CONH}_2}{\text{C}}}-$
Polyacrylamide $-\text{CH}_2-\overset{\text{CONH}_2}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\overset{\text{CONH}_2}{\text{CH}}-$	Polyvinylidene chloride $-\text{CH}_2-\overset{\text{Cl}}{\underset{\text{Cl}}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\overset{\text{Cl}}{\underset{\text{Cl}}{\text{C}}}-$
Polyvinyl chloride $-\text{CH}_2-\overset{\text{Cl}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\overset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$	Cellulose and derivatives
Polyamide ; Polyesters;	Polytetrafluoroethylene
Polyvinylpyrrolidone;	Polytrifluorochloroethylene
Natural rubber ; Polysiloxanes	
Polyvinyl alcohol; Polyacroleine	

บทที่ 3 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับยางธรรมชาติ

ยาง (rubber) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) หรือที่ทางเคมีเรียกว่าเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (polymer) นั้น มีสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่นได้ (elasticity = ยืดหรือยุบได้เมื่อถูกดึงหรือกด และกลับสู่สภาพเดิมได้ เมื่อปล่อยให้เป็นอิสระ) นักอุตสาหกรรมยางจึงเรียกกยางอีกอย่างหนึ่งว่า "elastomer"

3.1 พืชที่ให้ยาง⁷

พืชที่ให้ยางได้ มีมากมายประมาณ 2,000 ชนิด แต่จะมีพืชเพียงไม่กี่ชนิดที่สามารถให้ยางซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการค้าได้ พืชเหล่านี้ที่สำคัญ คือ ยางพาราและยางวายุแล่ พืชทั้งสองชนิดนี้ ให้ยางที่มีโครงสร้างทางเคมีเช่นเดียวกัน สามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางได้เหมือนกัน นอกจากนี้ยังมีพืชอื่นที่ให้ยางซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีต่างไปจากยางพารา ได้แก่ ยางกัตตา ยางบาลาตา ยางซิคเคิล

3.1.1 ยางพารา (*Hevea brasiliensis*)

ยางพารา เป็นพืชที่ปลูกอย่างกว้างขวาง ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดวัตถุดิบยางธรรมชาติที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน และอาจนับได้ว่าเป็นพืชชนิดเดียวที่ให้ยางธรรมชาติที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เป็นที่ยอมรับและเข้าใจกันมาช้านานว่าเมื่อกล่าวถึงยางธรรมชาตาก็จะหมายถึงยางที่ได้จากต้นยางพารา

3.1.2 ยางวายุแล่ (*guayule*)

Guayule (ออกเสียง วายุแล่ = Wi-u-le) เป็นไม้พุ่มตระกูล *Parthenium argentatum* Gray และเป็นไม้พื้นเมือง ขึ้นในภาคเหนือ - ภาคกลางของเม็กซิโกและในภาคตะวันออกเฉียงใต้ของรัฐเทกซัส มียางอยู่ทั่วไปทั้งลำต้น ราก กิ่งก้าน ยกเว้นในใบ การสกัดเอาน้ำยางจากต้นวายุแล่ ต่างจากวิธีการเอาน้ำยางออกจากต้นยางพารา ทั้งนี้เพราะ น้ำยางในต้นวายุแล่มีอยู่ในทุก ๆ เซลล์ของต้น และเซลล์เหล่านี้ต่างกระจายระจัดกระจายเป็นเซลล์โดด ๆ ไม่ต่อเนื่องเช่นกรณีเซลล์ในยางพารา ดังนั้นจึงไม่สามารถกรีดเอาน้ำยางออกจากวายุแล่ได้ จะต้องใช้วิธีสกัดเอาน้ำยางจากวายุแล่

คุณภาพของยางวายุแล่ เมื่อเปรียบเทียบกับยางจากยางพาราด้านส่วนประกอบมีความแตกต่าง คือ น้ำยางจากยางวายุแล่ มีส่วนของเนื้อยางแห้งประมาณ 10 % ขณะที่น้ำยางจากยางพารามีประมาณ 25 - 45 % และยางวายุแล่มีปริมาณสารต่าง ๆ เช่น โปรตีน กรดอะมิโน

และโพลีเปปไทด์ (protein, amino acid, polypeptide) น้อยกว่า ซึ่งสารเหล่านี้มีความสำคัญต่อกระบวนการที่จะนำยางไปใช้ต่อไป ส่วนด้านโครงสร้างทางเคมี เป็นสารประกอบทางเคมีที่เรียกว่า cis-1,4 polyisoprene เช่นเดียวกัน สมบัติของยางดิบใกล้เคียงกัน

3.1.3 ยางกัตตา ยางบาลาตา และยางชีกเคิล (Gutta-Percha, Balata and Chicle)

พืชทั้ง 3 ชนิดนี้ ให้ยางได้เช่นกัน แต่ยางจากพืชเหล่านี้มีสมบัติแตกต่างจากยางของต้นยางพารา มีส่วนประกอบแตกต่างกัน โครงสร้างทางเคมีของยางเหล่านี้เป็นโครงสร้างที่ต่างไปจากยางพารา และมีชื่อเรียกทางเคมีว่า tran-1,4 polyisoprene ในเชิงการค้าจะใช้ยางกัตตาทำส่วนประกอบของลูกกอล์ฟและทำพื้นปloom ใช้ยางบาลาตาในอุตสาหกรรมในแปรรูปสายพาน และยางชีกเคิลทำหมากฝรั่ง

3.2 น้ำยางธรรมชาติ

3.2.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยาง

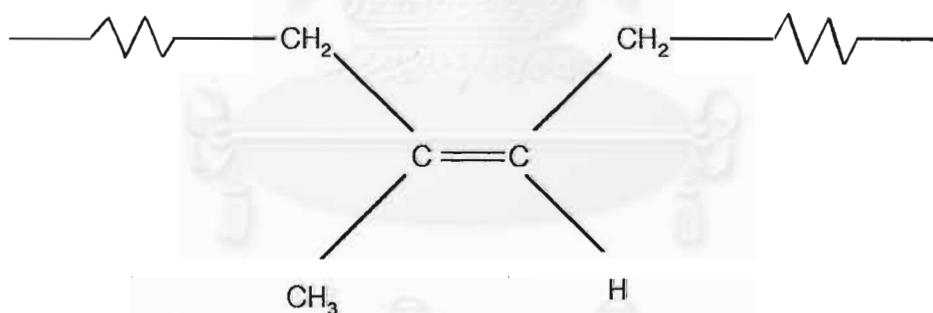
น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีมคล้ายน้ำนม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มี pH ประมาณ 6.5 – 7.0 ความหนืดไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง การกรีด และฤดูกาล เป็นต้น ตารางที่ 3.1 เป็นส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content) ของน้ำยางธรรมชาติ ในสภาพน้ำยางสดไม่แน่นอนคือ ตั้งแต่ 25 – 45 % น้ำยางแต่ละต้นมักจะมีเนื้อยางแห้งและสารประกอบไม่เท่ากัน ต้นเดียวกันถ้าต่างฤดูก็ต่างกัน และในต้นเดียวกันที่โคนต้นที่ยอดและที่กิ่งก็ต่างกัน ยิ่งเป็นผลผลิตต่างประเทศกันคุณสมบัติของเนื้อยางก็ยิ่งแตกต่างกันมาก ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดจะประมาณ 3 % แต่ถ้าปั่นน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นแล้ว ความแตกต่างนี้จะลดลงเหลือประมาณ 1 – 2 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ และการปรับเครื่องปั่น

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
สารพวกโปรตีน	1 – 1.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ...ในปริมาณที่รวมกับสารอื่น ๆ แล้วเป็น 100	

ยางธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรเคมี คือ $(C_5H_8)_n$ เรียกชื่อทางเคมีว่า โพลีไอโซพรีน (polyisoprene) โครงสร้างโมเลกุลยางเป็นแบบ cis-configuration :-



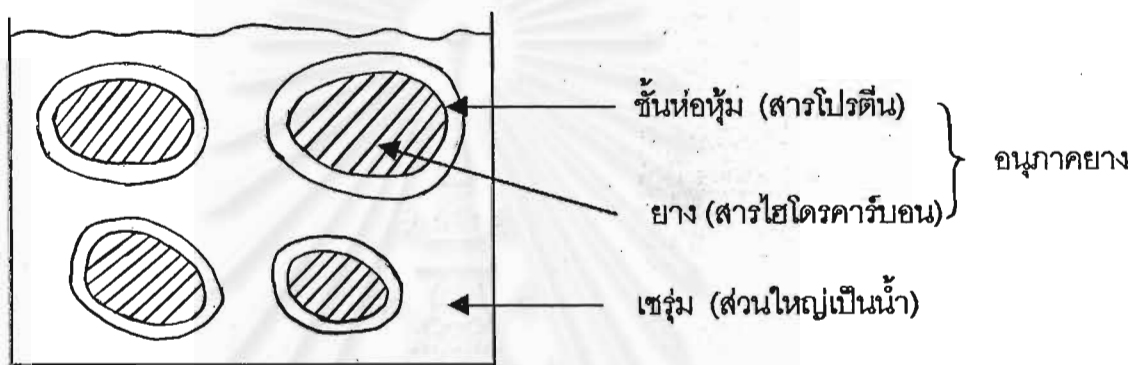
Cis – polyisoprene

มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000 รูปร่างของขนาดอนุภาคยางเป็นรูปกลมหรือลูกแพร์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.05 – 5 ไมครอน (μ , $1\mu = 10^{-4}$ cm.)

ยางมีความยืดหยุ่นได้ เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่ของยางแต่ละโมเลกุลเป็นขดของสายโมเลกุลที่เกิดจากหน่วยย่อยไอโซพรีนต่อเนื่องกัน ยางชิ้นหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยขดของสายโมเลกุลที่พันกันยุ่งเหยิง สายโมเลกุลเหล่านี้ มีสมบัติถูกหักงอหรือยืดได้ (flexible) การดึงหรือการยืดชิ้นยาง ก็เท่ากับยืดสายโมเลกุลของยางให้คลายออก แต่เมื่อปล่อยคืนให้ความเป็นอิสระกับชิ้นยาง สายโมเลกุลยางก็จะพยายามหดตัวกลับมาขดอยู่ในสภาพเดิม

3.2.2 การรักษาสภาพและการเสียสภาพของน้ำยาง

ในทางเคมี จัดน้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง (rubber particle) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรัม (serum) และเป็นที่ทราบกันดีว่าในน้ำยางมีส่วนของโปรตีน ส่วนหนึ่งของโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยาง พอร์มชั้น หรือเปลือกห่อหุ้ม (hydrated protein envelope) อนุภาคยางไว้ (รูปที่ 3.1) ชั้นห่อหุ้มนี้ มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวเป็นของเหลวของน้ำยาง เพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน



รูปที่ 3.1 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด

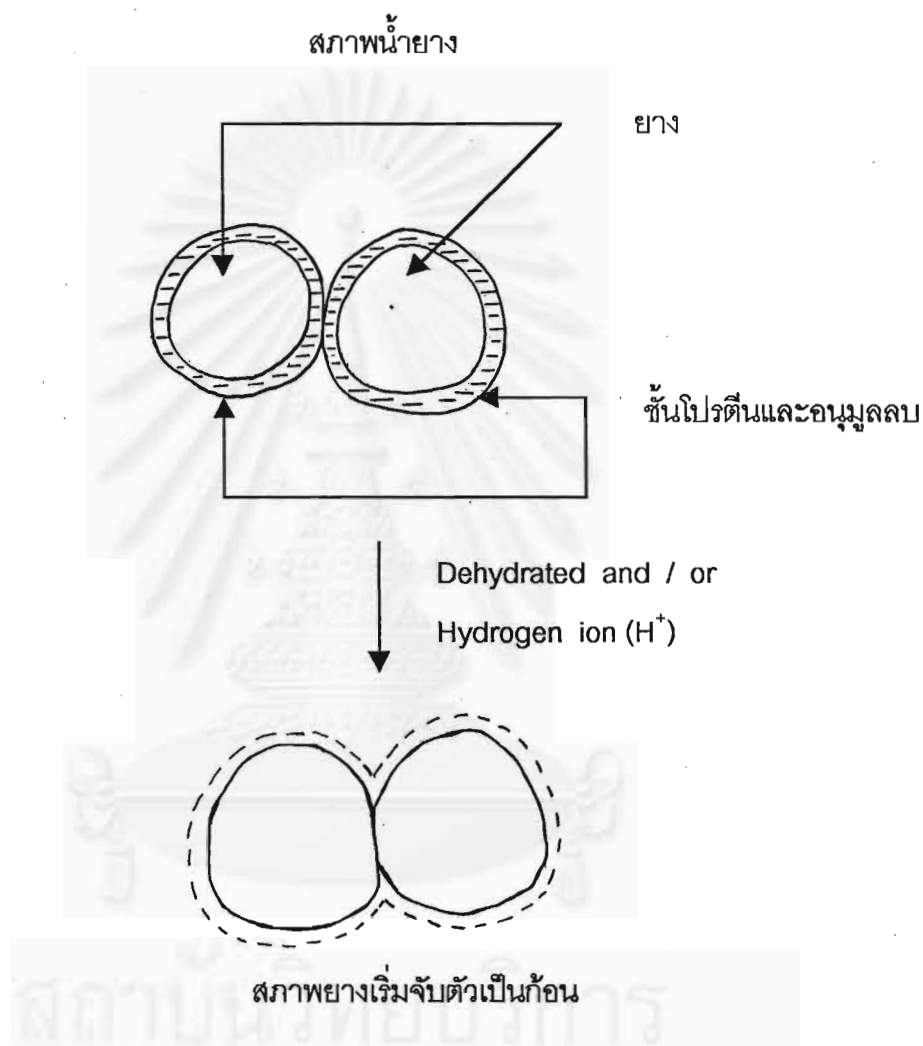
นอกจากชั้นโปรตีนจะห่อหุ้ม ทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้ว ในชั้นโปรตีนนี้ยังมีอนุภาคลบของคาร์บอกซีเลต (Carboxylate R.COO) ซึ่งก่อให้เกิดการผลัดกันระหว่างอนุภาคยาง นั่นคือ น้ำยางคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ 1) ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง และ 2) อนุภาคลบของคาร์บอกซีเลต

การเสียสภาพจากการเป็นของเหลวของน้ำยาง จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญ ทั้งสองดังกล่าวข้างต้น เช่น การสูญเสียน้ำ (dehydrate) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุภาคลบของคาร์บอกซีเลต สภาพที่น้ำยางถูกกระทบกระเทือนดังกล่าวนี้ จะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันจับเป็นก้อนยางเรียกว่า โคแอกกูลัม (coagulum) แยกจากส่วนของเซรัม (รูปที่ 3.2)

3.2.3 สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives)

เนื่องจากในน้ำยางสด มีส่วนประกอบหลายชนิด ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ พวกน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส จุลินทรีย์ในอากาศจะลงปะปนในน้ำยาง มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง ที่ก่อให้เกิดกรดทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน เรียกรวมการจับตัวดังนี้ว่า "การจับตัวที่เกิดเองตามธรรมชาติ" (natural or spontaneous coagulation) การเกิดจะช้าเร็ว

เพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความคงตัวของน้ำยาง พันธุ์ยาง เป็นต้น ดังนั้น เพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการ หรือเพื่อให้น้ำยางอยู่ในสภาพของเหลวตามต้องการ จึงจำเป็นต้องเติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง



รูปที่ 3.2 น้ำยางเสียสภาพจับเป็นก้อนยาง

สารเคมีที่จะใช้รักษาสภาพน้ำยางควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์
2. ควรมีสภาพเป็นด่างเพื่อส่งเสริมสถานะแขวนลอยให้น้ำยาง
3. ทำให้อนุมูลโลหะหนักไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เพราะอนุมูลเหล่านี้จะส่งเสริมการเจริญ

ของจุลินทรีย์

4. สามารถระงับการทำงานของเอนไซม์ ที่ช่วยการเจริญของจุลินทรีย์

5. ไม่เป็นพิษต่อคนและต่อคุณภาพของยาง และขจัดได้สะดวก

สารเคมีชนิดแรกที่พบว่ามีประสิทธิภาพในการรักษาสภาพน้ำยางได้คือ แอมโมเนีย และ จนปัจจุบันแอมโมเนียก็ยังคงเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการรักษาสภาพน้ำยาง นอกจากแอมโมเนีย สารอื่น ๆ ที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ โซเดียมซัลไฟด์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้สารเหล่านี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการรักษา สภาพ เช่น จะรักษาหน้ายางสด เพื่อนำไปแปรรูปเป็นยางดิบชนิดใด ๆ ก็จะต้องเลือกชนิดสารเคมีรักษาสภาพให้เหมาะสม หรือจะเก็บรักษา น้ำยางชั้นไว้นาน ๆ ก็จะต้องเลือกชนิดสารเคมีให้ถูกต้อง เป็นต้น

3.2.4 สารเคมีทำให้น้ำยางจับตัว (Coagulant)

ดังได้กล่าวแล้วว่าหน้ายางสดจะเกิดการจับตัวได้เองตามธรรมชาติอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่จุลินทรีย์ใช้สารบางอย่างในน้ำยางเป็นอาหาร จนก่อให้เกิดการทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง อย่างไรก็ตามการเกิดน้ำยางจับตัวตามธรรมชาตินั้น กว่าจะเกิดการจับตัวสมบูรณ์จะต้องใช้เวลานาน ดังนั้นในกรณีที่ต้องการจะผลิตยางดิบชนิดยางแห้ง ขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตยางแห้งจะต้องทำให้น้ำยางจับเป็นก้อน หากจะรอให้น้ำยางเกิดการจับตัวเองจะต้องเสียเวลารอคอยนาน จึงจำเป็นต้องเร่งการจับตัวของยาง โดยการใช้สารเคมีพวกกรด ซึ่งจะสลายตัวให้อนุมูลบวก ไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง เรียกการจับตัวแบบนี้ว่า acid coagulation

ชนิดของสารเคมีทำให้น้ำยางจับตัว

กรดใด ๆ ที่สลายตัวให้อ่อนบวกของไฮโดรเจน (H^+) สามารถใช้ทำให้น้ำยางจับตัวได้ เพราะ H^+ จะทำลายอนุโมลบของคาร์บอกซีเลตที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคยางเกิดกรดไขมัน (fatty acid) ขึ้นรอบอนุภาคยาง ทำให้พลังยึดรอบอนุภาคยางสูญหายไป ชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางแฟบ อนุภาคยางจะรวมกัน และจับตัวเป็นก้อน (รูปที่ 3.2)



แม้ว่ากรดหลาย ๆ ชนิด สามารถทำให้น้ำยางจับตัวได้ แต่กรดที่ได้ทำการค้นคว้าวิจัย และพบว่าเหมาะสมในการทำให้น้ำยางจับตัวเพื่อนำไปผลิตเป็นยางแห้ง เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นมึงแห้ง ยางเครพ ยางแท่ง คือ กรดฟอร์มิก แต่ถ้าจะทำให้หางน้ำยาง (skim latex) จับตัว เพื่อทำให้เป็นยางสกิมแนะนำให้ใช้กรดซัลฟูริก

3.3 ชนิดของยางธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรม⁷

ปัจจุบันยางดิบจากธรรมชาติ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง มีจำหน่ายหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ ยางแห้ง (dry rubber) และน้ำยางข้น (concentrated latex)

3.3.1 ยางแห้ง

ยางธรรมชาติในรูปของยางแห้งอาจแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของกรรมวิธีการผลิต คือ :-

1. ยางแบบธรรมดา ผลิตโดย conventional process ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ
2. ยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล – technically specified process ได้แก่ ยางแท่ง (block rubber)
3. ยางแบบอื่น ๆ มีวิธีการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ หรือเพื่อวัตถุประสงค์จะปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ

3.3.2 น้ำยางข้น

น้ำยางข้นที่ผลิตจำหน่ายทั่วไป อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือน้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ได้ผ่านการทรีตกับสารเคมีหรือวิธีการใด ๆ ให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลงไป ส่วนอีกประเภทหนึ่ง เป็นน้ำยางข้นที่ได้ผ่านกระบวนการทรีตด้วยเคมี หรือด้วยการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลง ประเภทหลังนี้เรียกว่า "น้ำยางพรีวัลคาไนซ์" (prevulcanized or vulcanized latex)

3.4 การผลิตยางแห้ง⁷

ปัจจุบันยางแห้งที่ผลิตจำหน่ายในประเทศ ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางแท่ง ยางสกิม วัตถุดิบจากต้นยางพาราที่จะนำไปผลิตเป็นยางแห้งต่าง ๆ ได้แก่

1. น้ำยางจากสวน (fresh or field latex) นำไปผลิตเป็นยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพคุณภาพดี และยางแท่งคุณภาพดี
2. ยางแห้งที่จับตัวแล้ว (dried rubber, naturally coagulated) ได้แก่ พวกเศษยางก้อน (cup lump) ที่ติดกันถ้วยรับน้ำยาง เศษยางตามรอยกรีด (tree lace) ยางแห้งติดเปลือกไม้ ยางแห้งตามพื้นดิน (bark scrap, earth scrap) เป็นต้น เศษยางเหล่านี้หรือที่ชาวสวนเรียกว่า ชี้อยาง จะถูกนำไปผลิตเป็นยางเครพ และยางแท่งคุณภาพต่ำ

3.4.1 ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS)

การผลิตยางแผ่นรมควันประกอบด้วยการรวบรวมน้ำยางสดจากสวนกรองน้ำยางด้วยแรงกรองเบอร์ 60 เพื่อแยกสิ่งสกปรกและสิ่งเจือปนมาในน้ำยางออก บรรจุน้ำยางลงถังพัก เพื่อรวมน้ำยางที่มาจากหลาย ๆ แห่ง ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเพื่อให้โอกาสสิ่งเจือปนที่อาจหลงเหลืออยู่ได้ตกตะกอนลงก้นถัง ต่อไปจึงเจือจางน้ำยางให้เหมาะสมในการทำให้จับเป็นก้อนยางที่เหมาะสมกับกระบวนการขั้นต่อไป เมื่อเจือจางน้ำยางตามต้องการแล้ว จึงเติมกรดซัลฟูริกให้น้ำยางจับตัวแล้วจึงรีดก้อนยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด ยางที่รีดได้จะมีความหนาประมาณ 2 – 3 mm. ถูกนำไปผึ่งในที่ร่ม อากาศถ่ายเทสะดวกเพื่อให้ระเหยน้ำ จากนั้นจึงนำไปรมควันให้แห้งในโรงรมควัน อาศัยควันไฟรมให้ยางแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 50° – 60° C ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 4 – 10 วัน ยางที่รมควันแห้งแล้วจะถูกคัดเลือกเพื่อจัดชั้นด้วยการตรวจดูด้วยสายตา (visual grading) เป็นชั้น ๆ ชั้นสุดท้ายคือการอัดเป็นก้อนน้ำหนักก้อนละประมาณ 100 กิโลกรัม ฉาบหรือเคลือบก้อนยางด้วยสารละลายยางผสมกับแป้งเพื่อป้องกันก้อนยางติดกัน

3.4.2 ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air Dired Sheet, ADS)

ยางแผ่นผึ่งแห้ง เป็นยางแผ่นที่มีสีจาง ผ่านกรรมวิธีการผลิตทำนองเดียวกับการผลิตยางแผ่นรมควัน แต่มีเงื่อนไขการผลิตที่เข้มงวดกว่า และมีวิธีการทำให้แผ่นยางแห้งโดยใช้ความร้อนที่ปราศจากควันไฟ ไม่มีการเติมสารเคมีอื่น ๆ ที่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ นอกจากสารเคมีที่อนุญาตได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์และพาราไนโตรฟินอล

เนื่องจากการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้งจะเน้นเรื่องสีของแผ่นยาง ดังนั้นในการผลิต จึงจำเป็นต้องคัดเลือกน้ำยางที่มีสีขาว และควบคุมการผลิต เพื่อให้ได้ผลผลิตในขั้นสุดท้ายเป็นยางแผ่นที่มีสีจางและสีใส

วิธีการปฏิบัติกันโดยทั่วไปในการผลิตยางแผ่นรมควัน และยางแผ่นผึ่งแห้งในประเทศ คือ มีขั้นตอนการทำยางแผ่นดิบ โดยการรวบรวมน้ำยางไปจนถึงขั้นการรีดก้อนยางเป็นแผ่น และผึ่งให้ยางแห้งจากน้ำประมาณ 80% - 90% นั้น เป็นขั้นตอนที่ชาวสวนดำเนินการกัน และมีการรวบรวมยางแผ่นดิบเหล่านี้ไปขายให้โรงงานที่มีโรงรมหรือโรงอบแห้ง ทางโรงรมหรือโรงอบแห้งจะรับซื้อยางแผ่นดิบนำไปคัดเลือกเข้าโรงรมหรือโรงอบที่ไม่ใช้ควันไฟ แล้วแต่ความเหมาะสมว่า ยางนั้น ๆ ควรจะอบแห้งในลักษณะใด

3.4.3 ยางเครพ (Crepe)

ยางเครพที่ผลิตจำหน่ายในประเทศ มี 2 ชนิด คือ เครพชนิดคุณภาพดี เรียกว่าเครพสีจาง (pale crepe) และเครพคุณภาพต่ำ เรียกว่า เครพสีน้ำตาล (brown crepe) เครพสีจางใช้วัตถุดิบที่เป็นน้ำยางสดมาผลิต ส่วนเครพสีน้ำตาลผลิตมาจากเศษยางที่จับตัวแล้ว

1). ยางเครพสีจาง

การผลิตยางเครพสีจาง มีหลักการสำคัญที่ต้องยึดเช่นเดียวกับกรณีการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง คือเรื่องสีของน้ำยาง การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่จะมีผลก่อให้เกิดยางสีคล้ำ

ขั้นตอนการผลิตยางเครพสีจาง คือ รวบรวมน้ำยางสดที่ได้คัดเลือกจากพันธุ์ยางที่ให้น้ำยางสีขาว รักษาสภาพน้ำยางสดด้วย โซเดียมซัลไฟด์ หรือฟอร์มาลดีไฮด์ หรือแอมโมเนีย กรองน้ำน้ำยางด้วยแรงกรองเบอร์ 60 เมช แล้วเจือจางน้ำยางด้วยน้ำสะอาด เติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ จากนั้นจึงทำให้น้ำยางจับตัวเพียงบางส่วน (fraction coagulation) โดยการคำนวณปริมาณกรดที่เติม เพื่อให้เกิดการจับตัวเพียงส่วนอื่น ๆ (โปรตีน สารสีพวกคาโรทีนอยด์) ที่ไม่มีความเสถียรเสียก่อน และแยกสารเหล่านี้ออกจากน้ำยางชั้น ต่อไปจึงเติมสารช่วยฟอกสียาง แล้วจึงเติมกรดฟอร์มิกให้น้ำยางจับตัวอย่างสมบูรณ์ และผ่านก้อนยางจับตัวเข้าเครื่องเครพรีดยางออกมาเป็นแผ่นเครพ หนา 2–3 mm. ผึ่งสะเด็ดน้ำ อบแห้ง ใช้ความร้อนประมาณ 50 ° และหีบห่อจำหน่ายปกติมักห่อเครพสีจางด้วยพลาสติก หรือ กระดาษสีน้ำตาล

เนื่องจากการผลิตเครพสีจางมีวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก ปัจจุบันผู้ผลิตเครพสีจางอย่างจริงจังในประเทศมีเพียงรายเดียว คือที่โรงงานขององค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2). ยางเครพสีน้ำตาล

เครพสีน้ำตาล เป็นเครพที่มีปริมาณการผลิตมากกว่าเครพสีจางเพราะวิธีการและเงื่อนไขการผลิตไม่ยุ่งยากเช่นการผลิตเครพสีจาง วัตถุดิบที่ใช้เป็นพวดยางที่แห้งมาก่อนแล้ว หรือคือพวกรีขังที่ชาวสวนเก็บรวบรวมมาขาย ขั้นตอนของการผลิตจะประกอบด้วยการจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ติดมากับยาง วิธีการที่ใช้ปฏิบัติกัน คือ การหมัก หรือแช่ขี้นยางในบ่อที่ปล่อยให้น้ำไหลชะล้างสิ่งสกปรก และสิ่งปลอมปนต่าง ๆ มีโอกาสตกตะกอนลงก้นถัง ขึ้นต่อไปก็จะผ่านขี้นยางที่หมักไว้นานพอควรนี้ไปยังชุดเครื่องจักรแยกสิ่งสกปรก ซึ่งหลักการสำคัญของการทำงานของชุดเครื่องจักรนี้ คือ เครื่องจักรซึ่งประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงขนานกัน มีเครื่องยนต์จุดให้ลูกกลิ้งหมุนเข้าหากัน ขี้นยางจะถูกส่งผ่านเข้ารับการบดขยี้ระหว่าง 2 ลูกกลิ้ง ขี้นยางที่ผ่านการบดขยี้จากเครื่องบดนี้แล้วจะถูกส่งผ่านไปตามสายพาน ขณะที่ยางผ่านเครื่องบดและส่งผ่านออกมาที่

สายพานนั้น จะมีระบบการฉีดพ่นน้ำสะอาด เพื่อช่วยชะล้างสิ่งสกปรกออกจากยาง จำนวนครั้ง หรือจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ขัดแยกสิ่งสกปรกออกจากยาง ขึ้นอยู่กับความสกปรกของขี้นยาง เมื่อขี้นยางถูกขจัดสิ่งสกปรกออกจนพอเหมาะดีแล้ว จากนั้นขี้นยางเหล่านี้จะถูกส่งเข้าเครื่องรีดเครฟ และ ผึ่งสะเด็ดน้ำ อบแห้ง และหีบห่อ ฉาบสารละลายยางผสมแป้งเพื่อเตรียมจำหน่ายต่อไป

3.4.4 ยางแท่ง (Block Rubber or Technically Specified Rubber, TSC)

ยางแท่ง หรือ ยางที่ผลิตโดยมีวิธีการระบุคุณภาพมาตรฐาน เป็นยางที่ประเทศมาเลเซีย ได้ริเริ่มขึ้นเมื่อประมาณ ปี 2508 โดยมีเหตุผลเพื่อการปรับปรุงรูปแบบของการผลิตยางธรรมชาติ ให้ลดเวลาการผลิต มีการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานสากล และจำแนกชั้นโดยวิธีการในห้องปฏิบัติการ และตามกำหนดสากล วิธีการตรวจสอบตลอดจนข้อกำหนดชั้นต่าง ๆ ของยางแท่ง โดยผู้ผลิตยางแท่งจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่วางไว้โดยองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization for Standardization, ISO) หีบห่อให้เหมาะสมกับการขนส่ง และการนำไปใช้งาน

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางแท่ง ใช้ได้ทั้งน้ำยางสดจากสวน และยางแท่งที่จับตัวแล้ว หลักการสำคัญของวิธีการผลิตยางแท่ง คือ มีขั้นตอนการตัดย่อยก้อนยางให้เป็นเม็ด หรือ ชิ้นเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว ล้าง อบแห้ง และอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม

3.4.4.1 การผลิตยางแท่งจากน้ำยาง

ขั้นตอนการผลิต เริ่มต้นจากการคัดเลือกน้ำยางที่มีสีขาวสม่ำเสมอ รักษาสภาพด้วยสารป้องกันน้ำยางจับตัว และใช้สารป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำยาง รวบรวมน้ำยางในถังพัก เพื่อผสมให้น้ำยางที่มาจากที่ต่าง ๆ กันมีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเจือจางน้ำยางด้วยน้ำสะอาด ทำให้น้ำยางจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก นำก้อนยางที่จับตัวใหม่ ๆ (สด) ผ่านเครื่องรีดแผ่นเครฟ ผ่านเครื่องจักรตัดย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ ล้างยางด้วยน้ำสะอาด นำไปเข้าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C นานประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วเป่าลมเย็น หรือทิ้งให้ยางเย็นลง ประมาณ 60 °C นำไปอัดเป็นแท่ง ๆ ละ 33 1/3 กิโลกรัม ขนาด 675 x 330 x 190 มิลลิเมตร ห่อแท่งยางด้วยแผ่นพลาสติกโพลีเอทิลีน บรรจุลงไม้เพื่อการจำหน่ายต่อไป

3.4.4.2 การผลิตยางแท่งจากยางแห้ง

ขั้นตอนสำคัญของการผลิตยางแท่งจากยางแห้งพวกขี้นยาง ก็ทำนองเดียวกับการผลิตยางเครฟสีน้ำตาล คือ การขจัดสิ่งปลอมปนทั้งหลายที่ติดมากับขี้นยางออก วิธีการที่ปฏิบัติในการขจัดสิ่งสกปรกเหล่านี้ เช่นเดียวกับวิธีการที่ใช้กับการผลิตเครฟสีน้ำตาล คือ ประคบด้วยการหมักแช่น้ำ และการใช้เครื่องจักรตัดล้าง หลังจากกระบวนการแยกสิ่งสกปรกแล้ว ขั้นตอนต่อจากนี้ จะ

เหมือนกับขั้นตอนของการผลิตยางแท่งจากน้ำยาง คือ ผ่านยางไปยังชุดเครื่องรีดเครฟ ชุดเครื่องตัดย่อยยางเป็นชิ้นเล็ก ๆ ล้างด้วยน้ำสะอาด น้ำยางเข้าเครื่องอบยางเป่าให้ยางเย็นลง ถัดเป็นแท่ง นีบห่อด้วยพลาสติกโพลีเอททิลีน และบรรจุลงไม้เพื่อการจำหน่ายต่อไป

3.4.5 ยางskim (Skim rubber)

ในการผลิตน้ำยางชั้นจะมีผลพลอยได้ คือ หางน้ำยางที่ยังมีปริมาณเนื้อยางอยู่ประมาณ 8% ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ และการปรับเครื่องบั่นน้ำยาง หางน้ำยางเหล่านี้ถูกนำไปแปรรูปเป็นยางดิบแท่ง เป็นชนิดskimบล็อก (skim block) หรือ ชนิดskimเครฟ (skim crepe) จำหน่ายต่อไป

3.4.5.1 การผลิตยางskim

หางน้ำยาง เมื่อออกจากเครื่องบั่น จะผ่านการไล่แอมโมเนียโดยวิธีการปล่อยให้หางน้ำยางไหลไปตามรางรองรับซึ่งมีอากาศพัดผ่าน ลงสู่บ่อพักที่อยู่ในที่โล่ง มีอากาศพัดผ่านช่วยไล่ก๊าซแอมโมเนียได้ดี หางน้ำยางควรเหลือแอมโมเนียเพียงประมาณ 0.2% (ต่อน้ำหนักหางน้ำยาง) ก่อนทำการจับให้หางน้ำยางเป็นก้อนด้วยการเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ถ้าหางน้ำยางมีปริมาณเนื้อยางอยู่ต่ำมากอาจมีปัญหาการจับตัวของหางน้ำยาง วิธีการที่พอจะช่วยให้ได้ คือ การผสมน้ำยางสด (อาจใช้น้ำยางก้นบ่อพักก่อนจะบั่นน้ำยางชั้น หรือน้ำยางสดที่คุณภาพไม่เหมาะสมที่จะนำไปบั่น) เมื่อได้ก้อนยางจับตัวแล้ว จึงนำไปผ่านการตัดย่อย อบอัดแท่งเป็นskimบล็อก หรือนำก้อนยางจับตัวไปเข้าเครื่องเครฟ รีดเครฟ ผึ่งแห้งอัดก้อนเป็นskimเครฟ

3.5 การผลิตน้ำยางชั้น^{7,8}

ปกติน้ำยางสดจากสวน จะมีปริมาณเนื้อยางแห้งเพียงประมาณ 25 – 45% นอกนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำ และมีสารของแข็งที่ไม่ใช่ยางบ้าง ฉะนั้นหากต้องการนำน้ำยางไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ ในโรงงาน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ไกลจากสวนยาง หรือจากแหล่งยางธรรมชาติ จึงเป็นการไม่สะดวก นอกจากนั้นสารต่าง ๆ บางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยาง ยังอาจมีผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางไม่ดีอีกด้วย เหตุผลเหล่านี้ คือที่มาของการทำน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางที่มีความชื้น คือมีปริมาณเนื้อยางแห้งเป็น 60% ซึ่งมีความชื้นที่มีความเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

วิธีการผลิตน้ำยางชั้นที่ทำกันในเชิงการค้ามี 3 วิธี คือ วิธีระเหยน้ำ (evaporation) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) วิธีปั่น (centrifuging) และอีกวิธีหนึ่งซึ่งไม่สามารถทำเป็นการค้าได้ เพราะไม่สะดวกและลงทุนสูง คือการใช้กระแสไฟฟ้าแยก (electrodecantation)

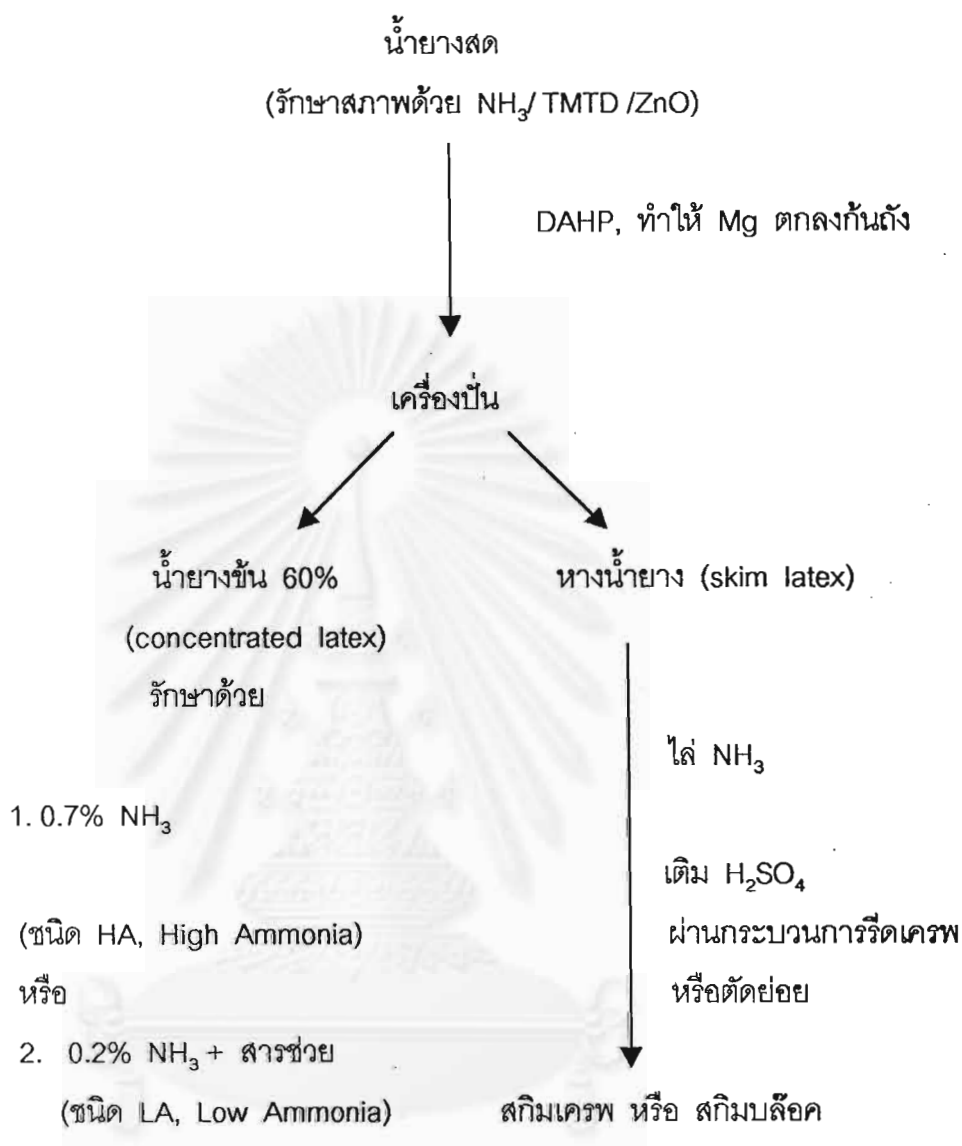
3.5.1 กรรมวิธีการปั่นน้ำยางชั้น

โรงงานผลิตน้ำยางชั้นจะต้องจัดหาน้ำยางสดจากสวน ปกติจะตั้งจะรับซื้อน้ำยางตามจุดต่าง ๆ หรือชาวสวนยางบางรายอาจขนน้ำยางมาส่งให้ที่โรงงานโดยตรง การรวบรวมน้ำยางจากสวนจะโดยวิธีใด ๆ ก็ตาม ข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึงและถือปฏิบัติ คือ การรักษาความสะอาด การใช้สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางอย่างถูกต้องและพอเพียง ปกติจะใช้แอมโมเนียตามลำพัง หรือร่วมกับสารช่วยเช่น tetramethyl thiuram disulphide (TMTD) กับ zinc oxide (ZnO) ควรนำน้ำยางที่รวบรวมได้เข้ากระบวนการให้เร็วที่สุดจึงจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี เมื่อนำน้ำยางเข้าโรงงานแล้วจะถ่ายลงถังรวม เก็บตัวอย่างตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ตลอดจนปริมาณธาตุแมกนีเซียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับสมบัติน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อไป ในทางปฏิบัติโรงงานจะปล่อยให้ น้ำยางตกตะกอนธาตุแมกนีเซียม ซึ่งถูกตรึงด้วย diammonium hydrogen phosphate (DAHP) อย่างน้อยใช้เวลา 1 วัน ในการตกตะกอนดังกล่าว ต่อจากนี้จะใส่น้ำยางออกจากถังเก็บสู่การปั่นด้วยเครื่องปั่น น้ำยางที่ผ่านเข้าไปในเครื่องนี้จะถูกเหวี่ยงด้วยจานซึ่งหมุนด้วยความเร็ว 2,000 – 3,000 รอบต่อ 1 นาที น้ำยางซึ่งเบากว่าน้ำจะถูกเหวี่ยงขึ้นข้างบนและไหลออกทางช่องออกตอนส่วนบนของเครื่อง ส่วนน้ำจะถูกแยกออกไปช่องข้างล่างอีกช่องหนึ่ง โดยวิธีนี้ น้ำยางจะแยกออกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งคือ น้ำยางชั้นที่ต้องการและอีกส่วนหนึ่งเป็นผลพลอยได้ คือ หางน้ำยาง (skim latex) ซึ่งยังคงมีปริมาณเนื้อยางอยู่บ้าง ประมาณไม่เกิน 8% หางน้ำยางนี้ถูกนำไปผลิตเป็นยางสกิม

3.5.2 ระบบการรักษาสภาพน้ำยางชั้น

น้ำยางชั้นที่ผลิตได้ จะต้องเติมหรือปรับแอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยาง ปกติมีระบบรักษา น้ำยางชั้น 2 ระบบ คือ

1. รักษาด้วยปริมาณแอมโมเนียมาก ประมาณ 0.7% (ต่อน้ำหนักน้ำยาง) เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า HA (High Ammonia)
2. รักษาด้วยปริมาณแอมโมเนียน้อย ประมาณ 0.2% (ต่อน้ำหนักน้ำยาง) และมีสารช่วยบางชนิด เช่น TMTD/ZnO เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า LA (Low Ammonia)



รูปที่ 3.3 ผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น

3.5.3 สมบัติน้ำยางข้น

สมบัติที่ใช้ระบุคุณภาพน้ำยางข้น คือ

1. ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด (total solid content, TSC)
2. ปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC)
3. ความเป็นด่าง (alkalinity, % NH_3)
4. เวลาความคงตัวต่อเครื่องมือกล (mechanical stability time, MST)
5. จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid number, VFA No.)

6. จำนวนโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide number, KOH No.)
7. ปริมาณก้อนยางจับตัว (coagulum content)
8. ปริมาณตม (sludge content)
9. กลิ่น และ สี

วิธีการทดสอบน้ำยางข้นโดยทั่วไป จะยึดหลักการตามวิธีที่ องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศกำหนดไว้ ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดขีดจำกัดของสมบัติน้ำยางข้นที่ผลิตจากวิธีการปั่น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 การกำหนดขีดจำกัดของสมบัติน้ำยางชั้นที่ผลิตจากวิธีการปั่น
(ตามมาตรฐาน ISO 2004-1979 E)

สมบัติ	ขีดจำกัด	
	ชนิด HA	ชนิด LA
ปริมาณของแข็งทั้งหมด ¹ (% ต่ำสุด)	61.5	61.5
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (% ต่ำสุด)	60.0	60.0
ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่เนื้อยาง ² (% สูงสุด)	2.0	2.0
ความเป็นต่าง (ในรูปแอมโมเนีย) ของน้ำยาง	0.60 (ต่ำสุด)	0.29 (สูงสุด)
เวลาความคงตัวต่อเครื่องกล ³ (วินาที, ต่ำสุด)	650	650
ปริมาณของโคแอกกูลัม (% สูงสุด)	0.50	0.50
ปริมาณธาตุทองแดง (มก./กก.ของปริมาณของแข็งทั้งหมด, สูงสุด)	8.0	8.0
ปริมาณแมงกานีส (มก./กก. ของปริมาณของแข็งทั้งหมด, สูงสุด)	8.0	8.0
ปริมาณตะกั่ว (% สูงสุด)	0.10	0.10
จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA No., สูงสุด)	ตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ผลิตและผู้ ใช้แต่ต้องไม่สูงเกินกว่า 0.20	
จำนวนโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ ⁴ (KOH No., สูงสุด)	ตามที่ตกลงกันระหว่างผู้ผลิตและผู้ ใช้แต่ต้องไม่สูงเกินกว่า 1.0	
การตรวจดูสีด้วยสายตา	ไม่เป็นสีฟ้า หรือสีเทา	
การตรวจดูกลิ่นภายหลังการทำให้เป็นกลาง โดยกรดบอริก	ไม่มีกลิ่นบูดเน่า	

¹ ปริมาณของแข็งทั้งหมดเลือกได้ตามที่ต้องการ

² ผลต่างระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้ง

³ เวลาความคงตัวต่อเครื่องกลต่ำสุดอาจเป็นค่าที่สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้

⁴ ถ้าน้ำยางประกอบด้วยกรดบอริก จำนวนโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์อาจเกินกว่าที่กำหนดไว้ได้ โดยปริมาณที่เกินไปนั้นมีสมมูลย์เท่ากับกรดบอริกซึ่งทดสอบหาได้โดยวิธีของ ISO 1802

3.6 น้ำยางคงรูป หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

น้ำยางคงรูป หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (prevulcanized latex or vulcanized latex) เป็นน้ำยางที่โมเลกุลยางได้เกิดพันธะเคมี (chemical crosslink) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารเคมีที่จำเป็นไว้แล้ว หรือการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลงไป

การวัลคาไนซ์ก็เพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของยางให้ดีขึ้น คือ

1. ยางเปลี่ยนโครงสร้างจากเส้นตรงเป็นร่างแห 3 มิติ โดยการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำใหยางเปลี่ยนจากวัสดุพลาสติกไปเป็นวัสดุอีลาสติกสูงขึ้น
2. สมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น
3. มีความทนทานต่อความร้อน แสง เพิ่มขึ้น ทำให้สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างมากขึ้น

การทำน้ำยางวัลคาไนซ์ แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ

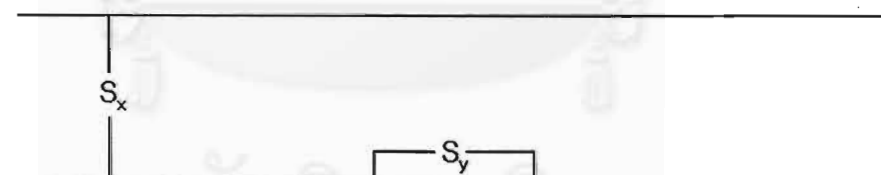
3.6.1 การทำน้ำยางวัลคาไนซ์โดยใช้ซัลเฟอร์^{7,9,10}

วิธีการผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ประกอบด้วยการนำน้ำยางข้น หรือน้ำยางสด มาผสมกับสารเคมีในระบบทำใหยางคงรูป (vulcanizing system) ซึ่งประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์ สารเร่งปฏิกิริยา เช่น zinc diethyl dithiocarbamate (ZDC) และซัลเฟอร์ และสารระบบช่วยความคงตัว (stabilizer) ตัวอย่างสูตรตามตารางที่ 3.3 ให้ความร้อนกับน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 70 ° - 80 °C เวลาประมาณ 2 1/2 ชั่วโมง ตรวจสอบสถานะการคงรูปของน้ำยาง โดยทดสอบการจับตัวกันของน้ำยางด้วยคลอโรฟอร์ม (chloroform test) เมื่อได้สถานะการคงรูปตามต้องการ ซึ่งปกติสังเกตจากก้อนยางจับตัวมีลักษณะเป็นก้อนนิ่มเหนียวเล็กน้อย ทำให้เย็น ตรวจสอบคุณภาพ ถ้าใช้น้ำยางสดทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เมื่อได้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ต้องการแล้วจะนำเข้าเครื่องบด ทำให้เข้าขั้นประมาณ 58 - 60 % (on solid) และถ้าใช้น้ำยางข้นทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เมื่อปฏิกิริยาการทำพรีวัลคาไนซ์ได้ตามต้องการแล้ว จะทำการกรองน้ำยางเพื่อแยกสารเคมีที่เหลือ และแยกยางที่จับเป็นฝ้าที่ผิวออก น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ดีสามารถเก็บไว้ใช้งานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้นับเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 6 เดือน

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูป

สารต่าง ๆ	ส่วนโดยน้ำหนัก	
	แห้ง	เปียก
น้ำยางข้น 60%	100	167
ซิงค์ออกไซด์	1	-
ซิงค์ไดเอททิลไดโทโอคาบาเมต	1	8
ซิลเฟอร์	1	-
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (10%)	0.3	3
สารช่วยความคงตัว (10%)	0.3	3
เช่น โปแตสเซียมลอเรต		

กำมะถันเป็นสารที่ทำให้ยางคงรูปที่นิยมใช้มากที่สุด โดยเมื่อใส่กำมะถันลงไปแล้วให้ความร้อนจะทำให้ยางเกิดการคงรูปขึ้น โดยเมื่อร้อนไม่เหลวหรือแข็งเหนียว เมื่อเย็นไม่แข็ง โดยกำมะถันเป็นตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลยาง ทำให้ยางมีสมบัติที่ดีขึ้น โดยกำมะถันจะเชื่อมต่อโมเลกุลของยางดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน

S_x เป็นการเชื่อมโยงระหว่างสองโมเลกุล

S_y เป็นการเชื่อมโยงภายในโมเลกุลเดียวกัน

การวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันจะต้องมีสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Accelerator) และสารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูป (Acivator) โดยถ้าใช้กำมะถันอย่างเดียวจะต้องใช้กำมะถันในปริมาณมาก และต้องใช้เวลานานที่อุณหภูมิสูงในการคงรูป การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปร่วมกับ

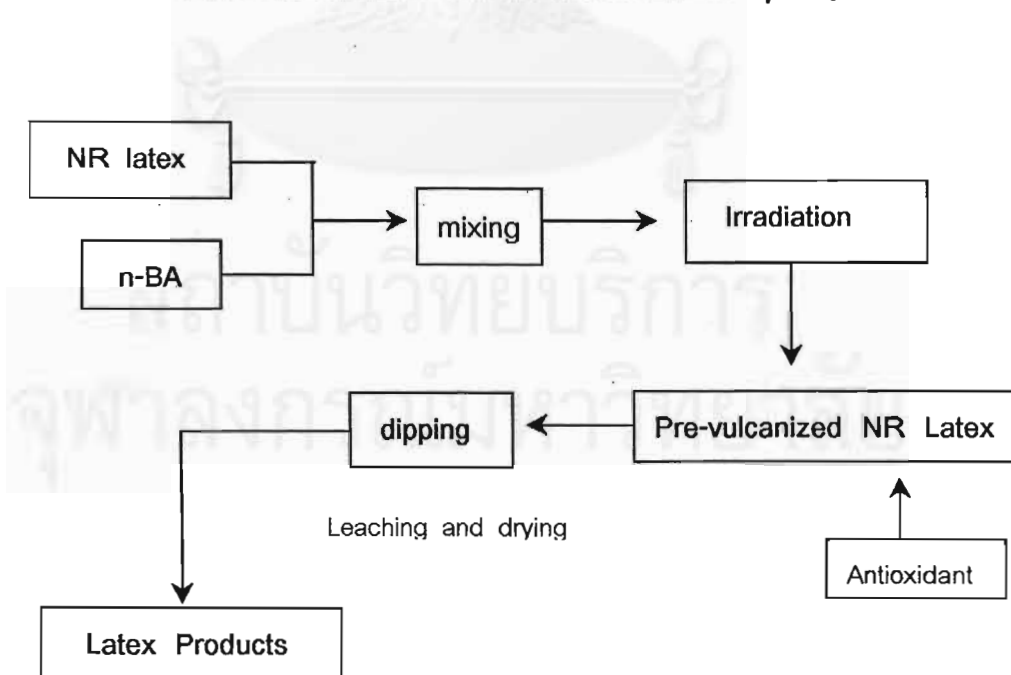
กำมะถัน สารเร่งนี้จะช่วยลดเวลา ลดอุณหภูมิ และลดปริมาณกำมะถันที่ใช้ในการคงรูปลดลง นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของยางให้ดีขึ้นด้วย สารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ เช่น ไทอูรัม (Thiurams) และไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamates)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปเป็นสารที่เสริมตัวเร่ง โดยจะช่วยเร่งอัตราการคงรูปของยางให้เร็วขึ้น โดยทำให้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปมีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งสารกระตุ้นนี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประสิทธิภาพในการเร่งให้กำมะถันเกิดความว่องไวต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุล สารกระตุ้นปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)

3.6.2 การทำน้ำยางวัลคาไนซ์โดยใช้รังสี^{11,12,13,14}

การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติโดยการฉายรังสี (Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex, RVNRL) เป็นการทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยางโดยการให้พลังงานสูง ๆ โดยรูปที่ 3.5 แสดงกระบวนการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติโดยการฉายรังสี โดยกระบวนการประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ

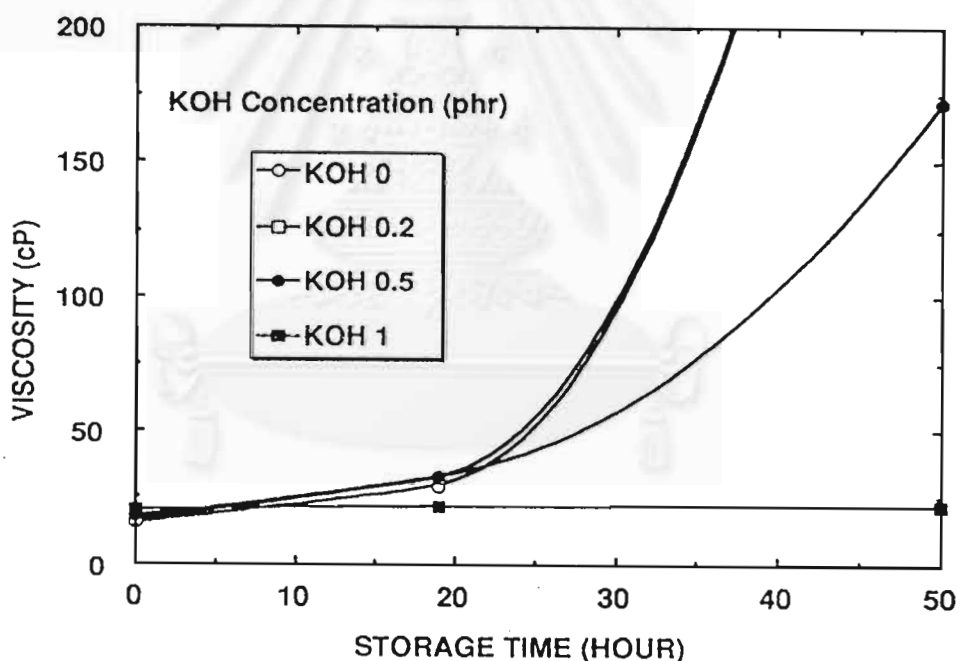
- 1). ผสมน้ำยางธรรมชาติ (NR) กับสารไวปฏิกิริยา (sensitizer) บางชนิด เช่น n-butyl acrylate (n-BA)
- 2). ฉายรังสีน้ำยางที่ได้รับการผสมแล้วด้วยรังสีแกมมา (γ - rays)



รูปที่ 3.5 กระบวนการผลิต RVNRL

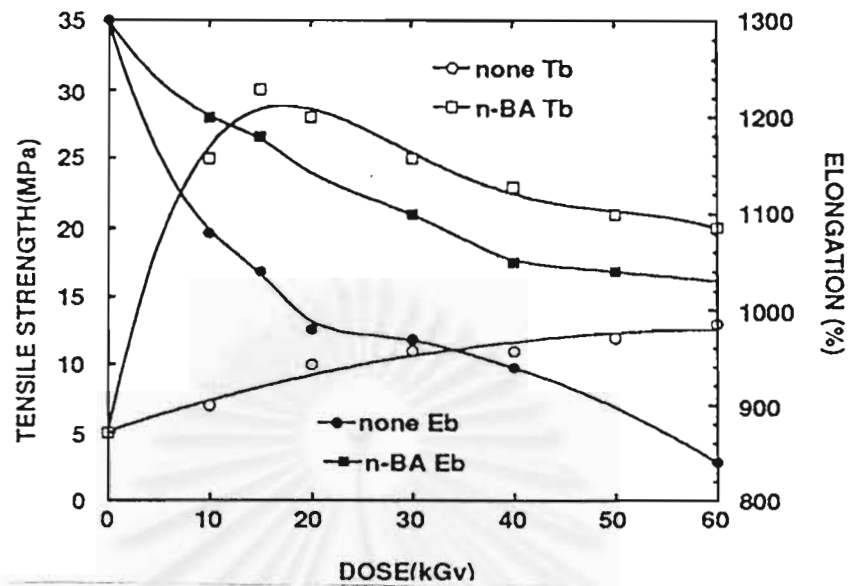
การวัลคาไนซ์น้ำยางจะต้องใช้ปริมาณรังสี (Vulcanization dose, D_v) ประมาณ 250 – 350 kGy เพื่อให้ได้ค่า Tensile strength (Tb) สูงสุด ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่สูง ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารไวปฏิกิริยา เรียกว่า RV sensitizer สารไวปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการวัลคาไนซ์โดยใช้รังสีที่นิยมใช้เป็นพวก Monofunctional acrylates (MFA) เช่น 2-ethylhexyl acrylate (EHA) และ n-butyl acrylate (n-BA) แต่จะนิยมใช้ n-BA มากกว่า เนื่องจากสามารถขจัดออกโดยการระเหย (evaporation) ได้ง่ายกว่า ทำให้ไม่มีการตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงมือยาง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นฉุน

ปัญหาอย่างหนึ่งของ n-BA คือจะเพิ่มความหนืด (viscosity) ของน้ำยาง และบางครั้งทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน (coagulation) ดังนั้นจึงมีการเติม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) เป็นตัวเพิ่มความเสถียร (stabilizer) ในรูปที่ 3.6 แสดงค่าความหนืด (viscosity) ของน้ำยางธรรมชาติ (NR) ที่ผสม n-BA 5 phr

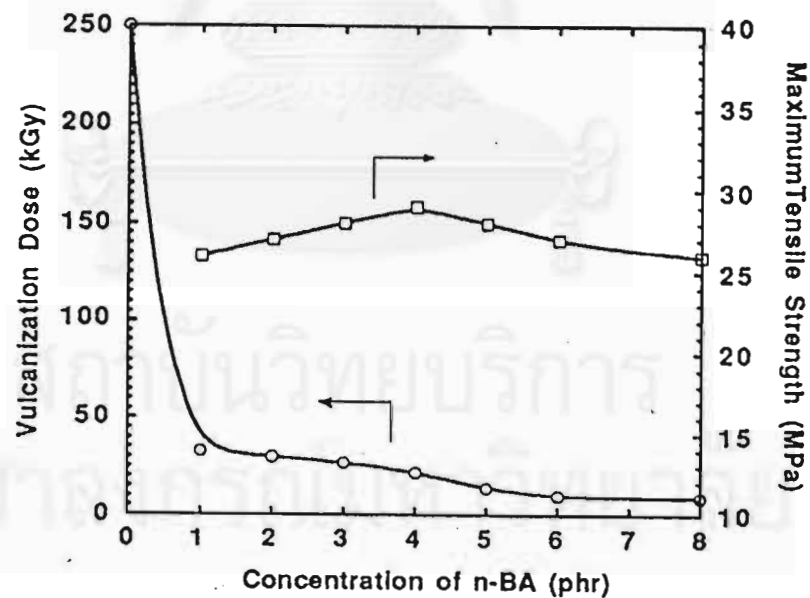


รูปที่ 3.6 ผลของ KOH ต่อค่าความหนืดของน้ำยาง

ปริมาณของ KOH เพียง 0.2 phr ก็เพียงพอสำหรับการต่อต้านผลที่เกิดขึ้นจากการเติม n-BA ในปริมาณ 5 phr รูปที่ 3.7 แสดงผลของการเติม n-BA ในปริมาณ 5 phr โดยฉายรังสีที่ vulcanization dose 15 kGy และรูปที่ 3.8 แสดงการลดลงของ vulcanization dose เมื่อเพิ่มปริมาณของ n-BA



รูปที่ 3.7 ผลการเติม n-BA เป็นสารเร่งปฏิกิริยา ในการผลิต RVNRL
 none : NR เพียงอย่างเดียว, n-BA : เติม n-BA 5 phr
 T_b : Tensile Strength, E_b : Elongation at break



รูปที่ 3.8 ผลของการเพิ่มปริมาณ n-BA ต่อค่า tensile strength สูงสุด และ
 ค่า vulcanization dose

สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ n-BA คือ $\text{CH}_2=\text{CHCO}\underset{\text{C}}{\text{C}}_4\text{H}_8$

การเติมสารเร่งปฏิกิริยาจะไปช่วยเพิ่มการ Crosslink ให้มากขึ้น โดยกระบวนการทางเคมี จะเกิดขึ้น 2 ขั้นตอน คือขั้นแรก n-BA ซึ่งเป็น MFA จะไปเกาะต่อเป็นกิ่ง(graft) ที่ rubber hydrocarbon chain ก่อน และเมื่อนายรังสีแกมมาเข้าไปจะทำให้เกิด crosslinks ขึ้น ระหว่าง carbon – carbon bond จากนั้นก็จะเกิด polymerization ตรง chain ที่มี n-BA เกาะอยู่ด้วย ซึ่งจะช่วยให้เสริมกับ crosslinked ของ carbon – carbon bond ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น โดยกระบวนการทางเคมีในการวัลคาไนซ์น้ำยางโดยเติมสารเร่งปฏิกิริยาพวก MFA คือ n-BA สามารถสรุปได้ดังนี้

Radiolysis of NR



Radiolysis of water



Hydrogen abstraction



Homopolymerization



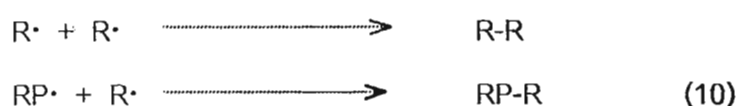
Graft Polymerization



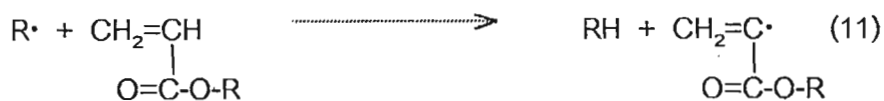
Chain Transfer



Termination



โดย RH, M, และ P คือ NR, MFA และ polymer ของ MFA ตามลำดับ P· และ RP· คือ chain radical โดย chain transfer ของโมโนเมอร์ (monomer) เป็นดังรูป



ข้อดีของผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก RVNRL ที่เหนือกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางที่วัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์มีดังต่อไปนี้

1. ปราศจากสารก่อมะเร็ง nitrosamine
2. มีอันตรายด้าน cytotoxicity ต่ำ
3. มีการแพร่ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และมีเถ้าเหลืออยู่น้อยหลังจากการเผาไหม้
4. สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ
5. ผลิตภัณฑ์ที่ได้โปร่งใสและนุ่มกว่า
6. ปริมาณโปรตีนที่สกัดออกมีปริมาณน้อย
7. ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสารเคมีตกค้าง

ข้อด้อยของผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก RVNRL

1. ต้นทุนในการผลิตสูง
2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้านคุณสมบัติเชิงกลต่ำ

3.7 การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ⁷

3.7.1 ยางแห้ง

การใช้ยางแห้งในงานผลิตผลิตภัณฑ์ล้อยานพาหนะและอะไหล่ จะมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ในงานชิ้นส่วนเครื่องกล รองเท้า และส่วนประกอบของรองเท้า และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

ชนิดของยางแห้งที่ใช้ในปริมาณมากที่สุด คือ ยางแผ่นรมควันชั้น 3 รองลงมาคือ ยางแท่งที่.ที.อาร์.20 ยางแผ่นรมควันชั้นอื่น ๆ ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางแท่งที่.ที.อาร์.ชั้นอื่น ๆ ตามลำดับ ยางแผ่นรมควันชั้น 2, 3, 4, และ 5 ใช้มากในงานผลิตยางล้อพาหนะ และยางชิ้นส่วนอะไหล่ ส่วนยางคุณภาพดี เช่น ยางที่.ที.อาร์. 5 แอล ยางเครพสีจาง ยางแผ่นผึ่งแห้งจะใช้มากในงานการผลิตที่ใช้ในการแพทย์ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการใสสีสรรต่าง ๆ ส่วนงานผลิตภัณฑ์ยางใช้ในงานเครื่องกล ท่อยาง รองเท้ายาง มักใช้ยางที่.ที.อาร์ 20, 50 เครพสีน้ำตาลหรือยางแผ่นรมควันชั้น 1 – 5 และยางสกิมมักใช้ในงานผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ เช่น พื้นรองเท้า ยางปูพื้น ยางล้อเลื่อน เป็นต้น

3.7.2 น้ำยางข้น

ผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้น้ำยางข้นในกระบวนการผลิต ได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบพิมพ์ (latex dipping) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขบวนการนี้ ได้แก่ ถุงมือต่าง ๆ เช่น ถุงมือผ่าตัด ถุงมือตรวจ ถุงมือใช้งานบ้าน ถุงมืออุตสาหกรรม เป็นต้น ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย หัวนมยาง และท่อสวนปัสสาวะ (catheters) เป็นต้น
2. ผลิตภัณฑ์น้ำยางในอุตสาหกรรมพรม อุตสาหกรรมพรมในปัจจุบันได้ใช้น้ำยางมาก เช่น ในพรมที่เรียกว่า tufted carpet จะใช้น้ำยางอาบหลังพรมเพื่อที่จะยึดเส้นพรมเอาไว้ ชั้นน้ำยางที่ใช้ยึดนี้ เรียกว่า anchor coat
3. ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำ (latex foam) ใช้ทำที่นอน หมอน เบาะรองนั่ง เป็นต้น
4. สายยางยัด (latex thread) เช่น ยางยัดของกางเกงใน ถุงเท้า และเสื้อยกทรง เป็นต้น
5. พุกโยชนัสต์วี และกาบมะพร้าว จะใช้น้ำยางเป็นตัวยึดขนัสต์วี หรือเส้นโยกาบมะพร้าวเหล่านี้เอาไว้
6. ท่อยาง สายน้ำเกลือ
7. ผลิตภัณฑ์หล่อเข้าพิมพ์ (casting) เช่น ตุ๊กตา หน้ากาก หุ่นต่าง ๆ เป็นต้น

3.7.3 น้ำยางคงรูป

ใช้ในงานผลิตผลิตภัณฑ์น้ำยางพวงจุ่มแบบ เช่น ถุงมือใช้งานต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์หล่อเข้าพิมพ์ ท่อสวนปัสสาวะ หัวนมสำหรับทารก กาวเชื่อมเส้นใยเคลือบงานประดิษฐ์ดอกไม้ ผลไม้ เป็นต้น

3.8 สารตัวเติม (Filler)¹⁰

สารตัวเติม หมายถึง สารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปนยาง เพื่อลดต้นทุนในการผลิต หรือปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น เช่น เขม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น

สารตัวเติมที่ใส่ลงไปนยาง เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ดังนี้

- เพื่อลดต้นทุน
- เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของยาง
- เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต
- ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
- เพิ่มอายุการใช้งานของยาง

การแบ่งชนิดของสารตัวเติม

สามารถแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามการผลิตและตามลักษณะ คือ

การแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามการผลิต แบ่งได้เป็น 5 ชนิด คือ

1. สารตัวเติมที่มีตามธรรมชาติหรือจากผลพลอยได้จากธรรมชาติ แล้วนำมาบดให้ละเอียด
 - แคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูน เปลือกหอย และชอล์ค
 - แคลเซียมและแมกนีเซียมซิลิเกตจากแป้งทัลคัม
 - ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous silica)
2. สารตัวเติมตามธรรมชาติที่ร่อนแยกความละเอียด เช่น คาโอลิน
3. สารตัวเติมที่ได้จากวิธีตกตะกอน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ไฮเดรตซิลิกา โซเดียม-อลูมิเนียมซิลิเกต อลูมิเนียมซิลิเกต แคลเซียมซิลิเกต และไฮเดรตอลูมิเนียมออกไซด์
4. สารตัวเติมในรูปของเขม่า หรือผงฝุ่น เช่น เขม่าดำ ซิงค์ออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์
5. สารตัวเติมประเภทที่มีการทำปฏิกิริยาที่ผิว (Surface modified products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำสารตัวเติมมาทำปฏิกิริยาที่ผิว เพื่อให้สารตัวเติมนั้นเกาะติดแน่นกับยาง ซึ่งทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม และซิลิกาที่ทำปฏิกิริยาที่ผิวหรือฉาบผิว

การแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามลักษณะ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเม็ด (Particulated filler) ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต เขม่าดำ
 2. สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibrous filler) ได้แก่ แอสเบสทอส ผงเยื่อไม้
 3. สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเรซิน (Resinous filler) ได้แก่ ฟีนอลิกเรซิน เป็นต้น
- สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเม็ด
- 1). สารตัวเติมพวกเสริมความแข็งแรง (Reinforcing filler) เป็นสารตัวเติมที่ช่วยให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น คือ มีความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการสึกหรอ ความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง เป็นต้น สารตัวเติมประเภทนี้ส่วนใหญ่จะมีอนุภาคเล็กประมาณ 180 – 600 Å เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเขม่า เช่น เขม่าดำ และซิลิกา เป็นต้น
 - 2). สารตัวเติมพวกกึ่งเสริมความแข็งแรง (Semi – reinforcing filler) เป็นสารตัวเติมที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของยางได้บ้าง สารตัวเติมเหล่านี้มีขนาดอนุภาคปานกลาง เช่น อลูมิเนียมซิลิเกต แคลเซียมซิลิเกต และคาโอลิน เป็นต้น

3). สารตัวเติมพวกช่วยลดต้นทุนการผลิต (Diluent filler) สารตัวเติมประเภทนี้ไม่เสริมประสิทธิภาพความแข็งแรงให้กับยาง มีราคาถูก มีอนุภาคใหญ่ตั้งแต่ 10,000 Å^o ขึ้นไป เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม แบเรียมซัลเฟต เป็นต้น สารตัวเติมประเภทนี้จะทำให้สมบัติทางกายภาพบางอย่างลดลง เช่น ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการสึกหรอแต่ปรับปรุงสมบัติบางอย่างให้ดีขึ้นเช่น ทำให้ความแข็งและมอดูลัสดีขึ้น ทำให้กระบวนการแปรรูปง่าย ลดการบวมของยาง และช่วยลดต้นทุนการผลิตเพราะมีราคาถูก

สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย ได้แก่

1). แอสเบสทอส (Asbestos) เป็นเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติ ช่วยเพิ่มสมบัติในด้านความทนทานต่อเปลวไฟ หรือความร้อนของยาง

2). ผงเยื่อไม้ (Wood flour) ได้จากบดไม้ให้มีขนาดเล็ก มักใช้เป็นสารตัวเติมในยางประเภทกรดต่ำ สารตัวเติมประเภทนี้ไม่มีผลต่อการคงรูปของยาง ถ้าใช้ในปริมาณมากจะช่วยให้ยางแข็งแรงขึ้น และช่วยลดอัตราการหดตัวของยาง

สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเรซิน เรซินที่ใส่เข้าในยางจะทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำใหยางแข็งแรงขึ้น มักจะใช้สารตัวเติมที่เป็นผล เช่น เขม่าดำ และซิลิกา แต่สารเคมีที่เป็นผงนี้สามารถผสมเข้าไปในยางได้ในปริมาณที่จำกัด ถ้ามากเกินไปแล้วจะทำให้ผสมเข้ายาก สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเรซิน ได้แก่ สไตรีนเรซิน และฟีนอลิกเรซิน

นอกจากนี้แล้วสารตัวเติมประเภทที่มีลักษณะเป็นเม็ด ยังแบ่งได้เป็นชนิดที่มีสีดำและชนิดที่ไม่ใช่สีดำ ซึ่งเขม่าดำเป็นสารตัวเติมชนิดที่มีสีดำที่นิยมใช้กันมาก ส่วนสารตัวเติมชนิดที่ไม่ใช่สีดำที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ ซิลิกา

3.8.1 เขม่าดำ (Carbon Black) การผลิตเขม่าดำในปัจจุบันจะนิยมผลิตโดยวิธีนำก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันที่ได้จากโรงงานถ่านหิน หรือโรงงานน้ำมัน มาเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ เรียกว่า Furnace black ซึ่งสามารถเตรียมเขม่าดำที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 140 – 900 Å^o

อิทธิพลของเขม่าดำต่อสมบัติของยางคงรูป

สมบัติของยางที่คงรูป ได้แก่ ความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด ความต้านทานการสึกหรอ จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคของเขม่าดำ ส่วนความแข็งของยางขึ้นกับโครงสร้างมากกว่าขนาดอนุภาค

อิทธิพลของเขม่าดำต่อความต้านทานแรงดึง คือ เขม่าดำส่วนใหญ่ทำให้ยางมีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้น

อิทธิพลของเขม่าดำต่อความต้านทานการฉีกขาด คือ โดยเขม่าดำจะทำให้ความต้านทานการฉีกขาดสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง เมื่อใส่เขม่าดำเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานการฉีกขาดจะลดลง และความต้านทานต่อการฉีกขาดจะขึ้นกับขนาดอนุภาค ถ้าขนาดเล็กจะมีความต้านทานการฉีกขาดสูง

อิทธิพลของเขม่าดำต่อความต้านทานต่อการสึกหรอ คือ ความต้านทานต่อการสึกหรอของยางขึ้นกับขนาดอนุภาคของเขม่าดำอย่างมาก ขนาดอนุภาคยิ่งเล็กทำให้ความต้านทานต่อการสึกหรอยิ่งสูง

3.8.2 ซิลิกา (Silica)

ซิลิกามีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide, SiO_2) ซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดที่ไม่ใช่สีดำ (Non black filler) ที่ดีที่สุดและนิยมใช้มาก เพราะเป็นสารตัวเติมชนิดที่เสริมความแข็งแรงให้กับยางด้วย มักใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพวกที่มีสีขาวหรือสีต่าง ๆ สามารถแบ่งซิลิกาได้เป็น 3 ประเภท คือ

1). ซิลิกาบด (Ground mineral silica) เป็นแร่ซิลิกาบดหรือทรายบดละเอียด มีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 200 เมช ($75,000 \text{ \AA}$) ซึ่งเป็นขนาดที่หยาบ ไม่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง แต่มีราคาถูกจึงนิยมใช้เป็นสารตัวเติมในยางทนความร้อน เนื่องจากขนาดอนุภาคใหญ่จึงทำให้สมบัติไม่ดีและมีพื้นที่ผิวน้อย การดูดซึมสารเร่งไว้ที่ผิวจะมีน้อย ดังนั้นซิลิกาบดจึงไม่มีผลต่อเวลาในการคงรูป และไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์โปร่งแสง

2). ซิลิกาที่เตรียมจากการตกตะกอน (Precipitated silica) โดยการนำทรายมาละลายในด่างให้กลายเป็นสารประกอบซิลิเกต จากนั้นจึงตกตะกอนเอาซิลิกากลับออกมาล้างและทำให้แห้งจะได้ซิลิกาผง ซึ่งมีน้ำปนอยู่ในอนุภาค ซิลิกาที่ได้มีฤทธิ์เป็นกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ $100-400 \text{ \AA}$

ซิลิกาชนิดนี้เป็นสารตัวเติมที่เสริมความแข็งแรงให้กับยางที่นิยมใช้มากที่สุด โดยทำให้ยางมีความต้านทานแรงดึง การฉีกขาด และการสึกหรอ นอกจากนี้ยังทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปมักใช้กับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลักษณะโปร่งแสง และมีสีสวย เช่น Hi-sil 255 , Hi-sil 233 , Ultrasil VN-3

3). ซิลิกาที่เตรียมจากการเผาไหม้ (Furnace หรือ Combustion หรือ Fume silica) ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง SiCl_4 (หรือ SiHCl_3) กับไอน้ำในเปลวไฟของไฮโดรเจนและออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1400 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวให้ซิลิกาออกมา ซิลิกาชนิดนี้มีฤทธิ์เป็นกรด และมีขนาดอนุภาคเล็กมาก เสริมความแข็งแรงได้ดีมาก ทำให้ยางมีความต้านทานแรงดึง

การฉีกขาดและการสึกหรอซิลิกาชนิดนี้มีราคาแพงมากมักใช้เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษกับยางซิลิโคน เป็นต้น

อิทธิพลของซิลิกาต่อสมบัติของยางคงรูป

โดยปกติซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ดังนั้นจึงทำให้ความต้านทานแรงดึง และการยืดออก จนขาดใกล้เคียงกับเขม่าดำ แต่จะมีความต้านทานต่อการสึกหรอ และมอดูลัสต่ำกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ และการเพิ่มปริมาณซิลิกา จะทำให้สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปคล้าย ๆ กับการใช้เขม่าดำ

3.9 การแพ้โปรตีนในผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ^{15,16,17}

การแพ้ยาง เป็นที่รู้จักในวงการแพทย์มานานกว่า 60 ปีแล้ว โดยที่ลักษณะการแพ้เป็นแบบผิวหนังอักเสบบริเวณที่สัมผัสกับยาง ซึ่งอาจเป็นถุงมือยาง, รองเท้าแตะยาง, ถุงยางอนามัย จากการทดสอบภูมิแพ้ทางผิวหนังพบว่าเกิดจากการแพ้สารที่ใช้ในกระบวนการผลิตยาง ได้แก่ สารที่ใช้เป็นตัวเร่งและสารป้องกันยางเสื่อม การแพ้ลักษณะนี้ไม่เป็นอันตรายอะไรเมื่อหยุดสัมผัสผิวหนังก็จะหายไป

รายงานการแพ้โปรตีนในยางเป็นรายแรกในปี ค.ศ. 1979 (พ.ศ. 2522) เป็นการแพ้แบบเฉียบพลัน ลักษณะเป็นผื่นลมพิษและได้ทดสอบแล้วว่าไม่ได้เป็นการแพ้สารที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางอย่างที่เคยทราบกัน ตั้งแต่นั้นมาแพทย์นานาชาติก็ให้ความสำคัญต่อการแพ้ชนิดนี้ ในช่วง 10 ปีหลังนี้มีการรายงานการแพ้โปรตีนจากยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยมีรายงานมากกว่า 600 ราย ที่เกิดการแพ้ยางแบบเฉียบพลันและรุนแรง โดยที่ในจำนวน 16 ราย มีอาการถึงแก่ชีวิตด้วย จนกระทั่งองค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศเตือนเรื่องนี้ไปยังแพทย์ทั่วไป

จากการสำรวจในประชากรทั่วไป ในประเทศสหรัฐอเมริกาและฟินแลนด์พบว่า 1 – 2 % ของประชากรมีอาการแพ้ยาง ผู้มีประวัติภูมิแพ้อยู่แล้ว ผู้ที่สัมผัสยางเป็นประจำและผู้ที่มีอาการอักเสบของมืออยู่ก่อนด้วยจะเป็นผู้มีโอกาสแพ้สูง ในปัจจุบันให้ความสำคัญต่อผู้ที่สัมผัสกับยางที่ใช้ในวงการแพทย์มากกว่า แต่ก็พบว่าในชีวิตประจำวันก็มีสิทธิ์แพ้ได้ เช่น แพ้ถุงยางอนามัย อุปกรณ์ดำน้ำ ของเล่นเด็ก เป็นต้น อย่างไรก็ตามกลุ่มบุคคลที่อยู่ในข่ายที่มีความเสี่ยงต่อการแพ้ ได้แก่

1. บุคลากรทางการแพทย์ มีอาการแพ้ได้ 4 – 11 % โดยเฉพาะศัลยแพทย์และพยาบาลห้องผ่าตัด ยิ่งในปัจจุบันมีการใช้ถุงมือเพื่อป้องกันการติดเชื้อเอดส์ ทำให้อัตราการแพ้สูงขึ้น

2. ผู้ป่วยที่ความผิดปกติทางระบบประสาทแต่กำเนิด ทำให้ต้องใช้สายสวนปัสสาวะบ่อยๆ มีอาการแพ้ 40 %

3. บุคลากรที่มีทำงานในโรงงานผลิตถุงมือยาง มีอาการแพ้ 10 %

ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานการแพ้ถุงมือยางอย่างรุนแรง ได้มีรายงานในวารสาร สารศิริราช แสดงว่าในกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์ของโรงพยาบาลศิริราช มีความชุกของโรคภูมิแพ้จากถุงมือยางร้อยละ 12.4 แต่เมื่อศึกษาด้วยวิธี Skin - prick test มีเพียงร้อยละ 3.13 ทั้งนี้ปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ ได้แก่ ผู้มีอายุเกิน 35 ปี เป็นผู้มีประวัติภูมิแพ้มาก่อนการทำงานที่ต้องใช้ถุงมือยาง และผู้ที่ทำงานโดยต้องสวมถุงมือยางมานานเกินกว่า 10 ปี

เนื่องจากมีรายงานการแพ้โปรตีนจากยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงมีการศึกษาอย่างจริงจังในระหว่างปี พ.ศ. 2532 - 2534 (ค.ศ. 1989 - 1991) โดยมีรายงานทางวิชาการยืนยันว่าโปรตีนจากยางธรรมชาติเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ดังกล่าว สาเหตุรองอาจเนื่องมาจากการตกค้างของสารเคมีอื่น ๆ ที่ผสมลงไปในช่วงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น สารเร่งปฏิกิริยา (Accelerator) และสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradants) โดยเฉพาะสารเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มไฮโอคาร์บาเมท (Thiocarbamate) กลุ่มซัลฟีนามิด (Sulphenamide)

เนื่องจากในยางธรรมชาติมีโปรตีนหลายชนิด ทั้งที่ละลายน้ำได้และไม่ละลายน้ำ แต่มีเอกสารวิชาการหลายฉบับยืนยันว่า สาเหตุการแพ้เนื่องมาจากโปรตีนที่ละลายน้ำได้ที่มีอยู่ในยางและยังคงมีอยู่ในถุงมือยางสำเร็จรูป ซึ่งโปรตีนดังกล่าวนี้เป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุล 27 kD และ 20 kD และโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันของยาง (Rubber Elongation Factor : REF)

นอกจากนี้ยังมีเอกสารทางวิชาการบางฉบับของปี 1994 มีรายงานเพิ่มเติมที่น่าสนใจคือแป้งข้าวโพดที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นในการผลิตถุงมือยางเป็นพาหะที่ดีของโปรตีน ซึ่งทำให้โปรตีนดังกล่าวสามารถแพร่กระจายไปในอากาศได้ ทำให้พบว่าผู้ป่วยบางรายเกิดอาการแพ้ เนื่องจากสูดดมเอาอากาศที่มีแป้งข้าวโพดนี้แขวนลอยอยู่ และในปี 1995 ได้มีเอกสารทางวิชาการที่ระบุว่า โปรฮีวิน (Prohevein) ในยางธรรมชาติเป็นสาเหตุของอาการแพ้เช่นเดียวกัน

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ทำให้ประเทศผู้ใช้ถุงมือยางจากน้ำยางธรรมชาติพยายามที่จะกำหนดปริมาณสารโปรตีนในผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติ โดยเฉพาะถุงมือยางทางการแพทย์และอุปกรณ์ทางการแพทย์อื่น ๆ (Medical devices) ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ เพื่อเป็นแนวทางการแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เช่น ในการประชุมวันที่ 30 กรกฎาคม

คม 1999 ที่ประเทศแคนาดา องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาหรือ FDA (Food and Drug Administration) ได้เสนอต่อที่ประชุมเพื่อกำหนดปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ไม่เกิน 1200 ไมโครกรัมต่อถุงมือ 1 ข้าง และปริมาณแป้งที่ใช้โรยถุงมือไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อถุงมือ 1 ข้าง^{18,19}

ปัญหานี้อาจจะนำไปเป็นข้อกีดกันทางการค้า เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ถุงมืออย่างรายใหญ่ และปัจจุบันการแข่งขันทางเศรษฐกิจได้เพิ่มสูงขึ้นมาก ประกอบกับข้อตกลงในเรื่องการค้าเสรีของประชาคมโลก จะทำให้การแข่งขันเพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มว่ามาตรการที่ไม่เกี่ยวกับภาษีการค้า จะถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการกีดกันทางการค้าระหว่างประเทศ ได้แก่ มาตรฐานสินค้า มาตรฐานกระบวนการผลิต ตลอดจนมาตรฐานสิ่งแวดล้อม แรงงาน และสิทธิมนุษยชน การละเมิดทรัพย์สินทางปัญญา เป็นต้น ซึ่งมาตรการดังกล่าวได้เริ่มมีผลต่อผลิตภัณฑ์ถุงมืออย่างทางการแพทย์ซึ่งผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ นั่นคือ รายงานทางวิชาการที่เพิ่งเล็งถึงอาการแพ้ถุงมืออย่างทางการแพทย์จากน้ำยางธรรมชาติซึ่งเป็นรายงานการแพ้ของบุคคลในโรงพยาบาลในต่างประเทศและกลุ่มประเทศผู้ใช้ กำลังวางมาตรการเพิ่มเติมในเรื่องปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ

3.9.1 อาการแพ้ยางธรรมชาติ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1). อาการแพ้แบบค่อยเป็นค่อยไป (Allergic Contact Dermatitis – Type IV) สาเหตุมาจากสารเคมีที่ตกค้างจากกระบวนการผลิตหรือโปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติ โดยจะมีอาการแพ้จะเกิดกับเฉพาะบริเวณที่ผิวหนังสัมผัสกับยาง โดยจะมีอาการผื่นคัน ซึ่งอาการจะปรากฏหลังจากสัมผัสยางเป็นเวลาหลายชั่วโมงหรือหลายวันขึ้นอยู่กับความไวต่ออาการแพ้ของบุคคลนั้น และอาการจะรุนแรงขึ้นเมื่อมีการสัมผัสครั้งต่อ ๆ ไป

2). อาการแพ้แบบเฉียบพลัน (Immediate Allergic Reaction – Type I) สาเหตุมาจากโปรตีนในยางธรรมชาติทั้งจากการสัมผัสและจากการสูดดมแป้งที่มีโปรตีนแขวนลอยอยู่ซึ่งสามารถฟุ้งกระจายไปในอากาศ อาการแพ้แบบนี้จะมีอาการรุนแรงจากน้อยไปมาก โดยจะมีอาการตั้งผื่นลมพิษทางผิวหนัง ผื่นอักเสบ หรือผื่นบวม จนถึงมีอาการทางระบบภายในจนถึงแก่ชีวิต เช่น อาการแน่นหน้าอก หายใจไม่ออก ปวดท้อง ท้องเสีย โรคหืด โรคเยื่อจมูกอักเสบ เป็นต้น

3.9.2 โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดธรรมชาติประกอบด้วยอนุภาคยาง ที่แขวนลอยกระจายอยู่ในของเหลวที่เป็นเซรัม นอกจากนั้นยังมีสารที่ไม่ใช่ยาง (Non – rubber Substance) ต่าง ๆ ได้แก่ โปรตีน ไนมัน คาร์โบไฮเดรต และสารอนินทรีย์อื่น ๆ ในบรรดาสารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้มีโปรตีนอยู่ประมาณ 1 –

1.8 % (น้ำยาง) หรือเฉลี่ยประมาณ 1.4 % คิดเป็น 30 – 50 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง โปรตีนในยางนี้มีทั้งโปรตีนที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ พบทั้งในส่วนของยาง (Rubber phase) และส่วนของเซรัม ซี (C - Serum) และส่วนของเซรัม บี (B - fraction) โปรตีนที่ละลายน้ำส่วนใหญ่มาจากส่วนที่เป็นเซรัม โดยในส่วนของเนื้อยางมีบ้างประมาณ 1 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง

ในส่วนของเนื้อยางมีโปรตีนหลักอยู่ 2 ชนิด คือที่มีน้ำหนักโมเลกุล 14.0 kD และ 24.0 kD และมีรายงานเพิ่มเติมว่า REF ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 14.0 kD เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนเมมเบรนของอนุภาคยางที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโพลีเมอไรเซชันของยางและคาดว่า โปรตีนนี้อาจเป็นโปรตีนหลักตัวเดียวที่เป็นสาเหตุของอาการแพ้

ในส่วนของเซรัม ซี โปรตีนส่วนใหญ่เป็น แอลฟา - กลูโบลิน (Alpha - globulin) แต่จากการศึกษาพบว่า ในเซรัม ซี นี้มีโปรตีนอยู่จำนวนมาก ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลกระจายตั้งแต่ น้อยกว่า 5 kD ถึง 100 kD

ในส่วนของเซรัม บี มีเฮเวิน (Hevein) และเฮวามีน (Hevamine) เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาพบว่า โปรตีนที่ตรวจพบมีน้ำหนักโมเลกุล 14, 20, 25, 30 และ 35 kD และยังมีรายงานเพิ่มเติมว่าโปรตีนในเซรัม บี และตรวจพบในถุงมือยางด้วยนั้น มีผลตอบสนองในการทดลอง antigens - antibodies ในหนูทดลอง ทำให้ตั้งสมมุติฐานได้ว่า โปรตีนในเซรัม บี อาจเป็นโปรตีนที่ทำให้ผู้ใช้ถุงมือยางจากน้ำยางธรรมชาติเกิดอาการแพ้ได้

น้ำยางชั้นเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางชนิดต่าง ๆ ทำจากน้ำยางสดซึ่งมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content : DRC) ประมาณ 35 – 40 % ให้เป็นน้ำยางที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 % เพื่อให้สะดวกในการนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ การทำน้ำยางชั้นทำได้ 3 วิธีคือ การใช้เครื่องปั่นแยก (Centrifugation) การทำให้เป็นครีม (Creaming) และการระเหยน้ำ (Evaporation) แต่น้ำยางชั้นที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมร้อยละ 95 จะเป็นน้ำยางชั้นที่ได้โดยวิธีการใช้เครื่องปั่นแยก ในน้ำยางชั้นยังคงมีสารที่ไม่ใช่ยาง โดยเฉพาะโปรตีนและสารเคมีอื่นที่ได้จากการสลายตัวของโปรตีน นอกจากนั้นจะมีสบู่ของกรดไขมัน เกลืออินทรีย์ และเกลืออนินทรีย์อื่น ๆ โปรตีนในน้ำยางนี้คาดว่าจะจะเป็นโปรตีนชนิดเดียวกันที่พบในน้ำยางสด โดยเฉพาะโปรตีนที่พบในส่วนเซรัม อย่างไรก็ตามน้ำยางชั้นที่ผลิตโดยวิธีการใช้เครื่องปั่นแยกนี้ จะมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่ประมาณ 16 – 20 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง และหากนำน้ำยางชั้นที่ผลิตใหม่ ๆ ทำเป็นแผ่นฟิล์ม จะพบโปรตีนที่สกัดออกมาได้เพียง 0.5 – 0.6 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้งเท่านั้น และยังมีการทดลองที่น่าสนใจคือการให้ความร้อนกับแผ่นฟิล์มยางจะกระตุ้นให้โปรตีนมีการเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวออกมากขึ้น

อย่างไรก็ตามในการผลิตผลิตภัณฑ์จ่าน้ำยาง จำเป็นจะต้องเติมสารเคมีต่าง ๆ ที่จำเป็น และเมื่อได้น้ำยางผสม (compounded latex) และมีการบ่มน้ำยาง (mutaration) ไว้ระยะหนึ่ง ก่อนการผลิต ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้อาจเพิ่มขึ้นได้ถึง 1 มิลลิกรัม/กรัมยางแห้ง ซึ่งเป็นผลมา จากการมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ Surfactants ซึ่งสามารถละลายโปรตีนได้มากขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงวิธีการลดปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากถุงมือยาง ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การใช้น้ำยางที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (deproteinized latex)
2. ปรับปรุงวิธีการล้างสารเคมี (leaching) ให้เหมาะสมในกระบวนการผลิต
3. ทำคลอรีเนชัน (chlorination) ถุงมือยาง
4. การใช้โพลีเมอร์เคลือบผิว (polymer coating)
5. การใช้เทคนิคนิวเคลียร์ โดยการวัดคาบครึ่งน้ำยางโดยการฉายรังสี ทำให้อิโพรตีนเสื่อมสลาย มีโมเลกุลเล็กลง และล้างออกได้ง่าย และยังมีการศึกษาการเติมโพลีเมอร์ที่ละลายน้ำได้ (water soluble polymer) บางชนิดเช่น Polyvinyl alcohol (PVA) หรือ Polyethylene oxide (PEO) โดยเมื่อเติมในน้ำยางฉายรังสีแล้วนำมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มยาง ตรวจไม่พบ water soluble protein เลย และยังเป็น การเพิ่มคุณสมบัติทางฟิสิกส์ให้ดีขึ้นด้วย

การปรับปรุงโดยการทำคลอรีเนชันที่ผิวซึ่งสามารถลดโปรตีนได้มาก แต่มีข้อเสียเช่น อายุการใช้งานสั้น ส่วนการทำน้ำยางโปรตีนต่ำหรือการเคลือบผิวด้วยโพลีเมอร์ จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากขึ้นและมีกระบวนการที่ยุ่งยากมากขึ้นซึ่งอาจจะไม่คุ้มกัน นอกจากนี้การใช้โพลีเมอร์แทนยางธรรมชาติ เช่น PVC, neoprene, nitril จะมีราคาแพงและยังมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่ไม่เท่าที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 การทดลอง

4.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1). น้ำยางชั้น DRC 60 % จากบริษัทกระป๋องพาราไรบเบอร์ จำกัด โดยมีคุณสมบัติตามภาคผนวก ก.
- 2). สารไวปฏิกิริยา (sensitizer) คือ normal Butyl acrylate (n – BA) Tech. Grade จาก Formosa Co. Ltd.
- 3). สารรักษาความเสถียรของน้ำยาง (stabilizer) คือ Potassium hydroxide (KOH) AR Grade ของ BDH Chemicals Ltd. Poole England
- 4). สารป้องกันยางเสื่อม คือ TNPP (Tris nonylated phenyl phosphite) จาก Wako Chemical Co. Ltd.
- 5). สารเคมีอื่น ๆ เช่น Ammonium hydroxide (NH₄OH) AR Grade ของ BDH Chemicals Ltd. Poole England และ zinc oxide (ZnO)

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1). เครื่องฉายรังสี BSV – 06 ของ Institute of Isotope Co., Ltd., Hungary ความแรงแรังสี 8.2 kCi รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข.
- 2). เครื่องทดสอบแรงดึงของบริษัท LLOYD Instrument
- 3). เครื่องตัดแผ่นฟิล์มยาง
- 4). Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar
- 5). ขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์
- 6). แผ่นแก้วมีขอบขนาด 15 x 15 cm
- 7). ตู้อบ
- 8). บีกเกอร์ขนาดต่าง ๆ
- 9). ตะแกรงขนาด 250 เมช
- 10). เครื่องชั่ง
- 11). เครื่องบดบอลมิล (Ball Mill)

4.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

การผลิตน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยใช้รังสี (Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex, RVNRL) จะให้สูตรตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สูตรที่ใช้ผลิต RVNRL

ส่วนผสม	ความเข้มข้น (phr)
น้ำยางชั้น 50 %	100
10 % KOH	0.2
n-BA	5

4.3.1 ทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ โดยใช้สูตรตามตารางที่ 4.1 โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.3.1.1 การเตรียมน้ำยางก่อนฉายรังสี

- 1). กรองน้ำยางชั้น 60 % ด้วยตะแกรงขนาด 250 เมช ลงในบีกเกอร์ วางบีกเกอร์บน magnetic stirrer
- 2). ใส่ magnetic bar กวนน้ำยางตลอดเวลา
- 3). เติมสารละลาย 1% NH_3 เพื่อเจือจางน้ำยางชั้น 60 % เป็น 50 % DRC กวนน้ำยางประมาณ 15 นาที
- 4). เติมสารละลาย 10 % KOH กวนน้ำยางประมาณ 15 นาที
- 5). ค่อย ๆ เติมสารไวปฏิกิริยาลงทีละน้อยและกวนต่ออีก 1 ชั่วโมง

4.3.1.2 การฉายรังสีน้ำยาง

- 1). บรรจุน้ำยางที่เตรียมเสร็จแล้วลงในขวดแก้วขนาด 4 ออนซ์ 13 ขวด
- 2). นำ 1 ขวดเก็บไว้เป็น control อีก 12 ขวดนำไปฉายรังสีปริมาณ 5, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 22, 25, 28 และ 30 kGy

4.3.1.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มทดสอบ

- 1). แบ่งน้ำยางจากขวดที่ไม่ฉายรังสี และฉายรังสีที่ปริมาณต่าง ๆ มาอย่างละ 15 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml เติมน้ำกลั่นประมาณ 5 ml กวนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากัน แล้วเทผ่านตะแกรงขนาด 250 เมช ลงบนแผ่นกระจกที่มีขอบขนาด 15 x 15 cm ที่ปรับระดับไว้แล้ว
- 2). ทิ้งแผ่นฟิล์มไว้ให้แห้งจนใส
- 3). นำแผ่นฟิล์มไปล้างด้วยน้ำสะอาด โดยแช่แผ่นฟิล์มไว้ได้ระดับผิวน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4). นำแผ่นฟิล์มที่ล้างแล้วตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำไปเก็บไว้ในกล่องพลาสติกแล้วใส่ silica gel ไว้ ก่อนนำไปทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์

4.3.1.4 การทดสอบความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ของฟิล์มยาง ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 412 – 97 โดยเครื่อง LLOYD instrument และมีเลเซอร์เป็นเครื่องคอยจับระยะของการยืดของยาง load cell ที่ใช้มีขนาด 500 นิวตัน โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- 1). ตัดตัวอย่างฟิล์มยางทำเป็นชิ้นงานทดสอบรูปดัมเบลล์
- 2). นำแผ่นตะกั่วที่ตัดเป็นแถบเล็ก ๆ มาติดที่ชิ้นงานรูปดัมเบลล์ทั้งหัวและท้ายของช่วงที่ต้องการวัดความยืดก่อน เพื่อให้เครื่องเลเซอร์สามารถจับระยะยืดของยางได้
- 3). วัดความหนาของชิ้นงาน 3 จุด โดยใช้ไมโครมิเตอร์ (micrometer) แล้วบันทึกค่ากลางไว้
- 4). นำชิ้นงานมายึดจับด้วยหัวจับ (grip) และดึงชิ้นงานทดสอบด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที จนชิ้นงานทดสอบขาด ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบ และเครื่องคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่า ความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) และค่า 300 % โมดูลัส ให้ด้วย

4.3.1.5 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึงกับปริมาณรังสีที่น้ำยางได้รับ เพื่อหาค่า radiation dose ที่ให้ tensile สูงสุดเป็นค่า Vulcanization dose

4.3.2 ทดลองหาปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมสำหรับใช้เติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

4.3.2.1 เตรียมซิลิกา

- 1). เตรียมซิลิกาให้อยู่ในรูป dispersion โดยใช้สูตรตามตาราง 4.2 แล้วนำไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบอลมิล (ball mill) จนได้ขนาดตามต้องการที่ประมาณ 0.3 – 0.4 μm

ตารางที่ 4.2 สูตรสำหรับเตรียมซิลิกาในรูป dispersion

ส่วนผสม	ปริมาณ (กรัม)
Precipitated silica	125
Vultamol	2.3
H ₂ O	205

2). นำซิลิกาที่ได้มาเจือจางให้เป็น 15 % TSC

4.3.2.2 เตรียมชิ้นงานทดสอบ

1). เตรียมน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสีประมาณ 1000 ml โดยมีขั้นตอนการเตรียมเหมือนข้อ 4.3.1.1 และฉายรังสีโดยใช้ Vulcanization dose ที่ได้จากข้อ 4.3.1.5

2). แบ่งน้ำยางออกมา 15 กรัม ใส่บีกเกอร์แล้วเติม precipitated silica ที่ปริมาณต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 – 6 phr และเติม zinc oxide ปริมาณ 0.17 phr และเติมน้ำกลั่น 5 ml กวนต่อประมาณครึ่งชั่วโมง

3). นำน้ำยางที่เติม precipitated silica เรียบร้อยแล้ว มาเตรียมแผ่นฟิล์มทดสอบเหมือนข้อ 4.3.1.3

4.3.2.3 ทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มยาง

- 1). ทดสอบความต้านทานการดึงจนขาด (tensile strength) เหมือนกับข้อ 4.3.1.4
- 2). ทดสอบความต้านทานการฉีกขาด (trouser tear strength)

ตามมาตรฐาน ASTM D 624 – 91 โดยเครื่อง LLOYD instrument ลักษณะการทดสอบคล้ายกับการทดสอบความต้านทานการดึงจนขาด จะต่างกันที่โปรแกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ การทดสอบคุณสมบัติในด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดนี้ไม่ต้องใช้เลเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการทดสอบ และใช้ Load cell 500 นิวตัน

4.3.2.4 หาปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมสำหรับใช้เติม โดยพิจารณาผลที่ได้จากข้อ 4.3.2.3

4.3.3 นำฟิล์มยางที่เติมปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมเพื่อทดสอบ Aging Properties โดยแบ่งฟิล์มยางออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกเติมสารป้องกันยางเสื่อม TNPP ปริมาณ 2 phr ชุดที่สองไม่เติม ทั้ง 2 ชุดจะแบ่งฟิล์มยางออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำทดสอบไปความต้าน

ทานแรงดึง อีกส่วนนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติความต้านทานแรงดึง

4.3.4 วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) โดยวิธี Modified Lowry จากฟิล์มยางที่ได้จากการเติม precipitated silica ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยเตรียมชิ้นงานเช่นเดียวกับข้อ 4.3.2.2 (วิธีการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ง)

4.3.5 หา Si/Protein ratio โดยใช้เทคนิค energy dispersive x – ray spectrometry ใน LVSEM จากฟิล์มยางที่ไม่เติม precipitated silica และเติม precipitated silica ในปริมาณที่เหมาะสมจากข้อ 4.3.2.4 โดยเตรียมชิ้นงานเช่นเดียวกับข้อ 4.2.2.2

4.3.6 หาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำสำหรับล้างฟิล์มยาง

เตรียมฟิล์มยางที่เติมปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมแล้วนำฟิล์มยางไปล้างที่อุณหภูมิ 30 – 75 °C เป็นเวลา 0 – 15 นาที แล้ววิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างฟิล์มยาง โดยวิธี Modified Lowry

บทที่ 5
ผลการวิจัย

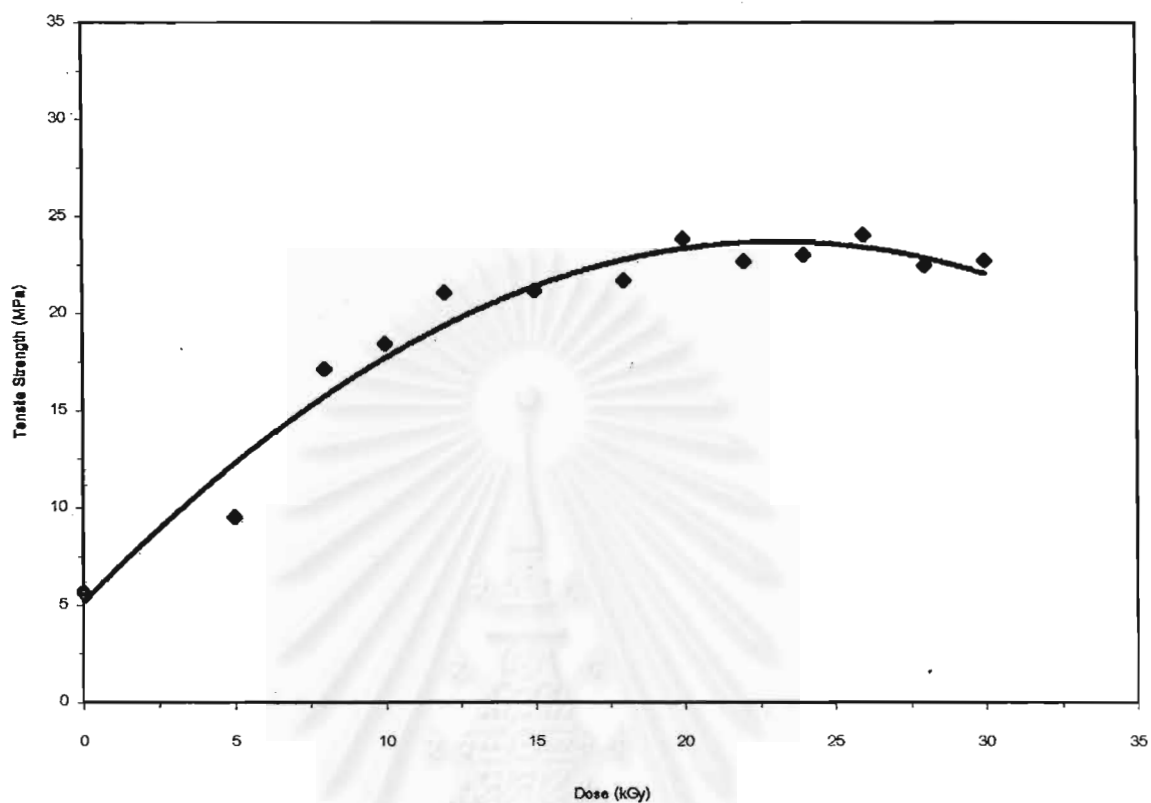
5.1 ผลการทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ

1). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength)

ผลการทดสอบความต้านทานการดึงจนขาดของฟิล์มยาง พบว่าความต้านทานการดึงจนขาดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีจนถึงค่าสูงสุด และหลังจากนั้นจะลดลงเล็กน้อยเมื่อใช้ปริมาณรังสีมากขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 โดยค่าความต้านทานการดึงจนขาดจะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณรังสีอยู่ในช่วง 19 - 25 kGy

ตารางที่ 5.1 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ

Dose (kGy)	Tensile Strength (MPa)
0	5.667
5	9.527
8	17.16
10	18.45
12	21.11
15	21.20
18	21.71
20	23.86
22	22.73
24	23.04
26	24.07
28	22.49
30	22.75



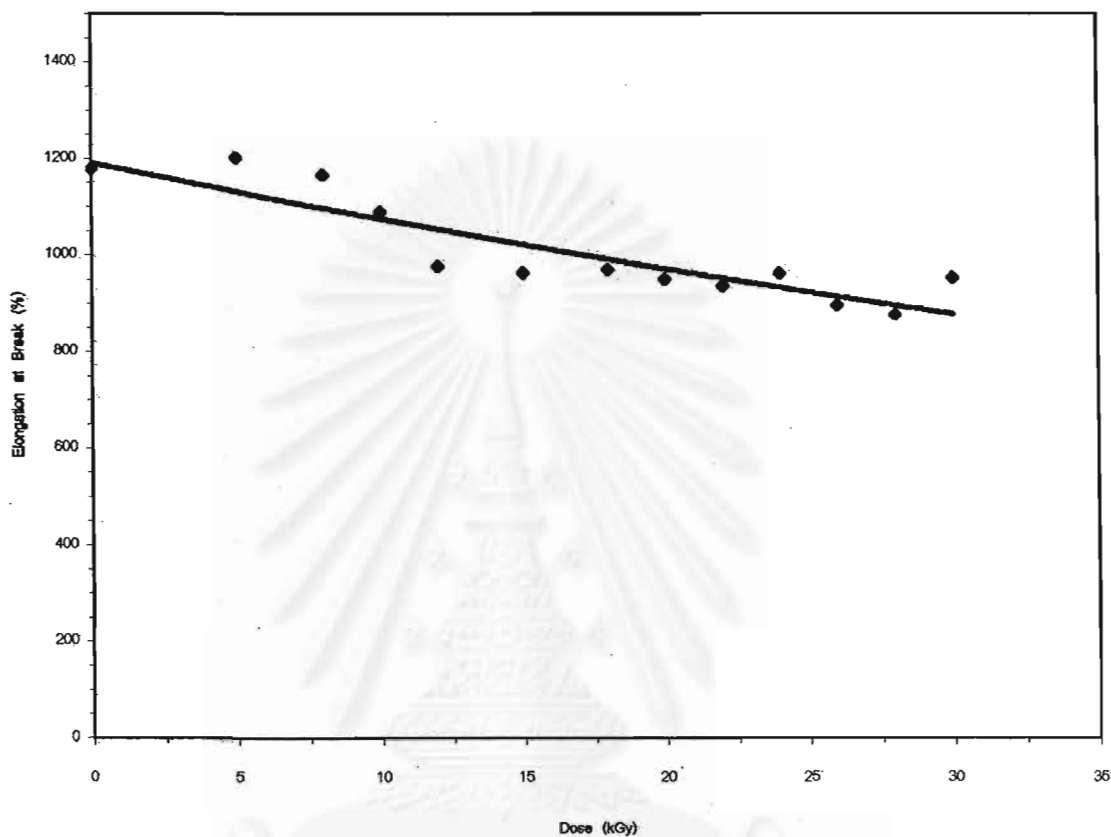
รูปที่ 5.1 ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ

2). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break)

ผลการทดสอบค่าความยาวที่ยืดออกจนขาดของฟิล์มยาง พบว่าค่าความยาวที่ยืดออกจนขาดจะลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 เช่น ค่าความที่ยืดออกจนขาดเป็น 1179, 1089, และ 950 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ปริมาณรังสี 0, 10, และ 20 kGy ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ

Dose (kGy)	Elongation at Break (%)
0	1179
5	1203
8	1167
10	1089
12	976
15	963
18	970
20	950
22	935
24	962
26	896
28	878
30	952



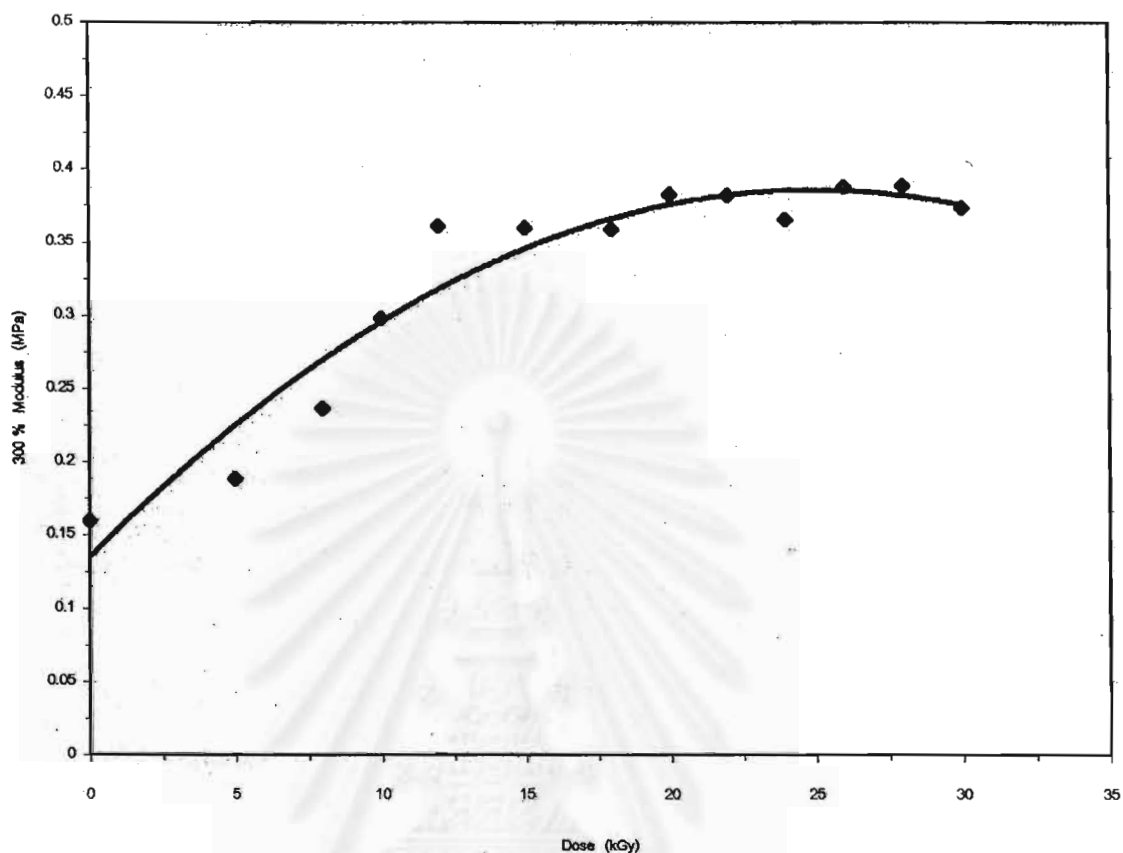
รูปที่ 5.2 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณรังสีต่างๆ

3). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีกับค่าโมดูลัส 300 เปอร์เซ็นต์ (300 % Modulus) ผลการทดสอบค่าโมดูลัสของฟิล์มยางพบว่าค่าโมดูลัสของฟิล์มยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีและจะมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อใช้ปริมาณรังสี 12 kGy ขึ้นไป ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.3 เช่นค่า 300 % โมดูลัสมีค่า 0.1597, 0.2983, และ 0.3827 เมื่อใช้ปริมาณรังสี 0, 10, และ 20 kGy ตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 ค่า 300 % Modulus ที่ปริมาณรังสีต่างๆ

Dose (kGy)	300 % Modulus (MPa)
0	0.1597
5	0.1886
8	0.2369
10	0.2983
12	0.3611
15	0.3601
18	0.359
20	0.3827
22	0.3823
24	0.3657
26	0.3879
28	0.3888
30	0.3733

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

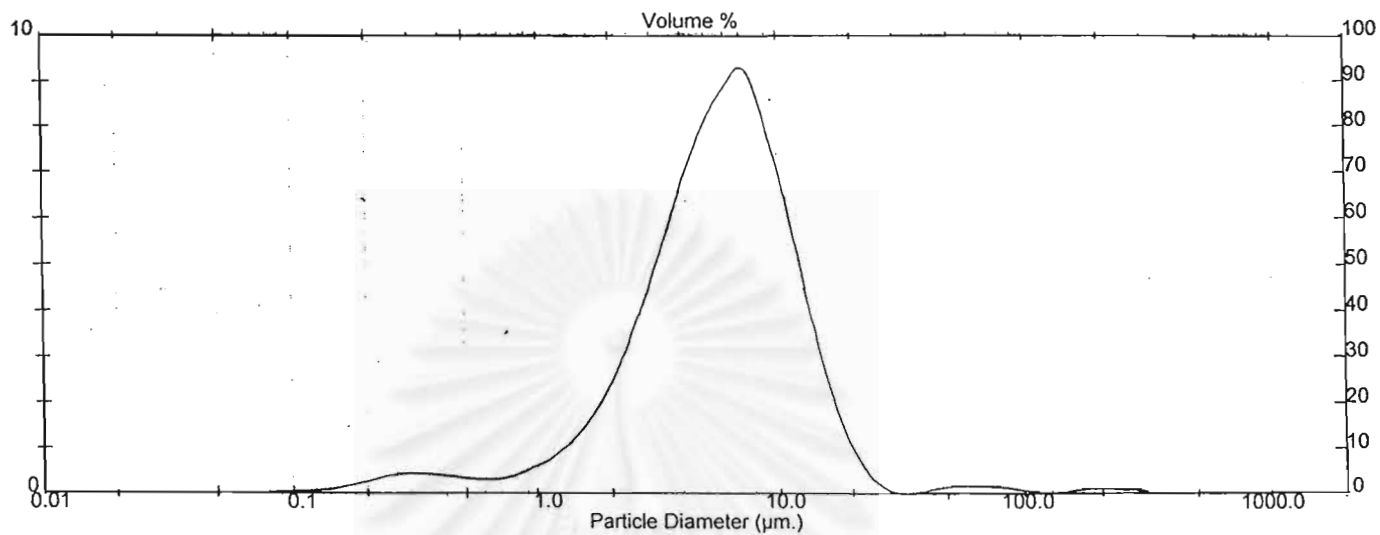


รูปที่ 5.3 ค่า 300 % Modulus ที่ปริมาณรังสีต่าง ๆ

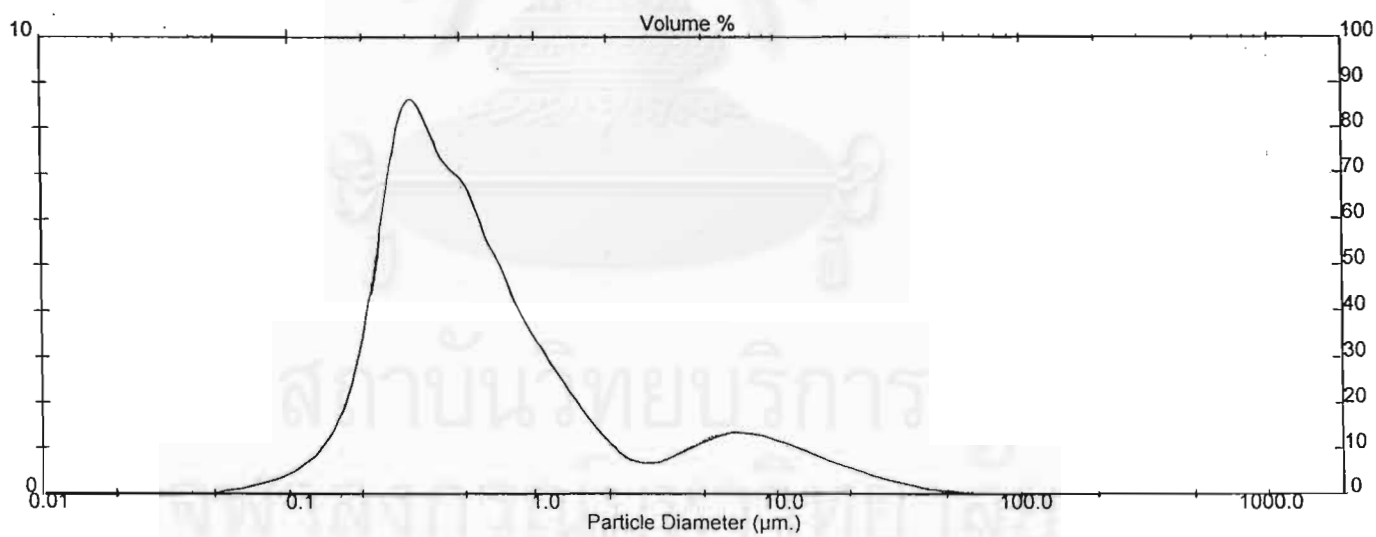
จากผลการทดลองการหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ ซึ่งพบว่า ค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) จะสูงสุดอยู่ในช่วง 19 – 25 kGy ส่วนค่า 300 % Modulus และค่า Elongation at Break ในช่วงนี้จะไม่แตกต่างกัน จึงกำหนดให้ค่า Vulcanization dose เท่ากับ 20 kGy

5.2 ผลการทดลองหาปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมสำหรับเติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

1). ขนาดอนุภาคของ precipitated silica ทั้งก่อนและหลังนำไปบดเป็นเวลา 7 วัน แสดงดังรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 โดยก่อนบดมีขนาดอนุภาคประมาณ 6.63 – 7.72 μm และหลังบดมีขนาดอนุภาคประมาณ 0.31 – 0.36 μm



รูปที่ 5.4 การกระจายขนาดอนุภาคของ precipitated silica ก่อนบด



รูปที่ 5.5 การกระจายขนาดอนุภาคของ precipitated silica หลังบด 7 วัน

2). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ precipitated silica กับความต้านการดึงขนาด (Tensile Strength)

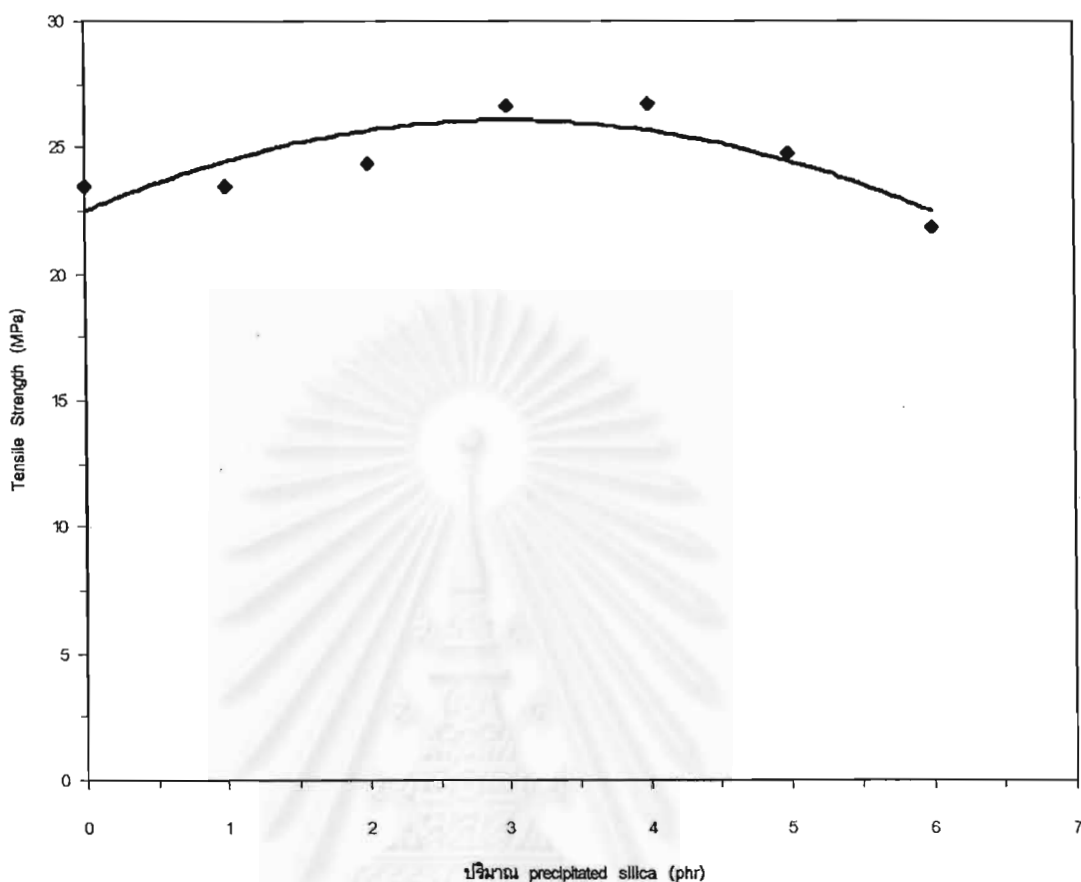
ผลการทดสอบความต้านการดึงขนาดของฟิล์มยาง พบว่าความต้านการดึงขนาดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ precipitated silica เช่น เพิ่มขึ้นจาก 23.48 เป็นประมาณ 26.70 MPa เมื่อเติม precipitated silica ในปริมาณ 3 และ 4 phr โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 14 % แต่ค่าความต้านทานการดึงขนาดจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมเป็น 5 และ 6 phr ดังแสดงในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 ค่าความต้านทานการดึงขนาดที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

ปริมาณ precipitated silica (phr)	Tensile Strength (MPa)
0	23.48
1	23.47
2	24.36
3	26.66
4	26.76
5	24.75
6	21.83

3). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ precipitated silica กับค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength)

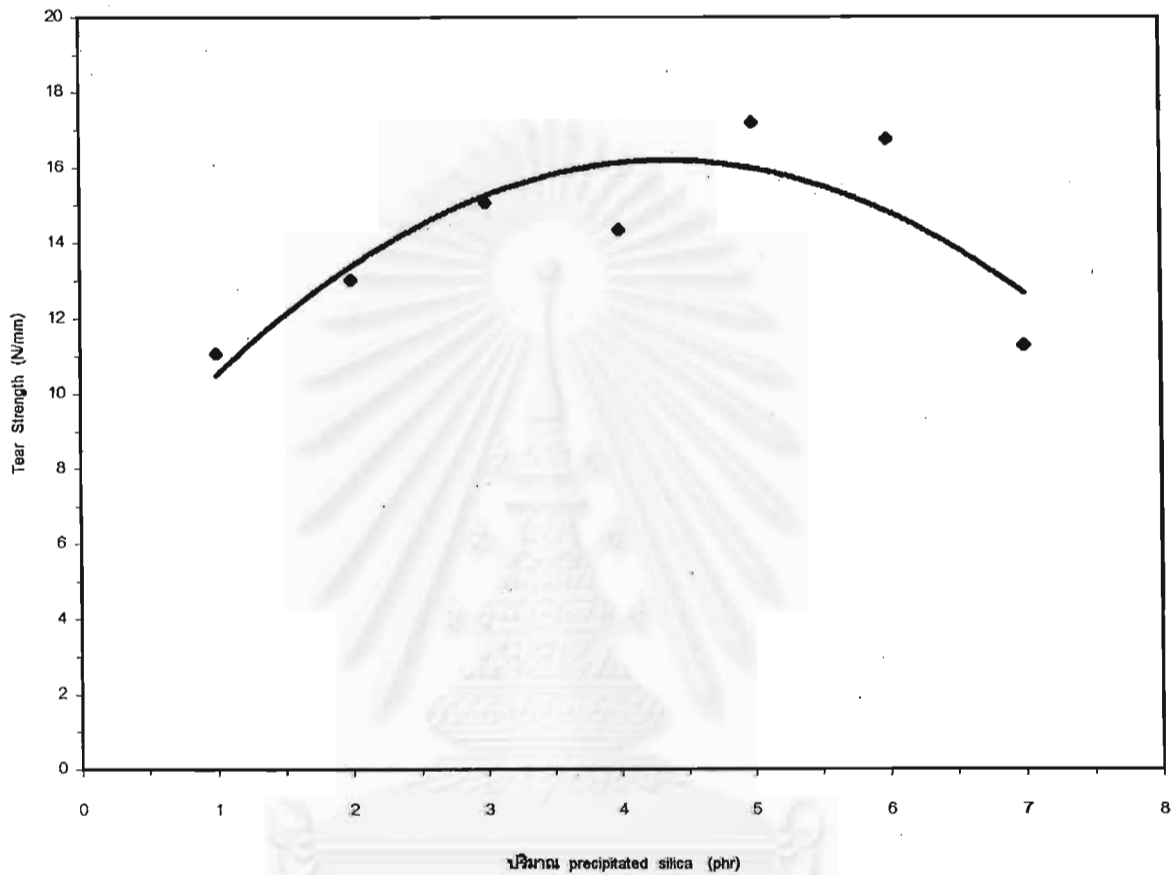
ผลการทดสอบค่าความต้านทานการฉีกขาดของฟิล์มยาง พบว่าค่าความต้านทานการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ precipitated silica เพิ่มขึ้น เช่น ค่าความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้นจาก 11.08 N/mm เป็น 15.08 N/mm เมื่อเติม precipitated silica ในปริมาณ 2 phr และเพิ่มขึ้นเป็น 17.2 N/mm หรือประมาณ 55 % เมื่อเติมในปริมาณ 4 phr แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ precipitated silica เป็น 5 และ 6 phr ค่าความต้านทานการฉีกขาดจะลดลง เช่น ที่ปริมาณ 6 phr จะลดลงเหลือ 11.28 N/mm ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 ค่าความต้านทานการดึงขนาดที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

ตารางที่ 5.5 ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

ปริมาณ precipitated silica (phr)	Trouser Tear Strength (N/mm)
0	11.08
1	13.04
2	15.08
3	14.36
4	17.20
5	16.77
6	11.28



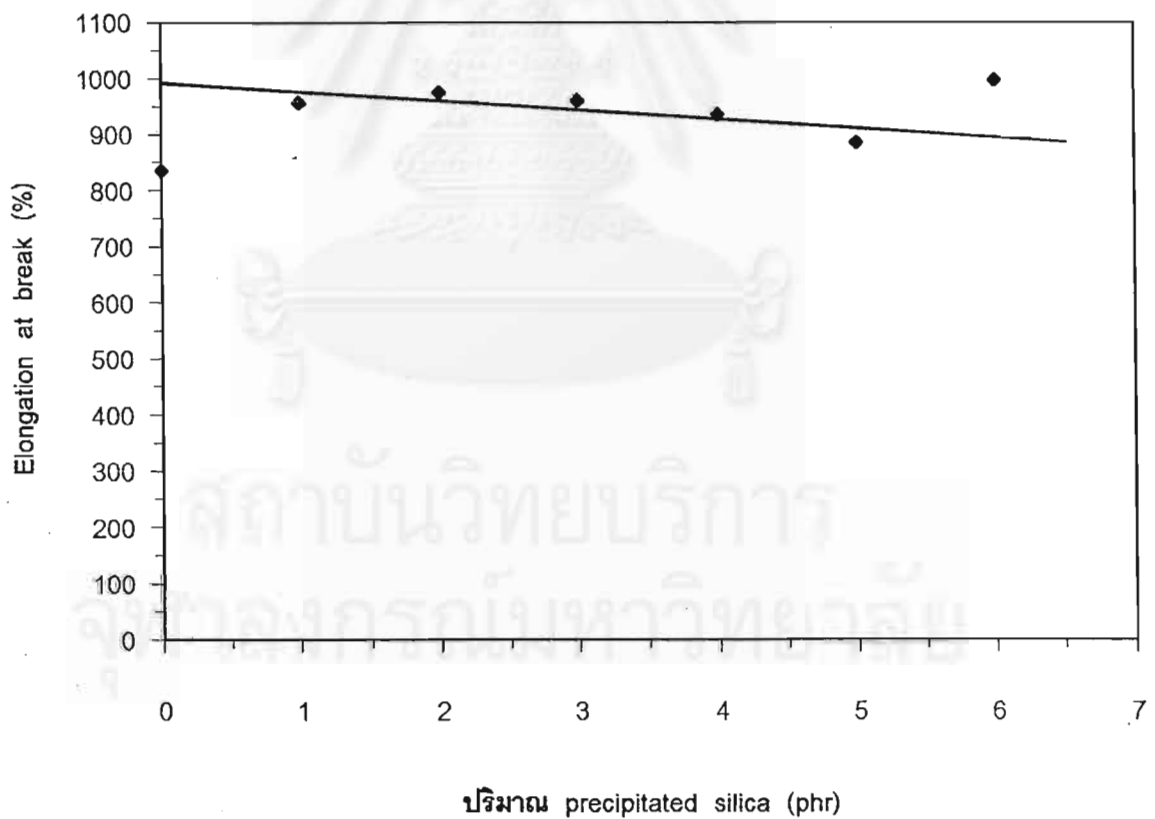
รูปที่ 5.7 ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

4). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ precipitated silica กับค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break)

ผลการทดสอบค่าความยาวที่ยืดออกจนขาดของฟิล์มยาง พบว่าค่าความยาวที่ยืดออกจนขาดของฟิล์มยางที่เติม precipitated silica จะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางที่ไม่เติม precipitated silica และเมื่อเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มที่เติม precipitated silica ด้วยกันจะเห็นว่าค่าความยาวที่ยืดออกจนขาดจะไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.6 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

ปริมาณ precipitated silica (phr)	Elongation at Break (%)
0	836
1	956
2	974
3	960
4	936
5	887
6	997



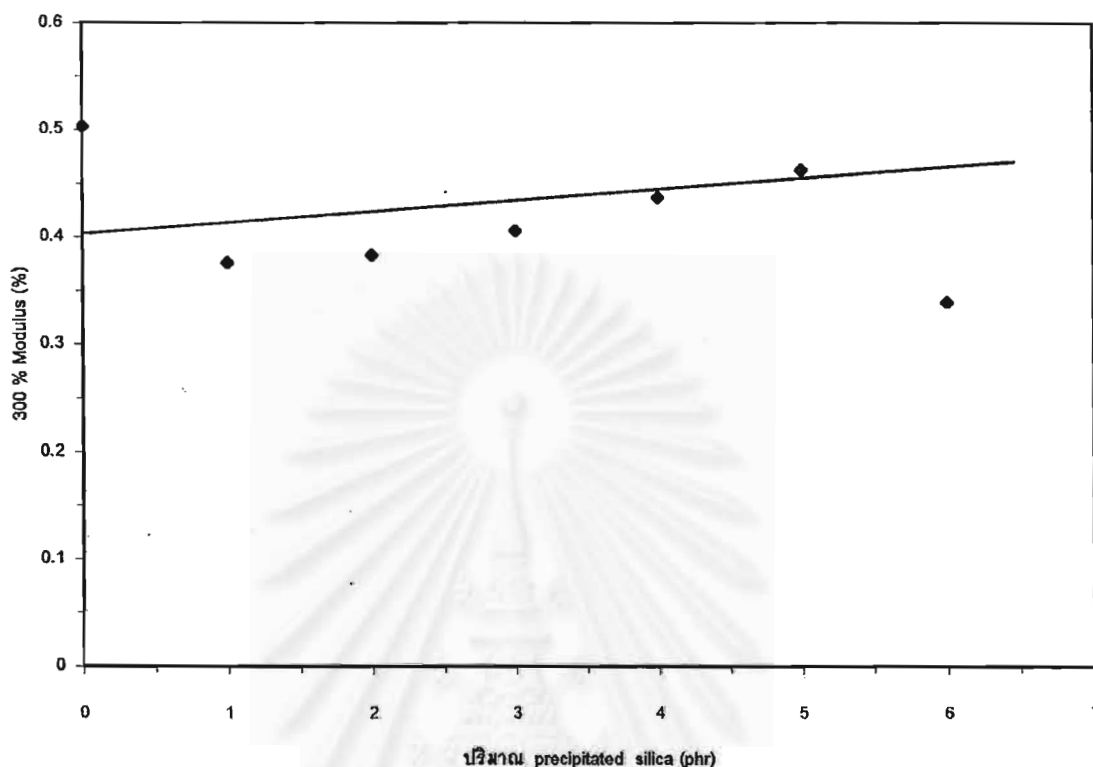
รูปที่ 5.8 ค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at Break) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

5). ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ precipitated silica กับค่าโมดูลัส 300 เปอร์เซนต์ (300 % Modulus)

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสของฟิล์มยางพบว่า ค่าโมดูลัสของฟิล์มยางจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเติม precipitated silica ในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.9

ตารางที่ 5.7 ค่า 300 % Modulus ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

ปริมาณ precipitated silica (phr)	300 % Modulus (MPa)
0	0.5028
1	0.3765
2	0.3832
3	0.4060
4	0.4374
5	0.4360
6	0.3393



รูปที่ 5.9 ค่า 300 % Modulus ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ

จากผลการทดลองหาปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมสำหรับเติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี จะได้ว่าปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมคือ 4 phr เนื่องจากให้ค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) และค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) สูงสุด โดยเฉพาะค่าความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้นถึง 55 % ส่วนค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at break) จะไม่แตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบแผ่นฟิล์มที่เติม precipitated silica ในปริมาณต่าง ๆ และค่า 300 % Modulus ที่น้อยก็จะเป็นผลดีถ้านำไปทำถุงมือ เพราะจะทำให้ถุงมือ ยืดหยุ่น นุ่มมือ และไวต่อการสัมผัส

5.3 ผลการทดลองคุณสมบัติของฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง (aging) เมื่อเติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr

ผลการทดสอบค่าความต้านทานการดึงจนขาดและค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด ทั้งที่ใส่และไม่ใส่สารป้องกันยางเสื่อม (TNPP) และทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง (aging) พบว่า ฟิล์มยางที่ไม่เติม TNPP ค่าความต้านทานการดึงจนขาดก่อนบ่มเร่งเท่ากับ 23.47 MPa และหลังบ่มเร่งจะลดลงเหลือ 21.75 MPa แต่จะไม่มีผลต่อค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด ส่วนฟิล์มยางที่เติม

TNPP ค่าความต้านทานการดึงจนขาดเท่ากับ 20.49 MPa และหลังบ่มแรงจะลดลงเหลือ 17.44 MPa แต่จะไม่มีผลต่อค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด ดังแสดงในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 คุณสมบัติของฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มแรง

สารป้องกันยาง เสื่อม	Tensile Strength (MPa)		Elongation at Break (%)	
	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง	ก่อนบ่มแรง	หลังบ่มแรง
ไม่เติม TNPP	23.47	21.75	1039	1069
เติม TNPP	20.49	17.44	932	952

5.4. ผลการวิเคราะห์โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) จากฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ในปริมาณต่าง ๆ

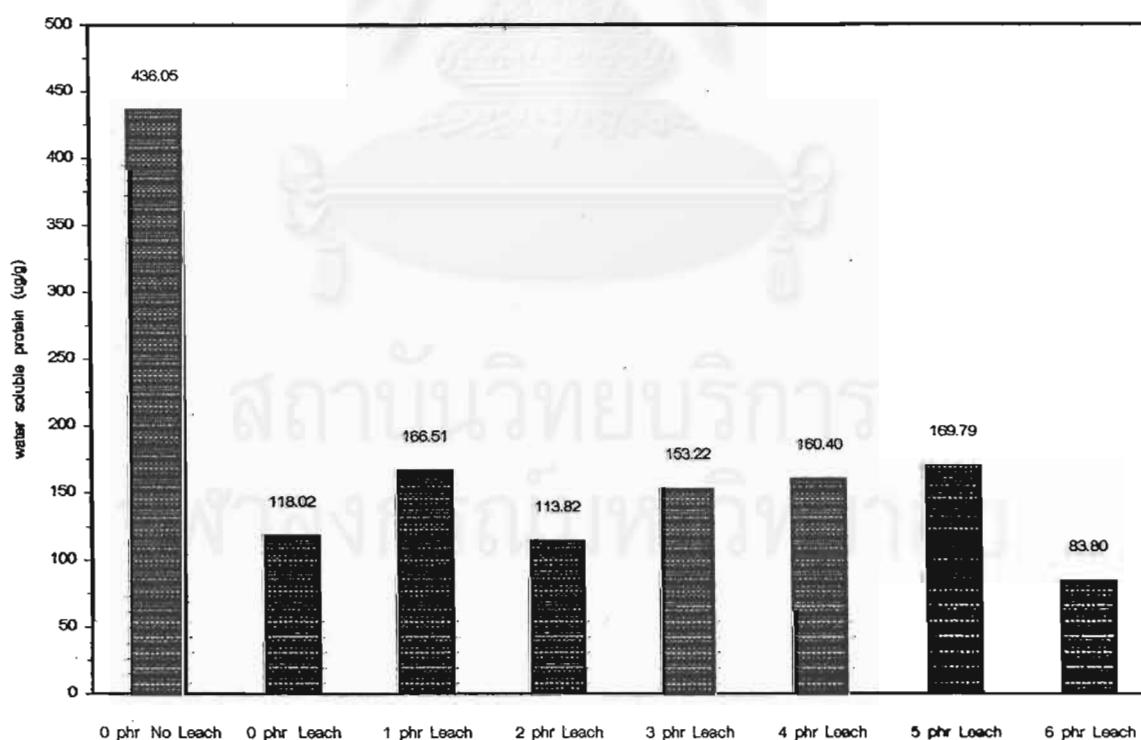
ผลการทดสอบพบว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้เติม precipitated silica และไม่ได้ล้างจะมีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ 436 $\mu\text{g/g}$ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูง แต่เมื่อนำมาล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โปรตีนที่ละลายน้ำได้จะลดลงเหลือ 118 $\mu\text{g/g}$ หรือประมาณ 73 % และเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ในปริมาณต่าง ๆ และล้างโดยใช้อุณหภูมิและเวลาเท่ากัน จะพบว่าจะไม่มีผลต่อค่าโปรตีนที่ละลายน้ำได้ เนื่องจากใช้เวลาล้างนานทำให้ถึงจุดอิ่มตัว (saturate) ดังแสดงในตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 ค่าโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ โดยใช้เวลาล้างด้วยน้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

ปริมาณ precipitated silica (phr)	ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ($\mu\text{g/g}$)
0 (ไม่ได้ล้าง)	436.05
0* (ล้าง)	118.02
1* (ล้าง)	166.51
2* (ล้าง)	113.82
3* (ล้าง)	153.22
4* (ล้าง)	160.40
5* (ล้าง)	169.79
6* (ล้าง)	83.80

* ไม่นำผลมาใช้เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนในกระบวนการล้างฟิล์มยาง



รูปที่ 5.10 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ที่ปริมาณ precipitated silica ต่าง ๆ โดยใช้เวลาล้างด้วยน้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง

5.5 ผลการวิเคราะห์ค่า Si/Protein ratio โดยใช้เทคนิค energy dispersive x-ray fluorescence spectrometry ใน LVSEM จากฟิล์มยางหลังจากที่ทำการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งที่ไม่เติมและเติม precipitated silica ในปริมาณ 4 phr

การหาค่า Si/Protein ratio เนื่องจากผลการทดลองที่ไม่พบฟลักของซิลิกอน (Si) เนื่องจาก ซิลิกาที่ผิวของฟิล์มยางถูกล้างออกไป และการใช้วิธีนี้จะตรวจไม่พบไนโตรเจน (N) เนื่องจากเครื่องมือมีความไวไม่เพียงพอ โดยผลแสดงดังตารางที่ 5.10 รูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 จึงจะทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง ออกซิเจน/คาร์บอน (O/C) แทน โดยผลที่ได้เป็นดังนี้

- เมื่อไม่เติม precipitated silica จะได้ค่า O/C = 0.4232

หรือ

$$\text{protein/isoprene} = 0.4232$$

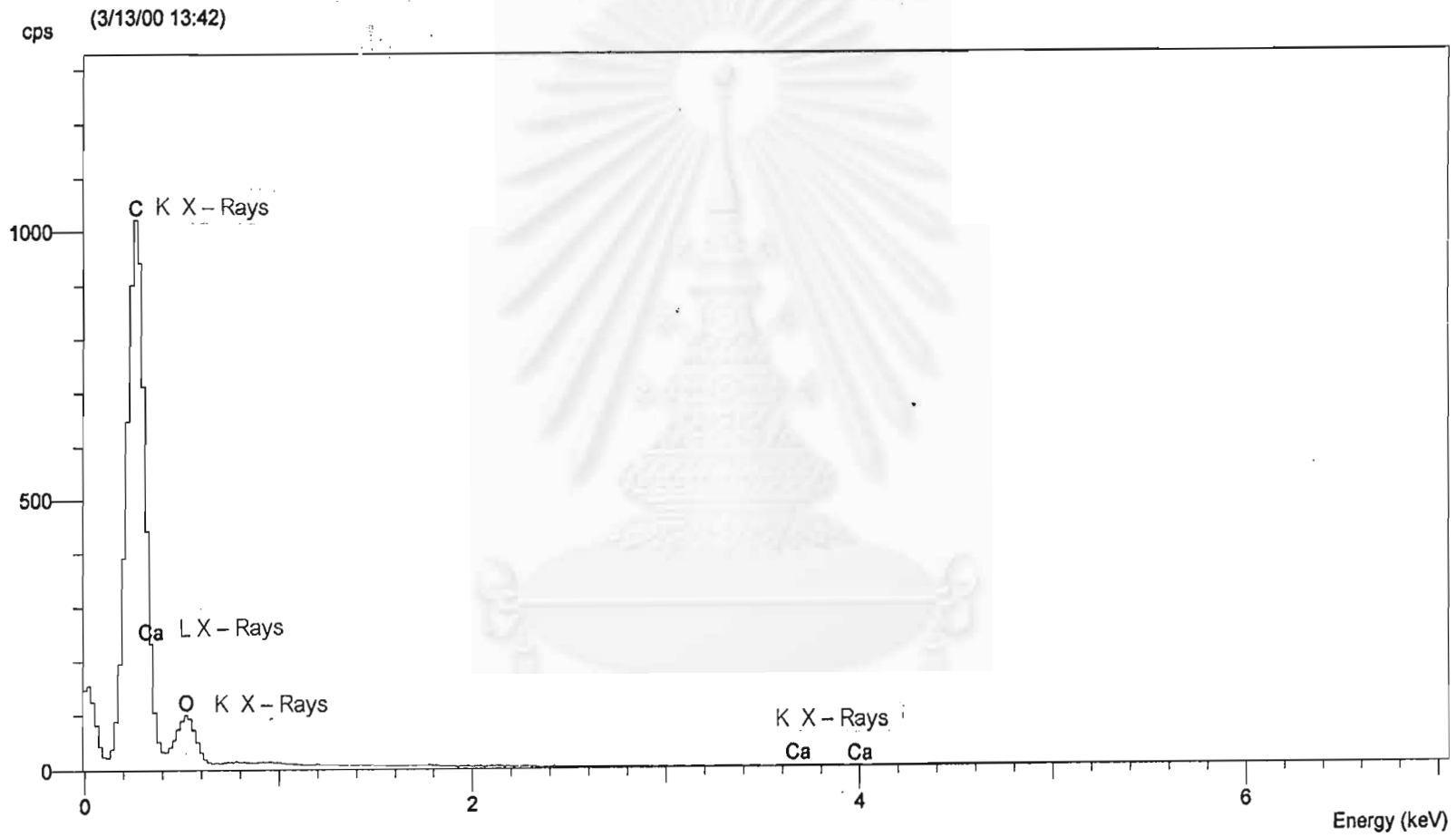
- และเมื่อเติม precipitated silica จะได้ค่า O/C = 0.3416

หรือ

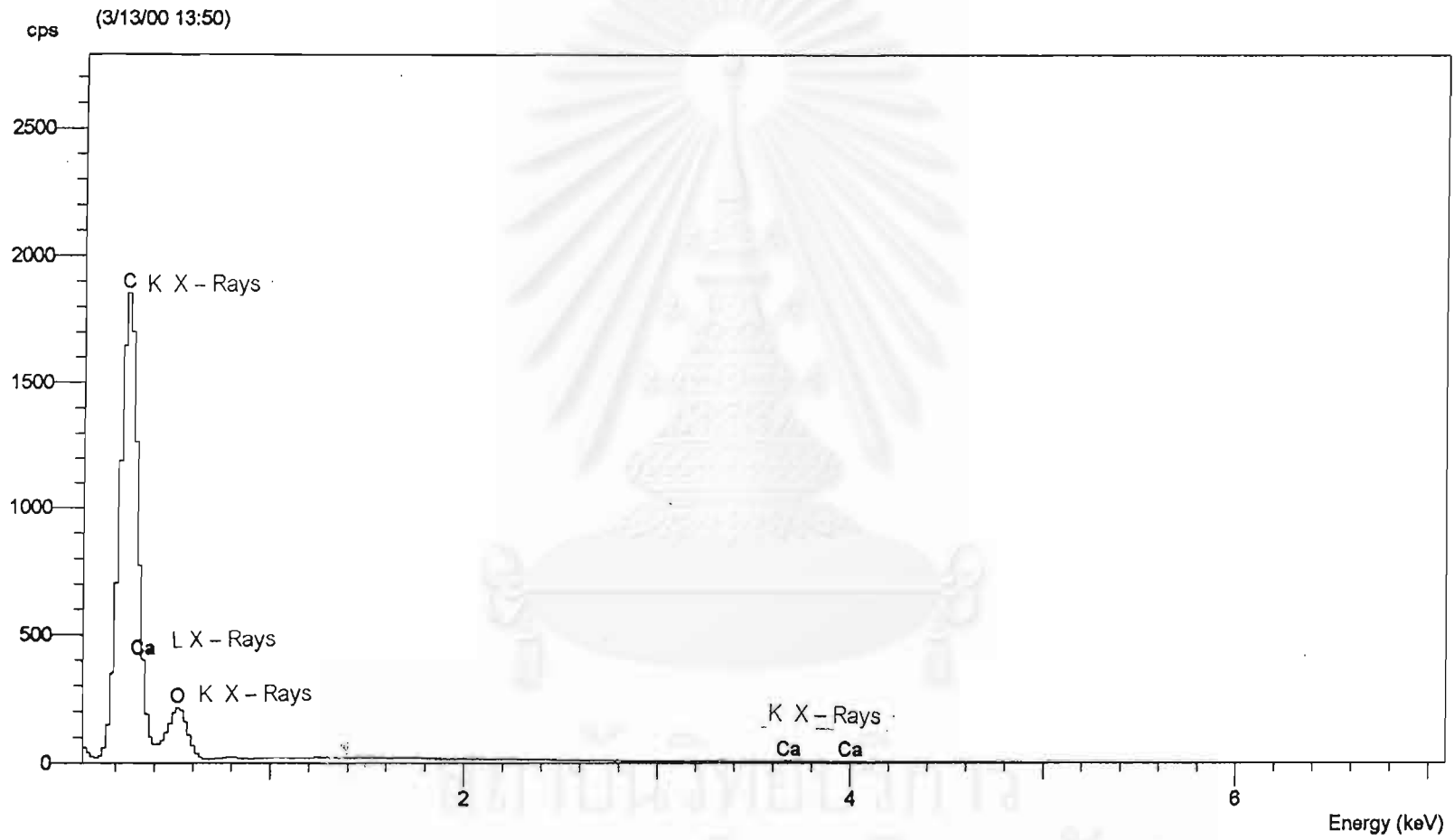
$$\text{SiO}_2 + \text{protein/isoprene} = 0.3416$$

ตารางที่ 5.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่พบจากฟิล์มยางโดยวิธีเรืองรังสีเอกซ์

Elements	Atomic (%)	
	ไม่เติม SiO ₂	เติม SiO ₂
C	70.21	74.53
O	29.71	25.46
Ca	0.08	0.01
Total	100	100



รูปที่ 5.11 สเปกตรัมรังสีเอ็กซ์เรืองของธาตุที่พบจากฟิล์มยางที่ไม่เติม precipitated silica



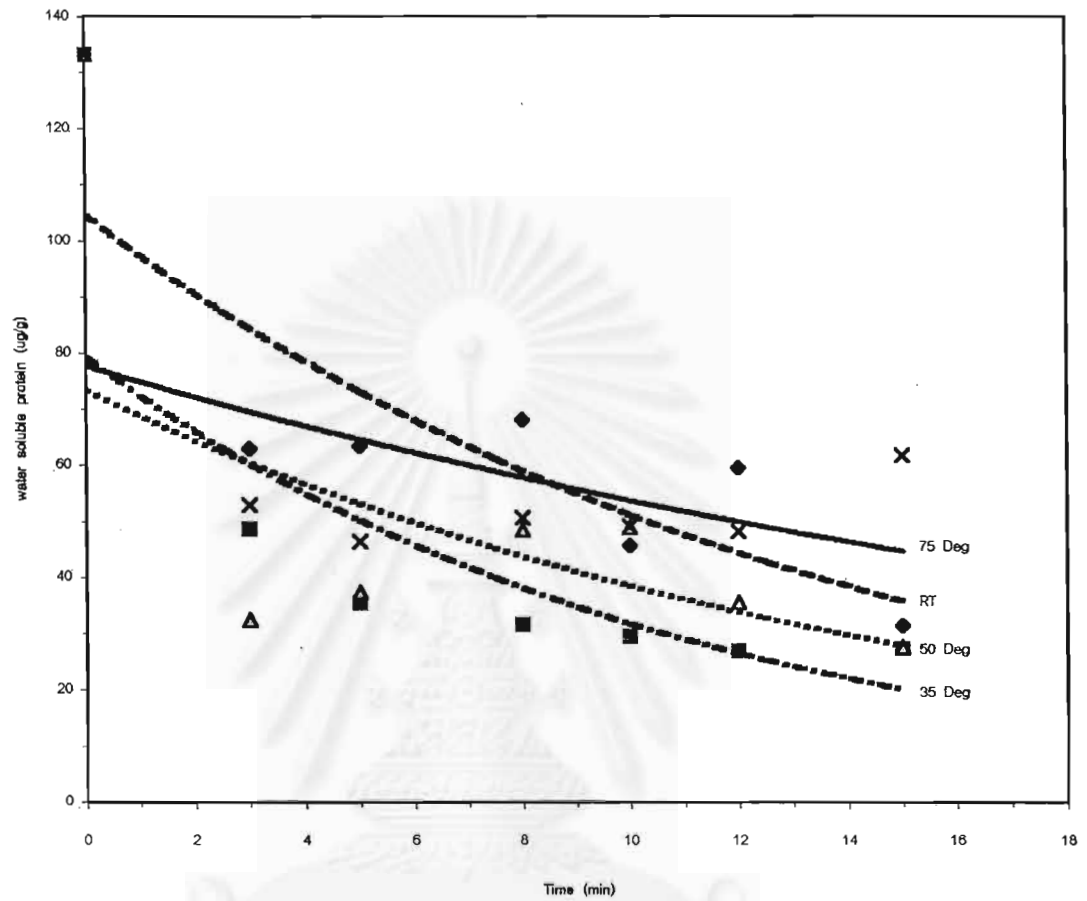
รูปที่ 5.12 สเปกตรัมรังสีเอ็กซ์เรย์ของธาตุที่พบจากฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr

5.6 ผลการทดลองหาเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมของน้ำ สำหรับล้างฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ในฟิล์มยางพบว่า ฟิล์มยางที่ไม่ได้ล้างจะมีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 133.21 $\mu\text{g/g}$ และเมื่อนำไปล้างที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ โปรตีนที่ละลายน้ำได้จะลดลงมากกว่า 50 % และเมื่อล้างที่อุณหภูมิ 75 °C จะตรวจพบปริมาณโปรตีนมากกว่าล้างที่อุณหภูมิต่ำกว่า ดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.13

ตารางที่ 5.11 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ที่เงื่อนไขการล้างแบบต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ($\mu\text{g/g}$)			
	อุณหภูมิห้อง(30°C)	35 °C	50 °C	75 °C
0	133.21	133.21	133.21	133.21
3	62.99	48.62	32.44	52.95
5	63.53	35.47	37.38	46.41
8	68.22	31.52	48.55	50.70
10	45.80	29.46	49.00	49.18
12	59.62	26.91	35.53	48.31
15	31.42	27.20	27.60	61.74



รูปที่ 5.13 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (water soluble protein) ที่เสื่อมโทรมการล้างแบบต่าง ๆ

—x— RT (อุณหภูมิห้อง)

---◆--- 35 °C

---△--- 50 °C

---■--- 75 °C

จากผลการทดลองจะเห็นว่าอุณหภูมิและเวลาล้างฟิล์มยางที่เหมาะสมคือ 35 °C 12 นาที เนื่องจากตรวจพบปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติหรือ Vulcanization dose คือ 20 kGy โดยใช้ n-BA ปริมาณ 5 phr เป็นสารไวปฏิกิริยา

จากผลการทดลองการเติม precipitated silica ในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ปริมาณ precipitated silica ที่เหมาะสมคือ 4 phr ข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเติม precipitated silica สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มยางให้ดีขึ้น โดยเฉพาะค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) จะเพิ่มขึ้นจาก 11 N/mm เป็น 17.2 N/mm หรือประมาณ 55 % เนื่องจากอนุภาคซิลิกาทำให้เส้นทางการฉีกขาดหันเหไปอีกทางหนึ่ง จึงจะต้องใช้แรงเพิ่มขึ้นในการฉีกขาด นอกจากนี้คุณสมบัติค่าความต้านทานการดึงจนขาด (Tensile Strength) ก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยเพิ่มขึ้นจาก 23.48 MPa เป็น 26.76 MPa ซึ่งการเติม precipitated silica ไม่มีผลต่อค่าความยาวที่ยืดออกจนขาด (Elongation at break) และค่า 300 % โมดูลัส โดยค่าความยาวที่ยืดออกจนขาดจะเพิ่มขึ้น และค่าโมดูลัสจะน้อยซึ่งเป็นผลดี เพราะจะทำให้ถุงมือยืดหยุ่นได้ดี และไวต่อการสัมผัส

ผลการทดสอบคุณสมบัติของฟิล์มยางหลังบ่มเร่ง (aging) จะเห็นว่าค่า tensile Strength และค่า Elongation at break จะสูงกว่าเกินกว่ามาตรฐานของถุงมือยางตรวจโรค (Rubber Examination Glove) ตาม ASTM 3578 – 95 (แสดงไว้ดังภาคผนวก ค) จากผลการเติมสารป้องกันยางเสื่อม TNPP จะเห็นว่าค่า Tensile Strength จะต่ำกว่าแผ่นฟิล์มที่ไม่เติมสารป้องกันยางเสื่อมทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง ซึ่งอาจเนื่องมาจากคุณสมบัติของ TNPP ยังไม่ดี แต่ฟิล์มยางที่เติม TNPP หลังบ่มเร่งจะมีสีใสกว่าฟิล์มยางที่ไม่เติม TNPP

จุดประสงค์อีกอย่างของการวิจัยนี้ก็เพื่อศึกษาผลของ precipitated silica ต่อปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในฟิล์มยาง ซึ่งจากผลที่ได้จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบฟิล์มยางที่ไม่เติม precipitated silica และไม่ได้ล้าง (ตารางที่ 5.9) มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 436 $\mu\text{g/g}$ กับฟิล์มยางที่เติม precipitated silica และไม่ได้ล้าง (ตารางที่ 5.11) มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 133.21 $\mu\text{g/g}$ จะเห็นว่าปริมาณโปรตีนลดลงไปมาก เนื่องมาจากเกิดการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ของซิลิกา ซิงค์ออกไซด์ และโปรตีน ทำให้โปรตีนถูกตรึงไว้ในฟิล์มยาง ไม่สามารถเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวของฟิล์มยางได้

จากผลการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างปริมาณออกซิเจนกับคาร์บอน (O/C) ของฟิล์มยางพบว่า O/C ของฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr จะไม่ค่อยแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับฟิล์มยางที่ไม่เติม เนื่องจากการล้างนานจนถึงจุดอิ่มตัว ผลที่ได้จึงไม่แตกต่างกัน

ในทางอุตสาหกรรมไม่สามารถใช้เวลาล้างฟิล์มยางนาน ๆ ได้ จึงได้ทดสอบหาอุณหภูมิของน้ำและเวลาล้างที่เหมาะสมสำหรับล้างฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ปริมาณ 4 phr เพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่ำที่สุด ซึ่งจากผลการทดลอง (ตารางที่ 5.11) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับล้างฟิล์มยางคือ 35 °C เวลา 12 นาที โดยวัดปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้เท่ากับ 27.20 µg/g ซึ่งต่ำที่สุด และต่ำกว่ามาตรฐานที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) ที่เสนอให้กำหนดปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ไม่เกิน 1200 ไมโครกรัมต่อถุงมือ 1 ข้าง หรือประมาณ 120 µg/g (ถุงมือ 1 ข้างหนักประมาณ 10 กรัม) ซึ่งถ้านำน้ำยางธรรมชาติที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสีและเติม precipitated silica ไปผลิตถุงมือก็สามารถลดการแพ้จากถุงมืออย่างที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปได้ และเพื่อประหยัดเวลาการล้างที่อุณหภูมิห้อง การใช้เวลาล้าง 3 นาทีก็สามารถลดโปรตีนได้ต่ำกว่าที่ FDA กำหนดแล้ว

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากฟิล์มยางที่ล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 75 °C พบว่าปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้มากกว่าฟิล์มยางที่ล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า เนื่องจากการให้ความร้อนกับฟิล์มยางจะกระตุ้นให้โปรตีนมีการเคลื่อนย้ายออกมาที่ผิวมากขึ้น

ข้อมูลจากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเติม precipitated silica ในน้ำยางธรรมชาติจะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ให้ดีขึ้น โดยอนุภาคของซิลิกาทำให้เส้นทางการฉีกที่รอยแยกหันเหไปทิศทางอื่น ซึ่งมีผลต่อค่าความต้านทานการฉีกขาด ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมได้

จากผลการทดลองผลที่ได้ก็คล้ายจากการเติม precipitated silica คือปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในฟิล์มยางลดลงเล็กน้อยมาก ซึ่งเมื่อนำไปใช้ในทางอุตสาหกรรมจะสามารถลดอัตราการแพ้โปรตีนในผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ

6.2 ข้อเสนอแนะ

1). ค่า Vulcanization dose ของน้ำยางแต่ละแหล่งจะไม่เท่ากัน เนื่องจากน้ำยางแต่ละแหล่งมีส่วนผสมต่างกัน ดังนั้นถ้านำน้ำยางแหล่งอื่นมาวัลคาไนซ์จะต้องทดลองหาค่า Vulcanization dose ของน้ำยางจากแต่ละแหล่งก่อน

2). ควรมีการทดลองเติม precipitated silica ก่อนที่จะนำไปฉายรังสีเพื่อเป็นการประหยัดเวลา และเพื่อทดสอบว่าคุณสมบัติทางฟิสิกส์จะดีหรือด้อยกว่าการเติมหลังจากที่ฉายรังสีแล้วหรือไม่

3). ควรมีการทดลองหาปริมาณซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่เหมาะสม เพราะปริมาณที่สูงในการทดลองนี้นำมาจากการทดลองของ Cabot Corporation ที่ทำการทดลองในหัวข้อ "Use of Cab-O-Guard Dispersions of Fumed Silica in Dipped Latex Good" ซึ่งทดลองโดยใช้น้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยใช้ซิลเฟอร์

4). ควรนำฟิล์มยางที่เติม precipitated silica ไปทดสอบการแพ้ เพราะวาโปรตีนที่รวมกับ precipitated silica และซิงค์ออกไซด์ อาจจะไม่ใช่วาโปรตีนที่เป็นชนิดที่ทำให้เกิดอาการแพ้ก็ได้

5). ควรควบคุมกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เพื่อให้ได้ขนาดอนุภาค precipitated silica ที่เล็กลงกว่านี้ ซึ่งจะช่วยให้ผลการวิจัยดีขึ้น

รายการอ้างอิง

1. Haque, M. E., Dafader, N.C., Akhtar, F., and Ahmad, M. U. Radiation Dose Required for The Vulcanization of Natural Rubber Latex. Radiation Physical Chemistry 48, No. 4, (1996) : 505 - 510.
2. Morris, M.D. and Geiger, R.F., and Anand, J.N. Use of Cab-O-Guard TM Dispersions of Fumed Silica in Dipped Latex Goods. Cabot Corporation, Cab-O-Sil Division, Tuscola, 1997.
3. Varghese, S., Makuuchi, K., Yoshii, F., and Katsumura, Y. Effect of Water Soluble Polymers on Radiation Vulcanization Natural Rubber Latex. University of Tokyo, 1997.
4. สิริลักษณ์ ชูโชติ. การเตรียมกราฟต์โคโพลิเมอร์จากน้ำยางธรรมชาติกับเมทิลเมทาครีเลตโดยฉายรังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมีเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
5. ปราวรณา คิวสุวรรณ. การทำให้แผ่นยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีมีความเสถียรโดยเติมสารป้องกันยางเสื่อม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมีเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
6. Spinks, T.W.T., and Woods, R.J. An Introduction to Radiation Chemistry. , John Wiley & Sons, 1990.
7. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. อุตสาหกรรมการผลิตยางดิบ. ยาง. 111 - 150 . กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2536.
8. รัตน์ เพชรจันทร์. ยางพารา. กรุงเทพฯ : หน่วยงานนิเทศน์ กรมการฝึกหัดครู, 2527
9. Blow, C.M. and Hepburn, C. Rubber Technology and manufacture. 2nd ed. Butterworth scientific, 1982.
10. สุภรัตน์ นวลสุวรรณ. ยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท บัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
11. Makuuchi, K. Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. RCA Regional Training Course Quality Control of RVNRL 21 – 25 July 1997. Center for Application of Isotopes and Radiation National Atomic Energy Agency, Indonesia, 1997.

12. ดรุณี วัชราเรืองวิทย์. การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติโดยการใช้รังสีได้อย่างไร. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ ปีที่ 47 ฉบับที่ 151 (กันยายน 2542) : 1 - 4.
13. พรพชา ช่วยปล้อง. การเลือกและการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำยางธรรมชาติสำหรับใช้ทำน้ำยางวัล คาไนซ์ด้วยรังสี. วารสารยางพารา ปีที่ 7 เล่มที่ 2 (2527) : 72 – 80.
14. ภัทธา กานตศิลป์. น้ำยางพรีวัลคาไนซ์. วารสารยางพารา ปีที่ 10 เล่ม 2 (2533) : 102 – 111.
15. นุชนาฏ ณ ระนอง. ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติปราศจากโปรตีนที่ละลายน้ำได้จากน้ำยางวัล คาไนซ์ ด้วยรังสี. วารสารยางพารา ปีที่ 18 เล่ม 1 (2541) : 49 – 68.
16. นุชนาฏ ณ ระนอง และ วราภรณ์ ขจรไชยกุล. เทคโนโลยีการลดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ในผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ. วารสารยางพารา ปีที่ 16 เล่มที่ 2 (2539) : 98 –105.
17. สุวิรากร โอภาสวงศ์. โปรตีนกับอาการแพ้. วารสารยางพารา ปีที่ 16 เล่ม 2 (2539) : 91 – 97.
18. Douglas, A. Comments on CDRH July 30 draft Medical Glove Guidance Manual. Ottawa : Health Canada, 1999.
19. Food and Drug Administration, Department of Health and Human Services. Letter to the Medical Glove Industry, America, 30 July 1999.
20. Standard Specification for Rubber Examination Gloves. ASTM : D 3578 – 95.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

บริษัท กระป๋องฟาราร์เบอร์ จำกัด

TEST RESULT

REP.....บริษัท 7ก.ช.อง พารา จำกัด อยุธยา.

LOT NO.....Tank 8 100,000 kg.

DATE OF PRODU.....4-12/3/42

DATE OF TEST.....16/3/42.

TSC (%) = 61.92

DRC (%) = 60.36

NR6 (%) = 1.56

NH3 (TOTAL WEI = 0.75

NH3 (WATER PH = 1.96.

PH = 10.90

KOH NO. = 0.60

VFA NO = 0.024 ✓

MST (SECOND)@ ! = 360 .

SG.25e = -

MG(ppm) = 24.83

VISCOSITY 60% T = -

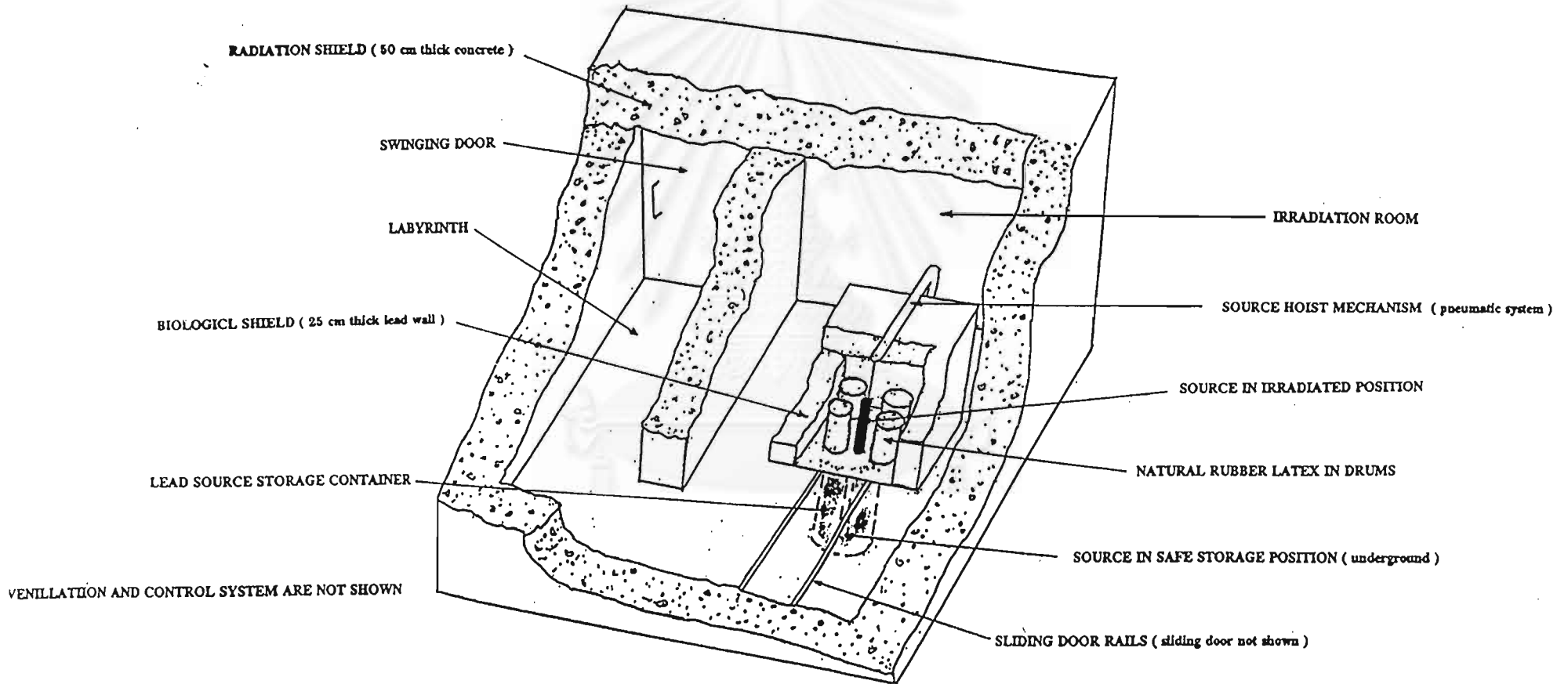
REM.....

REPC.....

CUT-AWAY VIEW

Dry Storage Natural Rubber Latex Irradiator

(10 kCi Co-60 Source : Out put 4. tons/month)



เครื่องฉายรังสีน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ติดตั้งที่อาคารปฏิบัติการรังสีสูง ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

เครื่องฉายรังสีน้ำยาง BSV – 06 (Latex Irradiator BSV – 06)

เครื่องฉายรังสีน้ำยางใช้ต้นกำเนิดรังสี Co – 60 ความแรงรังสี 10 kCi เป็นของ Institute of Isotopes Co., Ltd., Hungary มีชื่อว่า 'besugarzo vezerlo' หรือ BSV ใน ภาษา Hungarian หมายความว่า 'irradiation control'

ต้นกำเนิดรังสีจะถูกเก็บอยู่ใต้พื้นคอนกรีตของห้องฉายรังสีที่มีผนังห้องหนา 50 cm และยังมีห้องตะกั่วหนา 25 cm มีปริมาตรภายใน 1 m³ ตั้งอยู่ข้างบนที่เก็บต้นกำเนิดรังสี และภายในห้องตะกั่วจะมีท่อซึ่งต่อกับที่เก็บต้นกำเนิดรังสีเพื่อให้ต้นกำเนิดรังสีเลื่อนขึ้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm การเลื่อนต้นกำเนิดรังสีขึ้นจะใช้ระบบลมอัด (pneumatic system) และการเลื่อนเข้าและเลื่อนออกของประตูตะกั่วก็ใช้ระบบลมอัดด้วยเช่นกัน

ระบบการรักษาความปลอดภัยภายในประกอบด้วย เครื่องวัดกัมมันตภาพรังสี 2 เครื่อง ติดที่ผนังห้อง และที่ผนังของห้องตะกั่ว มีสวิตช์ 2 ตัวที่ประตูตะกั่วและที่ประตูห้องฉายรังสี เครื่องวัดแรงดันลมสำหรับเปิดประตูตะกั่ว และเครื่องวัดไฟตก (electrical failure monitor) เมื่อมีสัญญาณความผิดปกติเกิดขึ้นจากเครื่องใดเครื่องหนึ่งก็จะไม่สามารถเริ่มต้นฉายรังสีได้ หรือถ้าอยู่ระหว่างการทำงานก็จะทำให้ต้นกำเนิดรังสีตกลงไปสู่ที่เก็บ และนอกจากนี้กลไกการล็อกประตูตะกั่วจะเกี่ยวโยงกับการยกต้นกำเนิดรังสีขึ้น จึงรับประกันได้ว่าขณะที่ฉายรังสี ประตูตะกั่วจะไม่ถูกเปิดโดยเด็ดขาด

การทำงานของเครื่องฉายรังสีจะควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การใช้งานจะต้องมี Master key และการเปลี่ยนแปลงกระบวนการรักษาความปลอดภัย การเปิด – ปิดเครื่อง จะต้องทราบ Password เหตุการณ์ทุก ๆ อย่างจะถูกบันทึกอัตโนมัติใน CPU และจะแสดงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น 5 อย่างสุดท้ายที่หน้าจอตลอดเวลา และถ้าประตูห้องฉายรังสีถูกเปิด ต้นกำเนิดรังสีจะตกลงไปสู่ที่เก็บทันที ซึ่งจะป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกรณีประตูห้องถูกเปิดขณะฉายรังสี

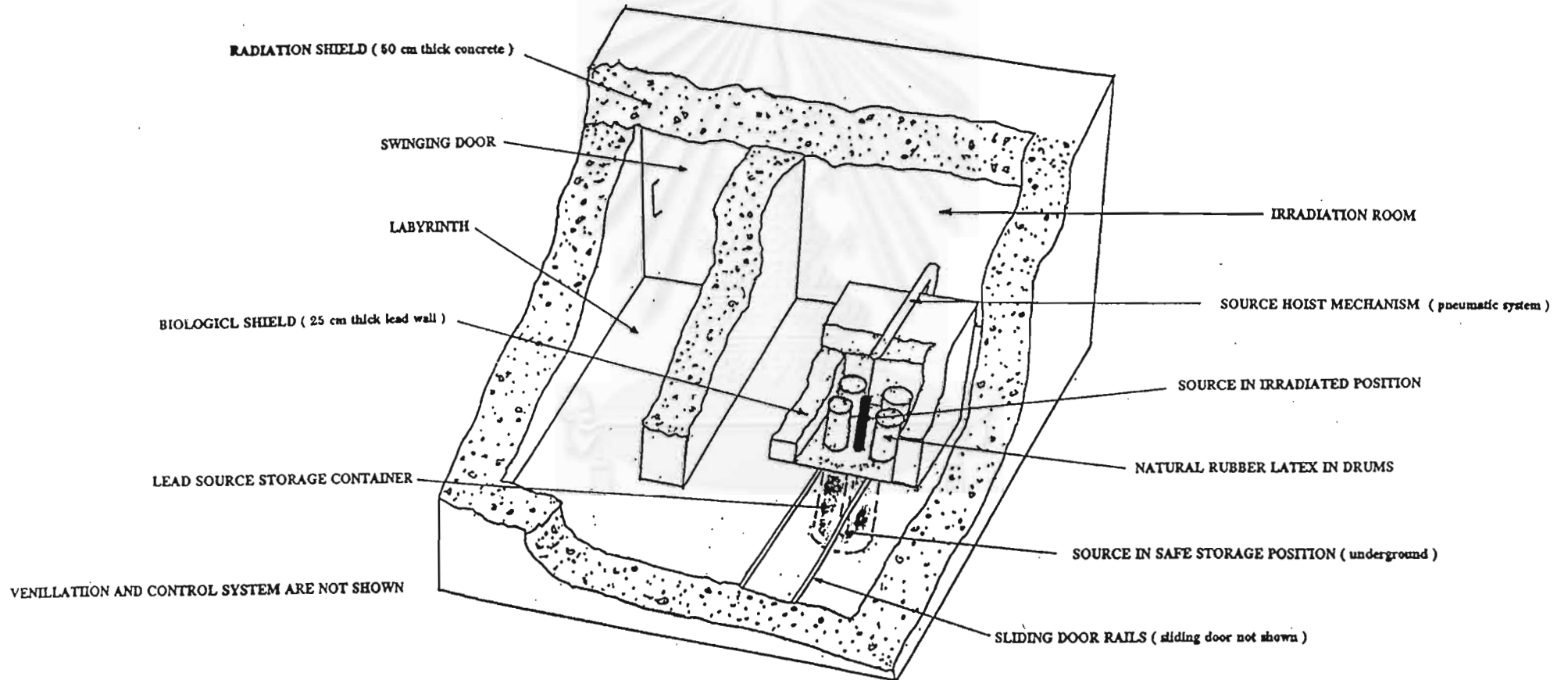
การรักษาความปลอดภัยอีกอย่างคือจะมีปุ่ม Emergency 3 ปุ่ม สองปุ่มจะอยู่ในห้องฉายรังสี และอีกปุ่มอยู่ที่เครื่องควบคุมการฉายรังสี (control console) ถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นระหว่างการฉายรังสีก็จะมีเสียงสัญญาณเตือนและสัญญาณไฟเตือนซึ่งติดตั้งอยู่ภายนอกห้อง

ห้องฉายรังสีจะมีเครื่องสูบลมอากาศออก (air blower) โดยจะทำงานอัตโนมัติ 15 นาที ทุก ๆ 2 ชั่วโมง หรือสามารถเปิดเองหลังจากที่เปิดประตูตะกั่วก่อนที่จะเข้าไปในห้องฉายรังสี

CUT-AWAY VIEW

Dry Storage Natural Rubber Latex Irradiator

(10 kCi Co-60 Source : Out put 4. tons/month)



เครื่องฉายรังสีน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

ติดตั้งที่อาคารปฏิบัติการรังสีสูง ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

Physical Requirements²⁰

For Rubber Examination Gloves (ASTM 3578 – 95)

Before Aging		After Aging	
Tensile Strength	Ultimate Elongation	Tensile Strength	Ultimate Elongation
14 MPa	700 % min	14 MPa	500 % min

ภาคผนวก ง

วิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือแพทย์จากยางธรรมชาติ
Determination of Soluble Proteins in NR Latex Medical Gloves

นุชนาฏ ณ ระนอง กุลทิวา รัตนเวคินรักษ์

วารภรณ์ ขจรไชยกุล

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ในปัจจุบันการใช้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางได้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ประเภทถุงมือแพทย์ จากสถิติในปี 2538 มีการผลิตถุงมือยางทางการแพทย์เพื่อการส่งออกคิดเป็นมูลค่าประมาณ 5,000 ล้านบาท ในขณะที่เดียวกันก็มีรายงานถึงอาการระคายเคืองและเป็นผื่นคันเนื่องมาจากการใช้ถุงมือยางจากยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นด้วย จากผลการศึกษาถึงสาเหตุของอาการดังกล่าว สรุปได้ว่าสารโปรตีนที่ละลายน้ำได้ที่มืออยู่ในยางธรรมชาติเป็นสาเหตุหลัก ทำให้ประเทศผู้ใช้ถุงมือยางทางการแพทย์จากยางธรรมชาติพยายามกำหนดระดับปริมาณจำกัดของผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง แต่เนื่องจากยังไม่มีข้อกำหนดวิธีวิเคราะห์มาตรฐานในการหาปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (ISO) จึงได้มีมติให้มีคณะทำงานในเรื่องวิธีวิเคราะห์มาตรฐานดังกล่าว ซึ่งประเทศไทยมีผู้แทนในคณะทำงานนี้ โดยมีผู้แทนจากสถาบันวิจัยยางร่วมดำเนินการศึกษาและกำหนดวิธีวิเคราะห์มาตรฐานเสนอต่อองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานเพื่อจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากน้ำยางของประเทศที่กำลังขยายตัวอย่างมาก

หลักในการวิเคราะห์ ใช้วิธีสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ด้วยน้ำ แล้วแยกสารปนเปื้อนออกนำไปตกตะกอนด้วยสารละลายกรด ละลายตะกอนที่ได้ด้วยสารละลายด่าง ย้อมสี แล้วตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องมือวัดการดูดกลืนแสงในช่วงรังสีเหนือม่วง (UV-Spectrometry)

ปัจจัยที่มีผลต่อวิธีการตรวจวัดปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์ที่ควรพิจารณาคือ ปริมาณน้ำที่ใช้สกัด ความเร็วในการปั่นแยก ความเข้มข้นสารละลายกรดที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีน และรวมถึงปัจจัยย่อย ที่ให้ความสะดวกในเชิงปฏิบัติ วิธีวิเคราะห์ที่ให้ผลถูกต้องน่าเชื่อถือ ควรใช้ปริมาณน้ำในการสกัดประมาณ 20 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่างที่มีน้ำหนัก

1 – 1.5 กรัม ใช้ความเร็วในการปั่นแยกระดับ 3000 – 6000 x g และใช้ความเข้มข้นของกรดเสริม (PTA) เป็น 1.6%

วิธีดำเนินงาน

1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- เครื่องมือวัดการดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอุลตราไวโอเล็ต (UV-Spectrophotometer)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอินฟราเรด (IR-Spectrophotometer)
- เครื่องปั่นแยกชนิดความเร็วสูง (High Speed Centrifuge)
- เครื่องผสมแบบน้ำวน (Vortex Mixer)
- เครื่องชั่งละเอียด (Analytical Balance)
- อุปกรณ์เครื่องแก้วและอุปกรณ์พลาสติกใช้ในการปฏิบัติงานวิเคราะห์ทางเคมี

2. สารเคมีที่ใช้ในงานวิเคราะห์

- กรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic : TCA)
- กรดฟอสโฟทังสติก (Phosphotungstic acid : PTA)
- เกลือโซเดียมของกรดดีออกซีโคลิค (Sodium salt of Deoxycholic acid : DOC)
- โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate)
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ (0.2 M NaOH)
- คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper Sulphate)
- ไตรโซเดียมซิเตรท (Trisodium citrate)
- โฟลีน-ซิโอดัลไต (Folin-Ciocateu Reagent)
- โปรตีนมาตรฐาน (Ovalbumin)

3. ตัวอย่างถุงมือทางการแพทย์จากบริษัทในประเทศไทย

4. วิธีการและผลการทดลอง

4.1 การทดลองใช้วิธีวิเคราะห์ตามร่างมาตรฐานที่เสนอโดยคณะทำงานวิชาการของ ISO (มีผู้แทนสถาบันวิจัยยาง คือ นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล และ นางสาวนุชนาฏ ณ ระนอง เป็นผู้แทนประเทศไทยในการร่วมร่างมาตรฐานนี้)

4.1.1 เตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐานเพื่อทำเส้นกราฟสำหรับเทียบวัดผล (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการดูดกลืนแสง (หน่วยเป็น absorbance unit : AU) กับปริมาณโปรตีนมาตรฐาน

ฐานในสารละลาย (หน่วยเป็นไมโครกรัม : μg) โดยเตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐานความเข้มข้น 5 ระดับ ตั้งแต่ 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ถึง 160 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (10, 20, 40, 80 และ 160 $\mu\text{g/ml}$ ตามลำดับ)

4.1.2 ทำเส้นกราฟสำหรับเทียบวัดผล (calibration curve)

4.1.2.1 ใช้สารละลายโปรตีนมาตรฐานแต่ละความเข้มข้น ปริมาณ 0.8 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองพลาสติก ขนาด 15 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (TCA) ความเข้มข้น 35% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายกรดฟอสโฟทังสเตนิก (PTA) ความเข้มข้น 40% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และวางทิ้งไว้ 20 นาที เพื่อให้เกิดตะกอน

4.1.2.2 นำไปปั่นแยกตะกอนโปรตีนด้วยเครื่องปั่นความเร็ว 2000 x g เวลา 40 ± 5 นาที แล้วรินสารละลายใสส่วนบนออกให้หมด

4.1.2.3 เติมสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาณ 0.8 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองพลาสติกที่มีตะกอนโปรตีนอยู่ เขย่าด้วยเครื่องผสมแบบน้ำวน (Vortex mixer) ครั้งละ 30 วินาที ทุก ๆ 5 นาที จนครบเวลา 20 นาที เพื่อให้ตะกอนโปรตีนละลายหมด

4.1.2.4 เติมสาร C ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ลงในโปรตีนที่ละลายแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที \pm 10 วินาที
หมายเหตุ สาร C ได้จากสารผสมระหว่างสารละลายไซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 50 มิลลิลิตร กับสารละลายผสมของคอปเปอร์ซัลเฟต 1.5 กรัม และไซเดียมซเตรท 3 กรัม ในน้ำ ให้ได้ปริมาตร รวม 100 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ซึ่งสาร C นี้ ต้องเตรียมใช้เฉพาะวัน

4.1.2.5 เติมสารละลายฟลิน-ซีโอคัลโต ความเข้มข้น 72% (น้ำหนัก/

น้ำหนัก) ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าทันทีให้เข้ากัน ด้วยเครื่องผสมแบบน้ำวน เวลา 30 วินาที วางสารละลายที่ได้ไว้อีก 30 ± 2 นาที

4.1.2.6 รินสารละลายลงในเซลล์สำหรับตัวอย่างขนาดกว้าง 1

เซนติเมตร (หมายถึงระยะที่ให้แสงผ่าน : path length) ของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงด้วยรังสีอินฟราเรด (แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 ± 10 นาโนเมตร

4.1.2.7 เขียนกราฟมาตรฐานสำหรับใช้เทียบวัดผลวิเคราะห์ตัวอย่างหนึ่งได้ทดลองใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอินฟราเรด (IR-Spectrophotometer) เพื่อตรวจวัดปริมาณกลุ่ม $-NH_2$ ในโครงสร้างของโมเลกุลของโปรตีนพบว่าสเปกตรัมของกลุ่ม $-NH_2$ ถูกบดบังโดยสเปกตรัมของกลุ่มไฮดรอกไซด์ ($-OH$) ซึ่งมีค่าการดูดกลืนเฉพาะที่ใกล้เคียงกันมาก ทำให้ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ค่าปริมาณที่ไม่แน่นอน

ดังนั้น ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนจากตัวอย่างถุงมือยาง จึงใช้เส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer

4.1.3 เตรียมตัวอย่างจากผลิตภัณฑ์ถุงมือแพทย์และวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้

4.1.3.1 ใช้ถุงมือแพทย์หนึ่งข้าง ตัดบริเวณฝ่ามือให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 7 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น ซึ่งรวมกันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ด้วยเครื่องชั่งละเอียด จดบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

4.1.3.2 ใส่ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงในขวดชมพู (flask) ทำด้วยพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาณ 30 มิลลิลิตร

4.1.3.3 วางขวดชมพูที่บรรจุชิ้นตัวอย่างและน้ำ ลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่ 35 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 ± 5 นาที และเขย่าขวดทุก 30 นาที

- 4.1.3.4 รินสารละลายที่สกัดได้ทั้งหมด ลงในหลอดทำด้วยพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร สำหรับใช้กับเครื่องปั่นแยก (Centrifuge) แล้วปั่นด้วยความเร่ง $500 \times g$ เป็นเวลา 20 ± 1 นาที เพื่อแยกสารที่ไม่ละลายอื่น ๆ ที่อาจติดมา
- 4.1.3.5 ใช้ปิเปตดูดสารละลายใสจากหลอด centrifuge ปริมาณ 6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองทำด้วยพลาสติก ขนาด 15 มิลลิลิตร เติมเกลือโซเดียมของกรดดีออกวิโคลิด ความเข้มข้น 0.15% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.6 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดสารรบกวนการตกตะกอน แล้วเติมสารละลายกรด TCA ความเข้มข้น 35% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.4 มิลลิลิตร และสารละลายกรด PTA ความเข้มข้น 40% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และวางทิ้งไว้ 20 นาที เพื่อให้เกิดตะกอน
- 4.1.3.6 ดำเนินการเช่นเดียวกันตั้งแต่ 4.1.2.2 - 4.1.2.6
- 4.1.3.7 นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เปลี่ยนเป็นค่าปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ โดยการเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐานจากข้อ 4.1.2.7
- 4.1.3.8 คำนวณปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่อน้ำหนักถุงมืออย่างตามสูตรต่อไปนี้

$$C = \frac{C \times V_w}{M_g \times V_p}$$

เมื่อ C = ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ หน่วยเป็น ไมโครกรัม/กรัมถุงมือ ($\mu\text{g/g}$)

c = ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ หน่วยเป็น ไมโครกรัม ได้จากค่าที่เทียบวัดผลจากเส้นกราฟมาตรฐาน

V_w = ปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการสกัด หน่วยเป็น มิลลิลิตร

m_g = น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างถุงมือ น้ำหนักเป็นกรัม

V_p = ปริมาตรสารละลายที่สกัดได้ที่ใช้สำหรับ

ตกตะกอน หน่วยเป็นมิลลิลิตร

- 4.1.4 จัดหาตัวอย่างถุงมือแพทย์มาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ โดยใช้ถุงมือแพทย์ 3 แหล่ง ทั้งถุงมือสำหรับตรวจแบบมีแป้ง (Powdered Examination Gloves) และแบบไม่มีแป้ง (Non-powdered Examination Gloves) แต่ละแหล่งเป็นตัวอย่างที่ผลิตชุด (Lot) เดียวกัน ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ของปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือทางการแพทย์จากตัวอย่าง 3 แหล่ง (ใช้ตัวอย่างชุดละ 12 ชิ้น)

แหล่งที่มา ของตัวอย่าง	ค่าทางสถิติที่วัดได้				หมายเหตุ
	ค่าต่ำสุด – สูงสุด ($\mu\text{g/g}$)	ค่าเฉลี่ย ($\mu\text{g/g}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%CV)	
แหล่งที่ 1	297.12 – 855.64	640.57	185.81	29.01	ถุงมือแบบ มีแป้ง
แหล่งที่ 2	39.60 – 201.86	111.49	42.35	37.98	ถุงมือแบบ มีแป้ง
แหล่งที่ 3	N.D. – 78.83	-	-	-	ถุงมือแบบ มีแป้ง

หมายเหตุ : N.D. = Non-detected ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้

: S.D. = Standard Deviation

: CV = Coefficient of Variation

จากผลการทดลองและพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) พบว่าวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ยังมีความแปรปรวนสูง จึงพิจารณาปรับปรุงปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อวิธีวิเคราะห์ (4.2)

4.2 การทดลองปรับปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจมีผลต่อวิธีวิเคราะห์

4.2.1 ปรับอัตราความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีน โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสโฟทังสติก (PTA) จาก 40% เป็น 1.6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ทั้งนี้เนื่องจากกรด PTA เป็นกรดที่ช่วยเสริมการจับตัวให้สมบูรณ์ การใช้ความเข้มข้นที่สูงมากมาก อาจมีผลให้มีสารละลายกรดตกค้างอยู่กับตะกอนโปรตีนทำให้การละลายในสารละลายต่างไม่สม่ำเสมอ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เหมาะสมในการทำสีเพื่อวัดการดูดกลืนแสง ซึ่งจะให้ค่าที่คำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐานคลาดเคลื่อนไปได้

การทดลองใช้ความเข้มข้นของสารละลาย PTA เป็น 1.6% ในวิธีวิเคราะห์นี้ใช้ตัวอย่างจากแหล่งผลิตเดียวที่มีสารการผลิตต่าง ๆ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์ ที่ใช้ความเข้มข้นของ PTA เป็น 1.6% ในการวิเคราะห์ (ใช้ตัวอย่างสายการผลิต 8 ชิ้น)

สายการผลิต	ค่าทางสถิติที่วัดได้			
	ค่าต่ำสุด- สูงสุด ($\mu\text{g/g}$)	ค่าเฉลี่ย ($\mu\text{g/g}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน (%CV)
1	623.23 – 995.58	757.54	137.38	18.4
2	660.78 – 848.82	767.25	64.79	8.45
3	697.41 – 835.13	767.08	42.34	5.52
4	639.09 – 821.12	708.59	67.32	9.50
5	719.79 – 802.61	752.76	30.96	4.11
6	413.96 – 487.82	447.17	23.27	5.20
7	5.34 – 21.54	12.33	6.53	52.90

จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนลดลง นอกจากสายการผลิตที่ 7 ที่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้อยู่ในระดับต่ำ (ต่ำกว่า 50 $\mu\text{g/g}$) แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนสูงถึง 52.90% ซึ่งแสดงว่า ผลการทดลองไม่ค่อยแม่นยำ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนที่ละลายน้ำได้มีปริมาณน้อยมากอยู่แล้ว ทำให้การทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองนี้ แสดงว่าการลดความเข้มข้นของ PTA ลง นอกจากจะช่วยให้การวัดค่าการดูดกลืนแสงมีความสม่ำเสมอมากขึ้นแล้ว ยังสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในการวิเคราะห์ด้วย เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ เนื่องจากสารเคมีมีราคาสูง

4.2.2 ปรับความแรงของการปั่นแยกใน 2 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การปั่นแยกเพื่อกำจัดอนุภาคสารที่ไม่ละลาย ที่ตกค้างอยู่ในสารละลายที่สกัดได้ เช่น แป้งที่ใช้ในการหล่อลื่นถุงมือ ปรับจากความแรง 500 x g เวลา 20 ± 1 นาที เป็น 300 x g เวลา 15 ± 1 นาที เนื่องจากการใช้ความแรงในระดับ 500 x g ทำให้อนุภาคสารที่ไม่ละลายที่ต้องนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป มีความไม่สม่ำเสมอในบางการทดลอง โดยสังเกตผลจากตารางที่ 2 ในตัวอย่างของสายการผลิตที่ 1 - 4 อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการเพิ่มความแรง สามารถลดเวลาในการวิเคราะห์ได้

ขั้นตอนที่ 2 การปั่นแยกตะกอนโปรตีนเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป ปรับจากความแรง 2000 x g เวลา 40 ± 5 นาที เป็น 6000 x g เวลา 30 ± 1 นาที เพื่อให้ตะกอนโปรตีนที่รวมตัวกันแน่นสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งตะกอนโปรตีนนี้จะต้องนำไปวิเคราะห์ต่อไป หากตะกอนที่ได้ไม่รวมตัวกันแน่นจะทำให้ตะกอนบางส่วนยังลอยปะปนอยู่ในสารละลายด้านบนของหลอดทดลอง ซึ่งจะต้องเททิ้ง มีผลให้ปริมาณตะกอนที่ได้ไม่สม่ำเสมอ

ในขั้นตอนนี้ดำเนินการทดลองปรับความแรงในการปั่นแยกทั้ง 2 ขั้นตอน ใช้ตัวอย่างชุดเดียวกับตัวอย่างแหล่งผลิตที่ 1 ในตารางที่ 1 ได้ผลการทดลอง ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์จากตัวอย่างแหล่งผลิตเดียวกัน โดยปรับความแรงในการปั่นแยกต่างกัน (ใช้ตัวอย่าง 8 ตัวอย่าง)

ตัวอย่างที่	ความแรงในการปั่น	
	ขั้นตอนที่ 1, 1500 x g, 20 นาที ขั้นตอนที่ 2, 2000 x g, 40 นาที	ขั้นตอนที่ 1, 3000 x g, 15 นาที ขั้นตอนที่ 2, 6000 x g, 30 นาที
1	441.52	536.96
2	552.35	502.24
3	387.09	482.17
4	646.97	487.90
5	690.78	671.53
6	747.47	484.28
7	792.64	508.41
8	820.49	566.60
ค่าต่ำสุด ($\mu\text{g/g}$)	387.09	482.53
ค่าสูงสุด ($\mu\text{g/g}$)	820.49	671.53
ค่าเฉลี่ย ($\mu\text{g/g}$)	634.91	530.01
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	160.75	64.14
สัมประสิทธิ์ความ แปรปรวน (%CV)	25.32	12.10

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 จะเห็นได้ชัดว่า ความแรงในการปั่นมีผลต่อความสม่ำเสมอของค่าที่วัดได้ และการปั่นแยกทั้ง 2 ขั้นตอน ที่ใช้ความแรงสูงขึ้น จะให้ค่าผลการทดลองที่สม่ำเสมอมากกว่า สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนลดลงจาก 25.32% เป็น 12.10%

4.2.3 ทดลองใช้ผลของการปรับอัตราความเข้มข้นของสารละลายกรด PTA 1.6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) และผลของการปรับอัตราความเร็วของการ

บั้นแยก 2 ขั้นตอน ใช้ตัวอย่างจากแหล่งผลิต 3 แห่ง ในการวิเคราะห์ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์ ให้ความเข้มข้นของ PTA เป็น 1.6% และอัตราเร่งการบั้นแยกเป็น 300 x g, 15 นาที และ 6000 x g, 30 นาที ตามลำดับ (ใช้ตัวอย่างแหล่งผลิตละ 5 ชิ้น)

ตัวอย่าง	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
1	353.82	252.80	320.29
2	357.75	259.23	315.07
3	345.65	236.44	316.01
4	350.82	243.95	314.68
5	343.67	231.82	313.17
ค่าต่ำสุด (µg/g)	343.67	231.82	313.17
ค่าสูงสุด (µg/g)	357.75	259.23	320.29
ค่าเฉลี่ย (µg/g)	350.34	244.85	315.84
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	5.78	11.30	2.69
สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV)	1.65	4.62	0.85

จากผลที่ได้จะเห็นว่า ความแปรปรวนของผลการวิเคราะห์ลดลงมาก นั่นคือ มีความแม่นยำเที่ยงตรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ควรพิจารณาเพิ่มเติม เช่น ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการสกัด และปริมาณสารละลายโปรตีนที่สกัดได้แล้วจะนำไปทำให้ตกตะกอน

4.2.4 การปรับปริมาณของน้ำที่ใช้ในการสกัด วิธีดำเนินการอยู่เดิมใช้น้ำในกาสกัดปริมาณ 30 มิลลิลิตร ฉะนั้นตัวอย่างบางตัวอย่างที่มีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้น้อย อาจทำให้สารละลายที่สกัดได้มีความเจือจางมาก การจะนำมาวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปซึ่งใช้สารละลายที่สกัด

ได้ปริมาณเพียง 1 ใน 4 หรือ 1 ใน 5 จะทำให้ปริมาณโปรตีน อาจตรวจพบได้น้อยลงไปอีก และอาจมีผลต่อความสม่ำเสมอของการวิเคราะห์

อนึ่ง ในทางกลับกันการใช้ปริมาณน้ำน้อยเกินไปกับตัวอย่างที่มีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้อยู่มาก จะทำให้สารละลายที่สกัดได้มีความเข้มข้นของโปรตีนสูง การตรวจวัดการดูดกลืนแสงอาจเกินขีดกำหนดของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารและการดูดกลืนแสงตามกฎหมายของเบียร์ (Beer's law) ทำให้ค่าความเข้มข้นที่ได้ผิดไปมาก

ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงพิจารณาเลือกใช้ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการสกัดปริมาณ 20 มิลลิลิตร อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์ยังขึ้นอยู่กับปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ที่มีอยู่ในถุงมือยางนั้น ซึ่งหากมีมากเกินไปจะทำพิจารณาปรับลดปริมาณสารละลายที่สกัดได้ที่จะนำไปตกตะกอน มากกว่าการสกัดใหม่โดยใช้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เพราะจะทำให้เสียเวลาในการวิเคราะห์มากเกินไป

- 4.2.5 การปรับลดปริมาณสารละลายที่สกัดได้ที่จะนำไปตกตะกอน ในกรณีที่สารละลายที่สกัดได้มีความเข้มข้นสูง วิธีที่ดำเนินการอยู่เดิมใช้ 6 มิลลิลิตร การปรับลดปริมาณก็เพื่อให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการสกัด และสามารถทำซ้ำได้มากขึ้น จึงพิจารณาเลือกใช้ปริมาณ 4 มิลลิลิตร แต่หากปริมาณที่ใช้อย่างนี้ให้ค่าการดูดกลืนแสงอิมตัว นั่นคือ ค่าปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ จะเป็นค่าเดียวกัน ซึ่งผิดจากความเป็นจริง ก็จำเป็นต้องลดปริมาณสารละลายโปรตีนที่สกัดได้เพื่อวิเคราะห์ต่อไปให้น้อยลง อย่างไรก็ตาม การใช้สารละลายที่สกัดได้ในปริมาณที่น้อยลง เพื่อนำไปตกตะกอนโปรตีนนั้น อาจมีผลให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนไปได้

ดังนั้นจึงได้ทดลองวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ชุด ที่ทราบปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ตัวอย่างชุดที่ 1 มีปริมาณโปรตีนที่ตรวจพบน้อยกว่า 100 $\mu\text{g/g}$ ตัวอย่างชุดที่ 2 มีปริมาณโปรตีนที่ตรวจพบในระดับ 300 – 500 $\mu\text{g/g}$ โดยแปรปริมาณสารละลายโปรตีนที่สกัดได้เพื่อนำไป

ตกตะกอนใน 3 ระดับ คือ 4 มิลลิลิตร และ 1 มิลลิลิตร ผลการ
ทดลองแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์ เมื่อแปร
ปริมาณสารละลายโปรตีนที่สกัดได้ แล้วนำไปตกตะกอน

	ปริมาณ extracted solution		
	4 ml	2 ml	1 ml
	ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือ (µg/g)		
ตัวอย่างที่ 1	68.85	52.96	47.51
ตัวอย่างที่ 2	513.23	448.06	486.70

จากผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 5 พบว่าในตัวอย่างที่มีปริมาณโปรตีนที่
ละลายน้ำได้น้อย จะให้ผลที่แตกต่างกันถึงประมาณ 10 - 25% ในขณะที่ตัวอย่างที่มี
ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้อยู่มาก จะให้ผลที่แตกต่างกันในระดับ 5 - 10% เท่านั้น

แสดงว่าในกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้อยู่สูงมาก ไม่สามารถ
วิเคราะห์ได้เนื่องจากการดูดกลืนแสงเกินขีดจำกัด จำเป็นต้องปรับลดปริมาณสารละลายที่สกัดได้
เพื่อนำไปวิเคราะห์ขั้นตอนการตกตะกอนต่อไปนั้น ก็ยังผลให้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้

4.2.6 การทดลองวัดเปอร์เซ็นต์ recovery ของวิธีการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบค่ากับเส้นกราฟ สำหรับเทียบวัดผล
(calibration curve) นั้น สารมาตรฐานต้องผ่านขั้นตอนต่าง ๆ เหมือน
กับที่ดำเนินการกับตัวอย่างทุกประการ อย่างไรก็ตามสารมาตรฐานที่
ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ดังกล่าวนั้น อาจสูญหายไปในช่วงขั้นตอนการ
วิเคราะห์ วิธีการวิเคราะห์ที่ดีควรให้ค่าเปอร์เซ็นต์ recovery ที่สูงอย่าง
น้อย 85% ขึ้นไป จึงจะเป็นวิธีวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือในความถูกต้อง ดัง
นั้นจึงได้ทดลองวัดเปอร์เซ็นต์ recovery ของวิธีวิเคราะห์โดยปรับวิธีการ
ทำเส้นกราฟมาตรฐานพร้อมปรับปัจจัยต่าง ๆ ดังวิธีการต่อไปนี้

4.2.6.1 เตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐานเป็น stock solution ให้มี
ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร โดยใช้สารละลายโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 M เป็นตัวทำละลายสารโปรตีนมาตรฐาน

- 4.2.6.2 เตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐาน จาก stock solution ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 6 ระดับ โดยเจือจางตามลำดับจากความเข้มข้น 160 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็น 120 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร, 80 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร, 40 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร, 20 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร และ 10 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร โดยเจือจางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 M
- 4.2.6.3 ใช้สารละลายแต่ละความเข้มข้นที่เตรียมได้ในข้อ 4.2.6.2 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ในการย้อมสี และวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยดำเนินการเหมือนข้อ 4.1.2.4 – 4.1.2.6
- 4.2.6.4 เขียนเส้นกราฟมาตรฐานสำหรับใช้เทียบวัดผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง
- 4.2.6.5 เตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐานจาก stock solution ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 6 ระดับ เหมือนข้อ 4.2.6.2 แต่เจือจางด้วยน้ำ
- 4.2.6.6 ตกตะกอนสารละลายโปรตีนมาตรฐานที่เจือจางแล้วในข้อ 4.2.6.5 โดยใช้สารละลายโปรตีนมาตรฐานปริมาณ 1 มิลลิลิตร (ทำ 3 ซ้ำ) เติมเกลือโซเดียมของกรดออกซิโคลิค (DOC) ความเข้มข้น 0.15% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.4 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติมสารละลายกรด TCA ความเข้มข้น 35% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.4 มิลลิลิตร และสารละลายกรด PTA ความเข้มข้น 1.6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและวางทิ้งไว้อีก 10 นาที
- 4.2.6.7 ปั่นแยกตะกอนโปรตีนที่ความแรง $6000 \times g$ เวลา 30 ± 1 นาที แล้วรินสารละลายใสส่วนบนออกจนหมด

- 4.2.6.8 ละลายตะกอนโปรตีนด้วยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 M ปริมาณ 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องผสม vortex เพื่อให้ตกตะกอนโปรตีนละลาย
- 4.2.6.9 ย้อมสีสารละลายโปรตีน และวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยดำเนินการเหมือนข้อ 4.1.2.4 – 4.1.21.6
- 4.2.6.10 นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้เปลี่ยนเป็นค่าปริมาณโปรตีน โดยเทียบเส้นกราฟมาตรฐานที่ได้จากการวัดสารละลายโปรตีนมาตรฐานที่ไม่ผ่านกระบวนการตกตะกอน (non-precipitated standard solution) ในข้อ 4.2.6.4
- 4.2.6.11 คำนวณ %recovery ตามสูตรดังนี้

$$\%R = \frac{\text{ปริมาณโปรตีนที่วัดได้หลังผ่านการตกตะกอน}}{\text{ปริมาณโปรตีนที่เตรียมเป็นสารละลายโดยไม่ผ่านการตกตะกอน}} \times 100$$

เมื่อ %R = เปอร์เซ็นต์ recovery ของการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน และโดยวิธีดังกล่าว (4.2.6.1 - 4.2.6.11) ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ recovery ของวิธีวิเคราะห์ (ทดลอง 5 ซ้ำ)

ปริมาณสารโปรตีน มาตรฐานที่เตรียมตอน เริ่มต้น (µg/g) (เฉลี่ย)	ปริมาณสารโปรตีนที่วัด ได้หลังจากผ่านขั้นตอน การวิเคราะห์ (µg/g) (เฉลี่ย)	% recovery (เฉลี่ย)
10.02	9.30	92.81
20.11	18.31	91.07
40.09	35.76	89.21
80.07	72.81	90.93
120.10	110.11	91.68
160.06	145.24	90.74

จากผลการทดลองยืนยันว่า วิธีวิเคราะห์ที่ใช้ให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้อง และสามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

4.2.7 ทดลองวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์ ของตัวอย่างถุงมือจากแหล่งต่าง ๆ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ที่ปรับปรุงแล้ว ดังนี้

4.2.7.1 ปรับอัตราความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอรัส ซึ่ง เป็นกรดเสริมการตกตะกอนโปรตีน จากเดิม 40% (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็น 1.6% (น้ำหนัก/ปริมาตร)

4.2.7.2 ปรับความแรงของการปั่นแยกเป็น 2 ขั้นตอน คือ
 ขั้นตอนที่ 1 การปั่นแยกเพื่อกำจัดอนุภาคสารที่ไม่ละลาย
 ปรับความแรงจาก 500 x g เวลา 20 ± 1 นาที
 เป็นความแรง 3000 x g เวลา 15 ± 1 นาที
 ขั้นตอนที่ 2 การปั่นแยกตะกอนโปรตีน
 ปรับความแรงจาก 2000 x g เวลา 40 ± 15 นาที
 เป็นความแรง 6000 x g เวลา 30 ± 1 นาที

4.2.7.3 ใช้น้ำในการสกัดสารโปรตีน ปริมาณ 20 มิลลิลิตร

4.2.7.4 ใช้สารละลายโปรตีนที่สกัดได้ประมาณ 4 มิลลิลิตร เพื่อนำไป ตกตะกอน

อนึ่ง เมื่อใช้ปริมาณสารละลายโปรตีนที่สกัดได้จำนวนลดลงจาก 6 มิลลิลิตร เป็น 4 มิลลิลิตร ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไป ดังนั้นในทางปฏิบัติสารละลายกรดที่ใช้ในการทำให้สารละลายโปรตีนตกตะกอน สารละลายต่างที่ใช้ในการละลายตะกอน รวมทั้งสารทำสีสำหรับวัดค่า การดูดกลืนแสง จึงได้รับการปรับเทียบลดปริมาณให้เหมาะสมตามไปด้วย ซึ่งในการวิเคราะห์ตัวอย่างถุงมือจากแหล่งต่าง ๆ นี้ ได้ผลการทดลองตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์จากแหล่งต่าง ๆ (ทำ 8 ซ้ำ)

ซ้ำที่	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3	แหล่งที่ 4	แหล่งที่ 5
1	408.90	1234.53	644.28	1065.21	54.37
2	393.54	933.26	635.72	1017.95	53.22
3	371.07	1078.61	683.94	996.02	48.14
4	361.72	1134.88	698.91	944.77	57.03
5	442.28	963.51	624.87	1141.19	53.48
6	432.97	1160.32	569.17	1011.40	63.89
7	414.60	1079.87	658.99	1109.21	60.06
8	391.83	1114.06	574.19	1108.98	70.22
ค่าเฉลี่ย ($\mu\text{g/g}$)	402.11	1087.38	636.26	1.49.34	57.55
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน S.D.	28.14	99.41	46.70	67.65	6.98
สัมประสิทธิ์ ความแปรปรวน	6.99	9.14	7.34	6.45	12.13

จากผลการวิเคราะห์ตามตารางที่ 7 จะเห็นว่าวิธีวิเคราะห์ที่ปรับแล้วมีความแม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามจากกลุ่มตัวอย่างแหล่งที่ 5 ที่ตรวจพบ โปรตีนที่ละลายน้ำได้ในปริมาณค่อนข้างต่ำ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณที่มีอยู่น้อย อาจทำให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ง่าย

สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ

จากผลการทดลองสามารถเสนอวิธีวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในถุงมือยางทางการแพทย์ ได้ดังนี้

1. การสกัด (Extraction)

- 1.1 ใช้ถุงมือแพทย์หนึ่งข้าง ตัดบริเวณฝ่ามือให้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 7

เซนติเมตร จำนวน 2 ชั้น ซึ่งรวมกันให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ด้วยเครื่องชั่ง
ละเอียด จดบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง

- 1.2 ใส่ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงในขวดรูปชมพู่ (flask) ทำด้วยพลาสติกขนาด
250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาณ 20 มิลลิลิตร
- 1.3 วางขวดรูปชมพู่ที่บรรจุชิ้นตัวอย่างและน้ำ ลงในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิ
(water bath) ที่ 37 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 180 ± 5 นาที และเขย่า
ขวดทุก 30 นาที

2. การทำให้บริสุทธิ์ (purification) และการตกตะกอน (precipitation)

- 2.1 รินสารละลายที่สกัดได้ทั้งหมดลงในหลอดทำด้วยพลาสติก ขนาด 50
มิลลิลิตร สำหรับใช้กับเครื่องปั่นแยก (Centrifuge) แล้วปั่นด้วยความเร็ว
 $3000 \times g$ เป็นเวลา 15 ± 1 นาที เพื่อแยกสารที่ไม่ละลายอื่นๆที่อาจติด
มา
- 2.2 ปล่อยให้เปิดดูดสารละลายใสจากหลอด centrifuge ปริมาณ 4 มิลลิลิตร (ทำ
3 ซ้ำ) ลงในหลอดทดลองด้วยพลาสติก ขนาด 15 มิลลิลิตร เติมเกลือ
โซเดียมของกรดดีออกซิโคลิค (DOC) ความเข้มข้น 0.15 % (น้ำหนัก/
ปริมาตร) ปริมาณ 0.4 มิลลิลิตร เพื่อกำจัดสารรบกวนการตกตะกอน
เขย่าให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติมสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิ
ติก (TCA) ความเข้มข้น 35% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.4 มิลลิลิตร
เขย่าให้เข้ากัน แล้วเติมสารละลายกรดฟอสฟอรัส (PTA) ความเข้ม
ซ้น 1.6 % (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 0.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และ
วางทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดตะกอน
- 2.3 นำไปปั่นแยกตะกอนโปรตีนด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงด้วยความเร็ว 6000
 $\times g$ เวลา 30 ± 1 นาที แล้วรินสารละลายใสส่วนบนออกจนหมด

3. การตรวจวัดปริมาณโปรตีน และการคำนวณ

- 3.1 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาณ 1
มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองพลาสติกที่มีตะกอนโปรตีนละลายหมด ใน
กรณีที่ตะกอนโปรตีนละลายไม่หมดให้เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
เพิ่ม ครั้งละ 1 มิลลิลิตร จนกว่าตะกอนจะละลายหมด แต่ให้เติมได้รวม
ปริมาตรแล้วไม่เกิน 6 มิลลิลิตร

- 3.2 เติมสาร C ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ลงในโปรตีนที่ละลายแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 นาที \pm 10 วินาที
- หมายเหตุ สาร C ได้จากสารผสมระหว่างสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 6% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ปริมาณ 50 มิลลิลิตร กับสารละลายผสมของคอปเปอร์ซัลเฟต 1.5 กรัม และโซเดียมซิงค์ 3 กรัม ในน้ำให้ได้ ปริมาตรรวม 100 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ซึ่งสาร C นี้ ต้องเตรียม ใช้เฉพาะวัน
- 3.3 เติมสารละลายฟอสฟอรัส-ซีโอไซด์ ความเข้มข้น 72 % (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร แล้วเขย่าทันทีให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมแบบน้ำวน เวลา 30 วินาที วางสารละลายที่ได้ไว้ที่ 30 \pm 2 นาที
- 3.4 รินสารละลายลงในเซลล์สำหรับตัวอย่างขนาดกว้าง 1 เซนติเมตร (หมายถึงระยะที่ให้แสงผ่าน : path length) ของเครื่องวัดการดูดกลืนแสงด้วยรังสีอุลตราไวโอเล็ต แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 \pm 10 นาโนเมตร
- 3.5 นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับเส้นกราฟมาตรฐานสำหรับเทียบวัดผล เพื่อหาปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในสารละลายตัวอย่าง
- 3.6 คำนวณปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ต่อน้ำหนักถุงมือยางตามสูตรต่อไปนี้

$$C = \frac{c \times V_w}{m_g \times V_p}$$

เมื่อ C = ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ หน่วยเป็น ไมโครกรัม / กรัม -
ถุงมือ ($\mu\text{g/g}$)

c = ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ หน่วยเป็นไมโครกรัม
ได้จากค่าที่ เทียบวัดผลจากเส้นกราฟมาตรฐาน

V_w = ปริมาตรของน้ำที่ใช้ในการสกัด หน่วยเป็นมิลลิลิตร

m_g = น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างถุงมือ น้ำหนักเป็นกรัม

V_p = ปริมาตรสารละลายที่สกัดได้ใช้สำหรับตกตะกอนหน่วยเป็น
มิลลิลิตร

ในกรณีที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มากกว่า 1 มิลลิลิตร ในการละลาย ตะกอนในโปรตีน สูตรการคำนวณจะเป็นดังนี้

$$C = \frac{c \times V_w}{m_g \times V_p} \times V_s$$

เมื่อ V_s = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการละลาย
ตะกอนโปรตีน หน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.7 หาค่าเฉลี่ยจากการทำ 3 ซ้ำ

3.8 สารละลายสำหรับเทียบ (blank) ให้ใช้น้ำปริมาณ 20 มิลลิลิตร แล้วดำเนินการเช่น เดียวกัน ตั้งแต่ ข้อ 2–3.7

การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในถุงมืออย่างทางการแพทย์ ควรปฏิบัติให้เสร็จภายใน 1 วัน และหากต้องเก็บตัวอย่างไว้ในวันรุ่งขึ้น ควรเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิดที่อุณหภูมิ 2 – 4 °C และควรเก็บในลักษณะสารละลายที่สกัดได้ดีกว่าเก็บสารละลายตะกอนโปรตีนสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง

ประวัติผู้เขียน

นางสาวฐิติมา ธัญญาณี เกิดวันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ.2518 จังหวัดกระบี่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย