

การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี



นางสาวไพไลพร หนูทองคำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF TRANSPARENT RADIATION VULCANIZED NATURAL RUBBER LATEX FILM



Miss Pilaiporn Nuthongkam

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

Department of Nuclear Technology
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

โดย

นางสาวพิไลพร หนูทองคำ

สาขาวิชา

นิเวศียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์

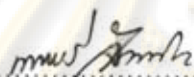
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.นุชสม เลิศนिरูวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



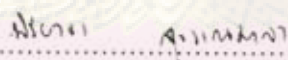
ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ นเรศร์ จันทน์ขาว)



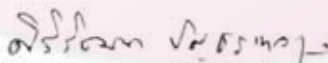
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)



กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.พิริยธร สุวรรณมาลา)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒนา บัญชรเทวกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทิไลพร หนูทองคำ : การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี.
(PREPARATION OF TRANSPARENT RADIATION VULCANIZED NATURAL RUBBER LATEX
FILM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ชยากริต ศิริอุปถัมภ์, 61 หน้า.

ได้ทำการทดลองเตรียมฟิล์มยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีให้มีความใสด้วยการเติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC) ในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีแล้วแยกส่วนที่ไม่ใช่ยางรวมกับ CMC ออกโดยนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่ม (Dipped products) และอุปกรณ์ที่ทำจากยางธรรมชาติเพื่อใช้ทางการแพทย์ที่ต้องการความใส การทดสอบความใสของฟิล์มยางทำโดยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer โดยวัดค่าการส่องผ่านแสงที่ความยาวคลื่น 330 nm จากการศึกษาพบว่าการเติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ทำการดีพอลิเมอร์ไรซ์ด้วยรังสีแกมมาแล้วให้มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 18 kDa ในปริมาณ 2 phr ปั่นด้วยเครื่องปั่นโดยใช้แรงเหวี่ยง 12,500 g เป็นเวลา 60 นาที เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดของการเตรียมฟิล์มยางที่มีความใส ความต้านแรงดึงจนขาดและค่าความยืดเมื่อขาดก่อนและหลังบ่มแรงที่ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน เมื่อใช้ α -Tocopherol acetate 1 phr เป็นสารต้านการเสื่อม เช่น 22.3 MPa, 807% และ 20.44 MPa, 772% ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....

สาขาวิชา.....นิเวศวิทยาเทคโนโลยี.....

ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต.....นางสาวกัญญาทิพย์.....หนูทองคำ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4970482221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD : RADIATION VULCANIZATION /TRANSPARENT RUBBER FILM/CABOXY METHYL CELLULOSE

PILAIORN NUTHONGKAM : PREPARATION OF TRANSPARENT RADIATION VULCANIZED
NATURAL RUBBER LATEX FILM.THESIS PRINCIPAL ADVISOR : ASSOC. PROF. CHYAGRIT
SIRI-UPATHUM, 61 pp.

Preparation of transparent natural rubber film by addition of carboxy methyl cellulose (CMC) into radiation vulcanized natural rubber latex (RVNRL) was conducted. The purpose is aimed at fabrication of transparent dipped products and rubber medical devices from RVNRL. Controlled molecular weight of CMC was added into RVNRL which subsequently centrifuged to remove non-rubber parts with CMC from RVNRL. The transparency of rubber films was done using UV-VIS-NIR spectrophotometer by measuring light transmittance of 330 nm passing through rubber films. The results revealed that most transparent rubber films were achieved by addition of CMC which has been gamma ray de-polymerized CMC to a viscosity average molecular weight of 18 kDa at a concentration of 2 phr then centrifuged at a centrifugal force of 12,500 g .Tensile strength and elongation at break of the film with 1 phr α - Tocopherol acetate before and after accelerated aging at 70 °C found to be 22.3 MPa, 807% and 20.44 MPa, 772% respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department NUCLEAR THECNOLOGY... Student's signature... *อนุชา ภิไลกร*

Field of study NUCLEAR THECNOLOGY... Principal Advisor's signature... *ชยกริต สิริอุพัถม*

Academic year 2008

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุบลัมภ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เดโช ทองอร่าม ที่กรุณาให้ยืมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และปั๊มสำหรับระบบดูดความชื้นรวมทั้งความช่วยเหลือด้านต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณดร. กรรณิการ์ สหกะโร ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อคิดเห็นต่างๆ เกี่ยวกับวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณอารักษ์ วิทิตธีรานนท์และคุณนงคันุช แจ้งสว่าง แห่งสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติที่กรุณาให้คำแนะนำการวัดปริมาณรังสี และให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องฉายรังสี Gammacell 220 excell และเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทดสอบสมบัติเชิงกล แห่งสถาบันวิจัยยางและคุณสุริยะ สมพร แห่งศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ความช่วยเหลือด้านการทดลอง และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนนิสิตภาควิชาชีวเคสียร์เทคโนโลยี รวมทั้งรุ่นพี่จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายที่สุด ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ มารดาบิดา ซึ่งคอยสนับสนุนในทุกๆด้าน และเป็นกำลังใจที่สำคัญแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

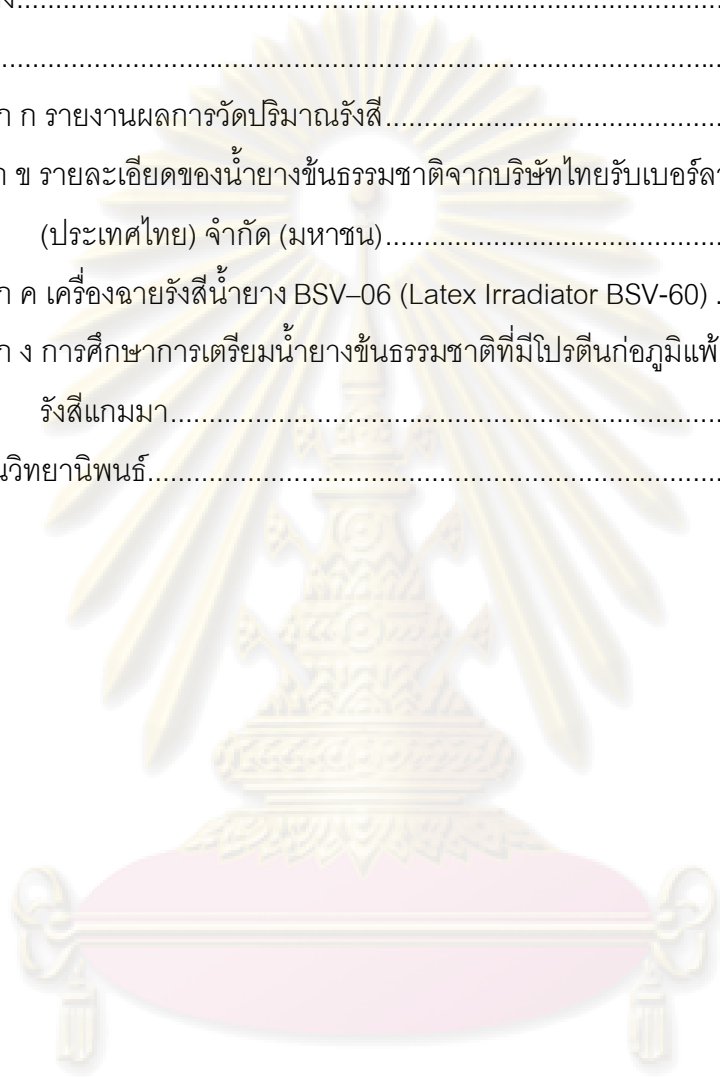
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 น้ํายางธรรมชาติ	4
2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	12
2.3 การวัลคาไนซ์.....	19
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 การฉายรังสีสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	25
3.2 การเตรียมน้ํายางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยรังสี.....	26
3.3 การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใส.....	29
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
4.1 การทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ํายางธรรมชาติ... ..	32
4.2 การทดลองหาเงื่อนไขการเติมสารตัวเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	34
4.3 การทดลองหาปริมาณสารต้านการเสื่อม α - Tocopherol acetate.....	40
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	42

5.2 ข้อเสนอแนะ	45
รายการอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก รายงานผลการวัดปริมาณรังสี.....	49
ภาคผนวก ข รายละเอียดของน้ำยางชั้นธรรมชาติจากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน).....	57
ภาคผนวก ค เครื่องฉายรังสีน้ำยาง BSV-06 (Latex Irradiator BSV-60)	58
ภาคผนวก ง การศึกษาการเตรียมน้ำยางชั้นธรรมชาติที่มีโปรตีนก่อภูมิแพ้ต่ำโดยวิธีการฉาย รังสีแกมมา.....	60
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	61



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ณ

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของน้ำยางธรรมชาติโดยเฉลี่ย	4
ตารางที่ 2.2 การกระจายตัวของโปรตีนชนิดต่าง ๆ ในน้ำยางหลังการปั่นแยก	8
ตารางที่ 2.3 ชนิดของโปรตีนซึ่งคาดว่าจะก่อให้เกิดการแพ้รวบรวมโดยสถาบัน IUIS	9
ตารางที่ 3.1 สูตรที่ใช้ผลิต RVNRL	27
ตารางที่ 4.1 สมบัติความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดที่ปริมาณรังสีต่างๆ	32
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบสมบัติความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดเมื่อใช้สารละลาย แอมโมเนียความเข้มข้น 1% เป็นสารช่วยในการล้างที่ระยะเวลาต่างๆ.....	34
ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลและความใสของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3 kGy.....	35
ตารางที่ 4.4 สมบัติเชิงกลและความใสของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 4 kGy.....	35
ตารางที่ 4.5 สมบัติเชิงกลและความใสของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 5 kGy.....	36
ตารางที่ 4.6 สมบัติความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่ไม่ได้เติมสารต้านการเสื่อม ก่อนและหลังป่นแรงที่ระยะเวลาในการปั่นต่างๆ	38
ตารางที่ 4.7 สมบัติความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางที่ไม่ได้เติมสารต้านการเสื่อม ก่อนและหลังป่นแรงที่ระยะเวลาในการปั่นต่างๆ	39
ตารางที่ 4.8 ค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มยางที่ไม่ได้เติมสารต้านการเสื่อม ก่อนและหลังป่นแรงที่ระยะเวลาในการปั่นต่างๆ	39
ตารางที่ 4.9 สมบัติความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่เติม α - Tocopherol acetate ปริมาณต่างๆ ก่อนและหลังป่นแรง	40
ตารางที่ 4.10 สมบัติความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางที่เติม α - Tocopherol acetate ปริมาณต่างๆ ก่อนและหลังป่นแรง	40
ตารางที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มยางที่เติม α - Tocopherol acetate ปริมาณต่างๆ ก่อนและหลังป่นแรง	41
ตารางที่ 5.1 แสดงมาตรฐานถุงมือตรวจโรค (Examination gloves) ASTM D 3578	44

สารบัญภาพ

ญ

ภาพประกอบ

หน้า

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (<i>cis</i> -1, 4-polyisoprene) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 5,000 ถึง 15,000.....	5
รูปที่ 2.2 ลักษณะอนุภาคยางธรรมชาติ.....	5
รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของน้ำตาลคิควราซิทอล	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลส.....	12
รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	13
รูปที่ 2.6 อนุมูลของเซลลูโลสชนิดพอลิแซคคาไรด์ กรณีเซลลูโลส $R = H$ และกรณีคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส $R = H$ หรือ CH_2COO^-	15
รูปที่ 2.7 Cannon - Ubbelohde's Viscometer	17
รูปที่ 2.8 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน (S_x).....	20
รูปที่ 2.9 ผลของการล้างต่อการเชื่อมติดกันของอนุภาคยาง.....	23
รูปที่ 2.10 ผลของความร้อนต่อการพัวพันของอนุภาคยาง.....	23
รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาจาก Co-60 Gammacell 220 excel สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ.....	26
รูปที่ 3.2 เครื่องฉายรังสีแกมมาจาก BSV – 06 Institute of isotope Co., Ltd., Hungary ของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี	28
รูปที่ 3.3 ระบบดูดความชื้น	29
รูปที่ 3.4 เครื่อง UV-VIS-NIR SCANNING SPECTROPHOTOMETER.....	29
รูปที่ 3.5 เครื่องปั่นยางด้วยความเร็วสูงและอุณหภูมิต่ำ.....	30
รูปที่ 4.1 สมบัติความต้านแรงดึงที่ปริมาณรังสีต่างๆของน้ำยางชั้นธรรมชาติฉายรังสี ที่อุณหภูมิห้อง 32 °C และที่อุณหภูมิ 10 °C.....	33
รูปที่ 4.2 สมบัติความยืดเมื่อขาดที่ปริมาณรังสีต่างๆของน้ำยางชั้นธรรมชาติฉายรังสี ที่อุณหภูมิห้อง 32 °C และที่อุณหภูมิ 10 °C.....	33
รูปที่ 4.3 สมบัติความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3, 4 และ 5 kGy	36
รูปที่ 4.4 สมบัติความยืดเมื่อขาด ของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3, 4 และ 5 kGy.....	37

รูปที่ 4.5 ค่าดูดกลืนแสงของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3, 4 และ 5 kGy	37
รูปที่ 5.1 แสดงภาพเปรียบเทียบฟิล์มยาง.....	44



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางธรรมชาติเป็นอีลาสโตเมอร์ (elastomer) ที่มีคุณสมบัติเด่นหลายประการโดยเฉพาะการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) และมีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง คือ เมื่อแรงกระทำจากภายนอกหมดไป ยางจะกลับสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียงขนาดเดิม) จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ และเนื่องจากผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติมักจะเกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เช่น ถุงมือยางตรวจโรค ถุงมือยางผ่าตัด จุกนม ท่อน้ำเกลือ สายสวน ปัสสาวะ โดยเฉพาะอุปกรณ์ทางการแพทย์เช่นสายน้ำเกลือและ dental dam ที่ใช้ในทันตกรรม เป็นต้น วัสดุหลายอย่างเหล่านี้ต้องการความโปร่งใสเพื่อการมองเห็นได้ในการปฏิบัติงาน หรือเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ดูสะอาด มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากยางธรรมชาติมีส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางอยู่ด้วย เช่น สารแคโรทีนอยด์และโปรตีน เป็นต้น โดยส่วนประกอบเหล่านี้มีผลให้ยางมีลักษณะขุ่น ดังนั้นจึงควรมีวิธีการผลิตเพื่อแยกเอาส่วนที่ไม่ใช่ยางที่มีอยู่ในน้ำยางออกไป อย่างไรก็ตามในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางนั้นจำเป็นต้องให้ยางผ่านการทำยางคงรูปหรือการวัลคาไนซ์ ก่อน ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของยางจากสภาพพลาสติก (plasticity) สูงไปเป็นยางที่มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ด้วยการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลยางเป็นลักษณะโครงร่างแห 3 มิติ ทำให้ยางมีคุณสมบัติเหมาะกับการใช้งาน ซึ่งในโรงอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ทำการวัลคาไนซ์ยางโดยการใส่กำมะถัน (sulfur) หรือการใช้เปอร์ออกไซด์ (peroxide) แต่วิธีดังกล่าวทำให้มีสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ เช่น ZDEC , ZnO , Sulfur ทำให้ฟิล์มยางที่ได้มีความขุ่นนอกเหนือจากไม่เหมาะสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสร่างกายที่สามารถทำให้เกิดอาการแพ้โปรตีนจากผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติได้ การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีจึงมีความเหมาะสมมากกว่าในผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเนื่องจากไม่มีสารเคมีตกค้างในผลิตภัณฑ์ และรังสียังส่งผลให้เกิดการลดทอนขนาดโมเลกุลโปรตีนในยางให้มีขนาดเล็กลงจึงทำให้สามารถล้างและกำจัดออกจากฟิล์มยางได้ ในปี ค.ศ.1979 มีรายงานการแพ้โปรตีนจากผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติ และจากการระบาดของโรคเอดส์ในปี ค.ศ.1985 ถุงมือยางจึงเป็นที่ต้องการของตลาดโลกมากขึ้น ทำให้มีรายงานอัตราที่ผู้ป่วยที่ใช้ถุงมือยางมีอาการแพ้เมื่อใส่หรือสัมผัสถุงมือยางเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะกับบุคลากรทางการแพทย์ ทันตแพทย์ รวมทั้งผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับผู้ป่วย ทำให้ในปี ค.ศ.1997 องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (US FDA) ประกาศให้สินค้าที่มียางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบต้องติดฉลากข้างกล่องผลิตภัณฑ์บอกส่วนประกอบที่อาจทำอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้ และในปี ค.ศ.1999 องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้ประกาศให้ถุงมือยางธรรมชาติ

เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทควบคุมพิเศษ (Special control class) และกำหนดปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำ (Water extractable protein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ก่อภูมิแพ้ (Allergic protein) ให้มีได้ไม่เกิน 1,200 ไมโครกรัมต่อชิ้นของถุงมือที่ใช้ในการแพทย์ (medical gloves) เพื่อลดปัญหาการแพ้โปรตีนจากผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติ ในฐานะที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์ยางที่เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพอนามัยมนุษย์เป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากมาเลเซีย (ปี พ.ศ. 2550) และยังมีศักยภาพที่จะเติบโตขึ้นอีกในอนาคต เนื่องจากมีความพร้อมด้านวัตถุดิบ โดยมีผลผลิตยางสูงถึงประมาณ 1 ใน 3 ของผลผลิตยางโลก ส่งผลให้การส่งออกถุงมือยางของไทยขยายตัวได้ดีในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมา จึงควรศึกษาเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติในเรื่องของปริมาณโปรตีนก่อภูมิแพ้เพิ่มขึ้น เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของประเทศนำเข้าผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่วนใหญ่ คือ ประเทศสหรัฐอเมริกา และประเทศในกลุ่ม EU

งานวิจัยนี้ศึกษาเงื่อนไขการเติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC) ที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาให้มีขนาดโมเลกุลเหมาะสมที่จะจับกับโปรตีนก่อภูมิแพ้ (allergenic proteins) เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ซึ่งห่อหุ้มอนุภาคยางไว้ โดยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะไปล้อมจับโมเลกุลของโปรตีนก่อภูมิแพ้แล้วรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อน จากนั้นนำไปปั่นออก โดยทำการศึกษาระยะเวลาการปั่นด้วยเครื่องปั่นเพื่อแยกส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber) ซึ่งรวมทั้งโปรตีนก่อภูมิแพ้อกจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีและเลือกเติมสารต้านการเสื่อม α -Tocopherol acetate เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถุงมือยางที่ใช้ในทางการแพทย์ โดยได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความใสและมีคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 หาเงื่อนไขการเติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC) ที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุล และปริมาณเหมาะสมสำหรับเติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

1.3.2 หาเงื่อนไขการปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงได้แก่ ค่า g และระยะเวลาที่เหมาะสม ในการแยกสารที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber) ออกจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

1.3.3 หาปริมาณสารต้านการเสื่อม α -Tocopherol acetate เพื่อให้คุณสมบัติเชิงกลหลังบ่มแรงของผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐาน เช่น มาตรฐานถุงมือผ่าตัด เป็นต้น

1.3.4 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มเร่ง (accelerated aging)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตฟิล์มยางใสเพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่ม (Dipped product) เช่น จุกนมยาง ถุงมือผ่าตัด สายยางที่ใช้สอดใส่ภายในร่างกาย (catheter) และอุปกรณ์ที่ทำจากยางเพื่อใช้ทางการแพทย์ที่ต้องการความใส

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ทดลองหาขนาดน้ำหนักรวมและปริมาณของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC) ที่เหมาะสมเพื่อเติมในน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี และหาระยะเวลาในการบ่มด้วยเครื่องบ่มเหวี่ยงความเร็วรอบ 8000 รอบต่อวินาที

1.5.3 ทดลองหาปริมาณสารต้านการเสื่อม α -Tocopherol acetate เพื่อให้มีคุณสมบัติเชิงกลลดลงน้อยที่สุดหลังทำการบ่มเร่ง

1.5.4 ทดสอบคุณสมบัติต่างๆของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

- ทดสอบความใสของฟิล์มด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer
- ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางก่อนและหลังการบ่มเร่ง

1.5.5 สรุปผลการทดลองและเขียนวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ํายางธรรมชาติ

2.1.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้ํายางธรรมชาติ

น้ํายางที่ได้จากการกรีดต้นยางพาราซึ่งมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea Brasiliensis* มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือครีมคล้ายน้ํานม เรียกว่า น้ํายางสด (fresh or field latex) มีสภาพเป็นคอลลอยด์ (colloid dispersion) หรือสารแขวนลอย (suspension) ความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975 ถึง 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า pH ประมาณ 6.5 – 7.0 ความหนืดของน้ํายางมีค่าไม่แน่นอนขึ้นกับปริมาณส่วนประกอบในน้ํายาง ซึ่งขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง ฤดูกาลและวิธีการกรีดยาง เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของน้ํายางธรรมชาติโดยเฉลี่ยคือ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2540)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ําน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27-48
เนื้อยางแห้ง	25-45
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-1.25
เถ้า	สูงถึง 1
น้ํตาล	1
น้ํ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

เนื่องจากน้ํายางสดมีส่วนประกอบที่ไม่แน่นอนขึ้นกับหลายปัจจัย ทำให้ปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ํายางธรรมชาติในสภาพน้ํายางสดมีค่าไม่แน่นอนด้วย มีความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 3% โดยน้ําน้ำหนัก แต่เมื่อนำน้ํายางสดมาปั่นเป็นน้ํายางข้นแล้วความแตกต่างจะลดลงเหลือประมาณ 1.5% โดยน้ําน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นกับการเจือน้ํายางสดก่อนการปั่นรวมประสิทธิภาพและการปรับสภาพของเครื่องปั่นด้วย

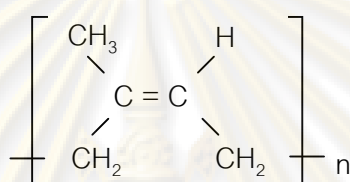
น้ํายางสดสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35 เปอร์เซ็นต์
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65 เปอร์เซ็นต์
 - ส่วนที่เป็นน้ํ 55 เปอร์เซ็นต์

- ส่วนของลูทอยด์และสารอื่น ๆ 10 เปอร์เซ็นต์

2.1.1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อ

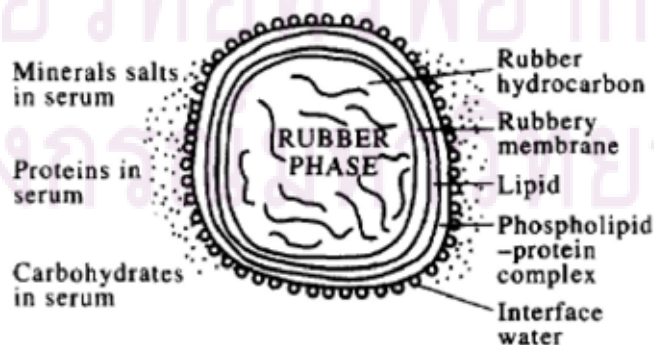
อนุภาคยางเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอมและไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรเคมีคือ C_5H_8 เรียกชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) ต่อกันเป็นสายเส้นตรงแบบซิส-ไอโซเมอร์ มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 30,000 ถึง 10,000,000 ดาลตัน (Dalton, Da) และมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก มีดรรชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.5212 – 1.5238 ที่ 20 องศาเซลเซียส (อาริยา มาลากาญจน์, 2548)



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (*cis*-1, 4-polyisoprene)

โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 5,000 ถึง 15,000

อนุภาคยางมีลักษณะค่อนข้างกลม คล้ายลูกแพร์หรือเรียกว่า globules ซึ่งแขวนลอย (Suspend) อยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว (Serum) และมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ (Negative Charges) ทำให้เกิดแรงผลักดันซึ่งกันและกันเนื่องมาจากการมีประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันทำให้อนุภาคยางเคลื่อนที่ไปมาแบบไร้ทิศทาง (Brownian movement) และจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อประจุไฟฟ้ารวมของน้ำยางเป็นศูนย์ (Isoelectric Point) อนุภาคยางมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร ผิวรอบอนุภาคยางห่อหุ้มด้วยไขมันจำพวกฟอสโฟไลปิด (phospholipid) ชนิด α -Lecithin และโปรตีน ซึ่งเชื่อกันว่าส่วนของไขมันจะทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวอนุภาคยางโดยโปรตีนจะอยู่ชั้นนอกและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียมและทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.2 ลักษณะอนุภาคยางธรรมชาติ (Sabharwal ,S. et al., 1998)

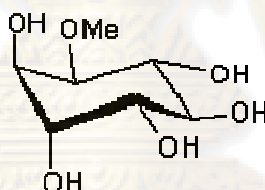
โปรตีนที่เกาะอยู่ที่ผิวอนุภาคยางส่วนใหญ่เป็นชนิดแอลฟาโกลบูลิน (α -Globulin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในกรด ต่างและเกลือ มีอยู่ประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อกรัม ยางแห้ง และส่วนที่เหลือเป็นโปรตีนที่สามารถละลายน้ำได้ มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 14 ถึง 66 kDa มีค่า isoelectric point (pI) เท่ากับ 3.5 – 6.0 ซึ่งหมายถึงสภาวะ pH ที่ประจุรวมของโมเลกุลโปรตีนมีการละลายน้อยที่สุด โดยโปรตีนที่เกาะอยู่ที่ผิวอนุภาคยางมีประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคยาง และมีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีในน้ำยาง

2.1.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

ก. ส่วนที่เป็นน้ำหรือซีรัม

ซีรัม (Serum) ของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่าง ๆ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและกรดอะมิโน

คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ สารพวกแป้งและน้ำตาล มีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยน้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบราซิทอล (Quebrachitol) รวมทั้งน้ำตาลชนิดกลูโคส ซูโครสและฟรุคโตส อีกเล็กน้อย



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของน้ำตาลคิวบราซิทอล

โปรตีนและกรดอะมิโนเป็นส่วนที่อยู่ในซีรัม โดยโปรตีนที่อยู่ในซีรัมของน้ำยางสดมีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดในน้ำยาง ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ประกอบด้วย anionic และ cationic protein มีค่า pI เท่ากับ 3.5 – 9.5 ซึ่งส่วนใหญ่เป็น anionic protein มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 14 ถึง 66 kDa และบางส่วนมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 14 kDa เช่น Hevein ที่มีขนาดโมเลกุลประมาณ 5 kDa มีค่า pI เท่ากับ 4.7 ส่วนกรดอะมิโนมีอยู่ประมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กรดอะมิโนที่สำคัญได้แก่ กรดกลูตามิก (Glutamic acid) อะลานีน (Alanine) และกรดแอสปาร์ติก (Aspartic acid)

ข. ส่วนลูทอยด์และสารอื่น ๆ

ลูทอยด์ มีลักษณะอนุภาคค่อนข้างกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 ถึง 3 ไมครอน ห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ ภายในเยื่อบางมีของเหลวที่เรียกว่า ซีรัมบี (B-serum)

ประกอบด้วยสารละลายและสารแขวนลอย มีค่า pH ประมาณ 5.5 ส่วนใหญ่เป็นโปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์และที่ไม่ละลายน้ำประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีสารฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์และสารพอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้น้ำยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ลูทอยด์มีอิทธิพลต่อความหนืดและสภาพการเป็นสารแขวนลอยในน้ำยางสด เนื่องจากลูทอยด์ห่อหุ้มด้วยเยื่อชั้นเดียวสามารถเกิดออสโมซิส (Osmosis) ได้ง่ายการเติมน้ำในน้ำยางมีผลให้ลูทอยด์บวมและแตกออก ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้นและเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดจะลดลง นอกจากนี้การเสียดสีกันเองของลูทอยด์และสภาพอากาศร้อนก็มีผลให้ลูทอยด์แตกออกได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีสารอีกพวกหนึ่งเรียกว่าอนุภาคฟรี-วิสลิง (Frey wysling) มีอนุภาคใหญ่กว่ายางแต่มีความหนาแน่นน้อยกว่า มีผนังล้อมรอบสองชั้น ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ซึ่งทำให้น้ำยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรัมได้

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดต้นยางพารามีเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แขวนลอยอยู่ในน้ำ ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เนื่องจากมีปริมาณน้ำมากเกินไป จึงมีการลดปริมาณน้ำในน้ำยางจนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30 เปอร์เซ็นต์เป็น 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เรียก น้ำยางข้น (concentrated latex) โดยการผลิตน้ำยางข้นสามารถทำได้ 4 วิธี คือ (1) วิธีระเหยด้วยน้ำ (evaporation) (2) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) (3) วิธีปั่นแยก (centrifugation) และ (4) วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation) ซึ่งวิธีที่ใช้ในการผลิตน้ำยางข้นในประเทศไทย ใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง โดยอาศัยหลักการที่น้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายคอลลอยด์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนของอนุภาคยางแขวนลอยจะจัดกระจายอยู่ในเซรัม และเนื่องจากอนุภาคยางเหล่านี้เบากว่าเซรัมจึงลอยตัวสู่ผิวหน้าน้ำยางและมีการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian movement) ซึ่งอัตราการเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ดังนั้น การปั่นจะช่วยเพิ่มแรงดึงดูด และเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง ซึ่งช่วยแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนเซรัม ในการปั่นแยกน้ำยางสดจะถูกแยกออกเป็น 3 ส่วนประกอบหลัก (ศรัญญา ตุกชูแสง, 2548) คือ

1. ส่วนของเนื้อยาง ประกอบด้วยอนุภาคยางซึ่งประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน 96% โปรตีน 1% และไขมัน 2%

2. C-serum ประกอบด้วยน้ำและส่วนของของแข็งที่ไม่ใช่ยางซึ่งเป็นเกลือแอมโมเนียมของสารประกอบพวกไนโตรเจน 23.4% โปรตีนและกรดอะมิโน 23.6% และน้ำตาลซึ่ง

เป็น คิวบราซิโทล (quebrachitol) 22.7%, กลูโคส (glucose) 4.2%, ฟรักโทส (fructose) 2% และ กาแล็กโตส (galactose) 1% โปรตีนใน ส่วน C-serum มีหลายชนิดส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ เช่น เอนไซม์ชนิดต่าง ๆ

3. B-serum หรือ bottom fraction เป็นส่วนประกอบส่วนล่างสุดที่ได้จากการปั่นแยก ส่วนใหญ่เป็นลูทอยด์ ส่วนที่เหลือปริมาณเล็กน้อยเป็นพวก ribosome และ endoplasmic reticulum ประมาณ 50-70% ของโปรตีนส่วนนี้เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้

ตารางที่ 2.2 การกระจายตัวของโปรตีนชนิดต่าง ๆ ในน้ำยางหลังการปั่นแยก (Yeang ,H.Y. et al, 2002)

Latex fraction	Protein concentration (mg/ml latex)	%
Rubber particles membranes	3.5	25
C – serum	6.0	43
B – serum	3.6	26
Bottom fraction membranes	0.9	6
Total	14.0	100

ผลจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นทำให้ปริมาณโปรตีนที่มีในน้ำยางลดลงจะเหลืออยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 16 – 20 มิลลิกรัมต่อกรัมยางแห้ง และเนื่องจากในน้ำยางประกอบด้วยสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเชื้อจุลินทรีย์และแบคทีเรียที่มีอยู่ในอากาศ ทำให้น้ำยางเกิดการเสียดสภาพ บูดเน่าส่งกลิ่นเหม็น จึงมีการเติมสารแอมโมเนียหรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น ๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน ปกติจะมีระบบรักษาคุณภาพน้ำยางข้น 2 ระบบคือ

- น้ำยางที่ใช้แอมโมเนียอย่างเดียวโดยต้องใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงถึง 0.7 เปอร์เซ็นต์ น้ำยางชนิดนี้เรียกว่า High Ammonia Latex หรือ HA latex

- น้ำยางที่ใช้แอมโมเนียความเข้มข้นต่ำ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ร่วมกับสารเคมีอื่น เช่น ZnO/TMTD 0.02 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า Low Ammonia Latex หรือ LATZ latex

2.1.2 โปรตีนก่อภูมิแพ้

โปรตีนก่อภูมิแพ้ในน้ำยางธรรมชาติมีประมาณ 57 ชนิด (Alinius , H. et al., 1994a) มีขนาดโมเลกุลตั้งแต่ 2 ถึง 100 kDa โปรตีนที่อยู่ในส่วนของ C-serum และ B-serum ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ขณะที่โปรตีนที่พบบนอนุภาคยางเป็นชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ตามประกาศของสถาบัน WHO-IUIS (International Union of Immunological Society Allergen Nomenclature Committee) ซึ่งทำการศึกษานิตของโปรตีนซึ่งคาดว่าจะก่อให้เกิดการแพ้แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของโปรตีนซึ่งคาดว่าจะก่อให้เกิดการแพ้ (Gordon L. Sussman et al., 2002)

Allergen	pI	Molecular weight of mature protein	Subcellular localization	Significance as allergen
Hev b 1	4.9	14.6 kDa	Large rubber particles	Minor/major
Hev b 2	9.5	35.1 kDa	Lutoids	Major
Hev b 3	4.8	22.3 kDa	Small rubber particles	Major/minor
Hev b 4	4.5	50-57 kDa	Lutoids	NA
Hev b 5	3.5	16 kDa	Lutoids	Major
Hev b 6.01	5.6	20 kDa	Cytoplasm	Major
Hev b 6.02	4.9	4.7 kDa	Lutoids	
Hev b 6.03	6.4;7.0;7.4	14 kDa	Lutoids	
Hev b 7	4.8	42.9 kDa	Lutoids	Minor
Hev b 8	4.9	13.9 kDa	Cytoplasm	NA
Hev b 9	5.6	47.7 kDa	Cytoplasm	Minor
	6.4	47.5 kDa	Cytoplasm	
Hev b 10	6.3	22.9 kDa	Mitochondria	Minor
Hev b 11	5.1	33 kDa	Lutoids	Minor

เมื่อ pI คือ Isoelectric point , NA คือ not available

2.1.2.1 Hev b 1 (Rubber elongation factor, REF)

คือ โปรตีนที่เกาะอยู่บนผิวอนุภาคยางขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 350 nm) เป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ให้โมเลกุลของยางขยายตัว (Rubber elongation factor, REF) ผู้ป่วยที่เป็นโรค Spina bifida หรือการผิดปกติทางระบบประสาทแต่กำเนิดจะมีความเสี่ยงต่อการแพ้โปรตีนชนิดนี้มากถึง 81%

2.1.2.2 Hev b 2 (β -1, 3-glucanase)

เป็น β -1, 3-glucanase ประกอบด้วยสารโพลีเปปไทด์ 2 ชนิดที่มีขนาดโมเลกุล 34 และ 36 kDa ซึ่งสามารถจะรวมกันได้เป็นโปรตีนที่มีขนาดใหญ่ที่มีขนาดโมเลกุล 70 kDa เกิดปฏิกิริยาตอบสนองกับคนไข้ที่มีอาการแพ้โปรตีนจากยางธรรมชาติคิดเป็น 21% สามารถตรวจหาโปรตีนชนิดนี้ได้โดยวิธี Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELISA) ใน 40% ของการเกิดภาวะภูมิแพ้ยาง และผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า Hev b 2 เป็นสารก่อภูมิแพ้ที่สำคัญที่มีอยู่ในยางธรรมชาติ

2.1.2.3 Hev b 3 (22-27 kDa rubber particle protein)

เป็นโปรตีนที่พบในอนุภาคยางขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 70 nm) เป็นโพลีเปปไทด์ที่มีขนาดโมเลกุล 22 kDa สารก่อภูมิแพ้ตัวนี้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองกับ IgE (Immunoglobulin E) antibody ของผู้ป่วย Spina bifida ที่เป็นชาวอังกฤษ 83% และ 67% ที่เป็นชาวฟินแลนด์ และพบว่าเป็นโปรตีนก่อภูมิแพ้ที่สำคัญมากสำหรับผู้ป่วยโรคนี้ (Alenius, 1993)

2.1.2.4 Hev b 4 (50 – 57 kDa microhelix protein complex)

เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนของลูทอยด์ประกอบด้วยสารโพลีเปปไทด์ 3 ชนิด ที่มีขนาดโมเลกุล 50 – 57 kDa ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกันได้ทำให้ได้ขนาดโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นเป็นประมาณ 100 kDa ละลายได้เฉพาะในสารละลายไอออนิกที่มีความเข้มข้นสูง (Sunderasan et al., 1995) พบว่า Hev b 4 จะเกิดปฏิกิริยาตอบสนองกับ IgE antibody ของผู้ป่วยที่มีอาการแพ้ยาง สามารถทดสอบผลการตอบสนองของสารก่อภูมิแพ้ชนิดนี้ได้ด้วยวิธี Radioallergosorbent Test (RAST) Assay และ วิธี ELISA พบว่า Hev b 4 มีปฏิกิริยาตอบสนองกับ IgE antibody ของบุคลากรทางการแพทย์ 23–65% และ 30–70% กับผู้ป่วยโรค Spina bifida

2.1.2.5 Hev b 5 (acidic NRL protein)

เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนของไซโตรพลาสซึม มีความเป็นกรด (acidic NRL protein) มากที่สุดของโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติจากต้นยางเนื่องจากมีกรดกลูตามิก (Glutamic acid) มาก และมีความคล้ายคลึงกับโปรตีนก่อภูมิแพ้ชนิด pKIWI501 ในผลกีวี ปฏิกิริยาตอบสนองกับ IgE antibody ของผู้ป่วยโรค Spina bifida 56% และ 92% กับบุคลากรทางการแพทย์

แพทย์ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า Hev b 5 เป็นโปรตีนก่อภูมิแพ้ที่สำคัญสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ และผู้ป่วย Spina bifida

2.1.2.6 Hev 6.01 (Prohevein), Hev b 6.02 (Hevein) และ Hev b 6.03 (Prohevein C Domain)

เป็นโปรตีนกลุ่มของ hevein และ prohevein ถือเป็นโปรตีนที่มีบทบาทมากที่อยู่ในน้ำยางธรรมชาติ พิจารณาจากการที่มีส่วนในการรวมตัวกันของยางและการป้องกันการเติบโตของ fungi ที่แผลของต้นยาง มีปฏิกิริยาตอบสนองกับ IgE antibody ของผู้ป่วยที่เป็นโรคภูมิแพ้ยาง และข้อมูลที่มีการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า Prohevein และ N-terminal hevein domain เป็นโปรตีนก่อภูมิแพ้หลักที่อยู่ในน้ำยางธรรมชาติ

2.1.2.7 Hev b 7 (patatin – like protein)

เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนของไซโตรพลาสซึม ได้มีการรายงานว่ามี IgE antibody ของผู้ป่วยโรคภูมิแพ้ยางมีปฏิกิริยาตอบสนองกับ Hev b 7 ที่มีขนาดโมเลกุล 42.9 kDa ถึง 22% เป็นโปรตีนที่มีความคล้ายคลึงกับโปรตีน patatin ที่อยู่ในมันฝรั่ง

2.1.2.8 Hev b 8 (latex profilins)

เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนของไซโตรพลาสซึม ประกอบด้วยกรดอะมิโน 131 หมู่พบในพืชหลายชนิดสามารถระบุตัวได้เนื่องจากการที่เป็น IgE binding protein พบว่า profilin ในน้ำยางธรรมชาติจะเกาะเกี่ยวกับ IgE ที่อยู่ในซีรัมของผู้ป่วยโรคภูมิแพ้ยางถึง 11% Hev b 8 เป็น minor NRL allergen

2.1.2.9 Hev b 9 (enolase)

เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนของไซโตรพลาสซึมเป็นเอนไซม์ enolase มีขนาดโมเลกุล 47.7 kDa IgE antibody ของผู้ป่วยโรคภูมิแพ้ยางมีปฏิกิริยาตอบสนองกับ Hev b 9 15% เป็น minor NRL allergen

2.1.2.10 Hev b 10 (manganese superoxide dismutase: MnSOD)

เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนของไมโทคอนเดรีย ประกอบด้วยกรดอะมิโน 206 หมู่เป็นกลุ่ม "Latex mould" ของสารก่อภูมิแพ้ในยางธรรมชาติ

2.1.2.11 Hev b 11 (class 1 chitinase)

เป็นโปรตีนที่อยู่ในส่วนของลูทอยด์มีขนาดโมเลกุล 33 kDa ถึงแม้ว่าจะมีชื่ออยู่ในประกาศโปรตีนก่อภูมิแพ้ในยางธรรมชาติ แต่ยังไม่มีความชัดเจนในตอนนี้ว่ามีความสามารถในการก่อให้เกิดอาการแพ้ได้อย่างไร

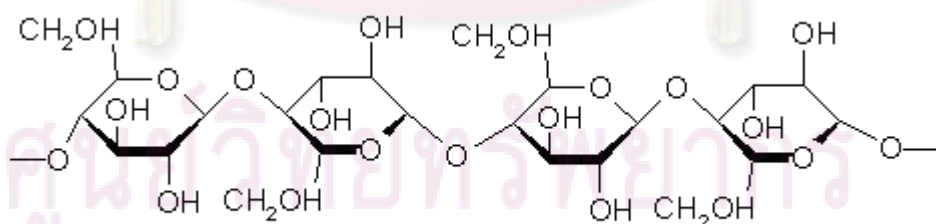
จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่าโปรตีนก่อภูมิแพ้หลักที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ มีดังนี้

- Adult patients: Hev b 6.01, Hev b 6.02, Hev b 5 และ Hev b 2
- Children with spina bifida: Hev b 1 และ Hev b 3

อาการภูมิแพ้โปรตีนในยางธรรมชาติเป็นการแพ้แบบเฉียบพลัน (immediate type allergy, Type I) ซึ่งเกิดจากภูมิคุ้มกันของร่างกาย (IgE) อาการจะเกิดภายใน 1 นาทีหรืออย่างน้อยไม่เกิน 2 ชั่วโมง โดยร่างกายจะมีอาการเริ่มต้นตั้งแต่หอบ อาเจียน แ่น้ำหน้าอก อาจรุนแรงจนกระทั่งทำให้ระบบหายใจหยุดทำงาน และถ้าแก้ไขไม่ทันจะเสียชีวิตเนื่องจากเกิด anaphylactic shock ซึ่งการแพ้ลักษณะนี้เกิดจากร่างกายสัมผัสหรือได้รับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยาง นอกจากการแพ้แบบเฉียบพลันแล้วยังพบการแพ้แบบล่าช้า (type IV hypersensitivity) มักเกิดจากการแพ้สารปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตยางนั้น เช่น สาร antioxidant หรือ accelerator การแพ้ในประเภทหลังพบบ่อยกว่าประเภทแรก โดยการแพ้จะจำกัดอยู่เฉพาะบริเวณที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ยางเท่านั้น อาจมีอาการบวมแดง (erythema) มีตุ่มเล็ก ๆ บนผิวหนัง (papules) มีอาการคัน (pruritus) ทำให้ผิวหนังพุพอง (blister) และเป็นสะเก็ด (crust) โดยจะแสดงอาการภายใน 6 – 24 ชั่วโมง

2.2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC)

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในพืชทั่วไป โมเลกุลประกอบด้วยหน่วยย่อยของ D-anhydroglucopyranose เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวแบบ linear polymer ด้วยพันธะ β -1, 4 glycosidic มี configuration แบบ β -configuration ดังรูปที่ 2.4



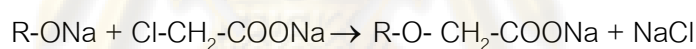
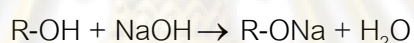
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลส

ที่มา <http://www.steve.gb.com/images/molecules/sugars/cellulose.png>

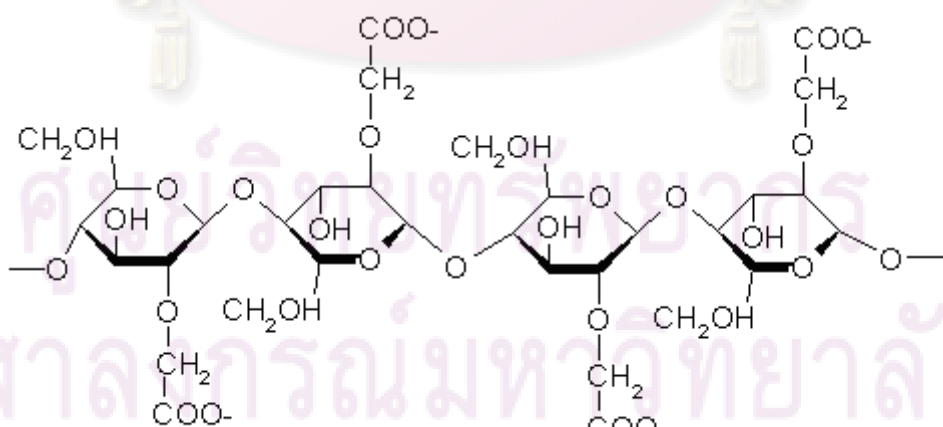
จำนวนหน่วยย่อยของโมเลกุลเซลลูโลสขึ้นกับชนิดของพืชนั้นๆ ซึ่งอยู่ในช่วง 15 ถึง 14,000 หน่วยย่อย โดยมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 2.0×10^5 ถึง 2.0×10^6 ดาลตัน เนื่องจากแต่ละหน่วยย่อย anhydroglucopyranose ของเซลลูโลสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ซึ่ง

เป็น acetal linkage ที่ตำแหน่ง 1 และ 4 รวมทั้งประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในโดยเกิดที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 3 กับออกซิเจนของหน่วยย่อยถัดไปและระหว่างคือเชื่อมต่อระหว่างสายโซ่เซลลูโลสแต่ละสายเข้าด้วยกันโดยเกิดระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 กับออกซิเจนของสายโซ่เซลลูโลสอีกสายหนึ่ง ทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสมีความซับซ้อนและมั่นคง ยากต่อการย่อยสลาย

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดหนึ่ง ที่ได้มาจากการแทนที่ carboxy methyl groups (-CH₂COOH) บนอนุมูล hydroxyl groups (-OH) ของหน่วยย่อยเซลลูโลส (anhydroglucose unit, C₆H₁₂O₅) ซึ่งโครงสร้าง 1 หน่วยโมเลกุลของเซลลูโลสจะประกอบด้วย hydroxyl groups (-OH) 3 กลุ่ม โดยทั่วไปสามารถเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสได้จากการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งเป็นด่าง ลงไปในเซลลูโลสเพื่อทำให้เส้นใยพองตัว จากนั้นทำปฏิกิริยากับโซเดียมไคลอโรอะซิเตท (ClCH₂COONa) ดังสมการ



ตามทฤษฎีปฏิกิริยาที่สมบูรณ์โครงสร้าง 1 หน่วยโมเลกุล anhydroglucose ของเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วย hydroxyl groups (-OH) 3 กลุ่มจะถูกแทนที่ด้วย carboxy methyl groups ทั้งหมดหรือมีค่าองศาการแทนที่ (degree of substitution, D.S.) เท่ากับ 3 โดยการแทนที่ส่วนใหญ่เกิดที่ตำแหน่ง 2-O- และ 6-O-linked



รูปที่ 2.5 โครงสร้างโมเลกุลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ที่มา <http://www.steve.gb.com/images/molecules/sugars/carboxymethylcellulose.png>

กระบวนการเตรียมที่ต่างกันส่งผลให้ค่าองศาการแทนที่ (degree of substitution) แตกต่างกันไป องศาการแทนที่จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.6-0.95 ต่อหน่วยย่อย พบว่าคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ละลายได้ดีจะมีค่าองศาการแทนที่สูง แต่ความสามารถในการละลายยังขึ้นกับแบบการกระจายตัวของ carboxy methyl groups ที่เข้าแทนที่หมู่ไฮดรอกซิล(-OH) ในโมเลกุลด้วย โดยถ้าความเข้มข้นของโมเลกุลคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีค่ามากจะส่งผลให้เกิดการซ้อนทับกันและขดเป็นวงทำให้โมเลกุลพันติดกันกลายเป็น thermoreversible gel ปริมาณ ionic strength จะมากขึ้น ค่า pH ลดลงและความหนืดจะลดลงเนื่องจากโมเลกุลขดเป็นวงมากขึ้น

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นสารไม่มีรส ไม่มีกลิ่นและไม่มีความเป็นพิษมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6-12 และมีความคงตัวที่ค่า pH 7-9 ลักษณะเป็นผงหรือเม็ดขึ้นกับการผลิต มีสีขาวอมเหลือง ละลายได้ดีในน้ำและเบส แต่ไม่ละลายใน alcohol, ethanol, benzene และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ความหนืดของสารละลายมีค่ามากขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลาย ความยาวของสายเซลลูโลสและค่า degree of polymerization แต่เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายจะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงและการลดความร้อนลงก็ทำให้ความหนืดกลับมามีค่าเท่าเดิม และเนื่องจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นเกลือของกรดอ่อน การเพิ่มกรดแก่ (ลด pH) ทำให้เกิดการตกตะกอนของกรดอิสระซึ่งไม่ละลายน้ำ การตกตะกอนทำให้ค่าองศาการแทนที่มีค่าต่ำลงทำให้เกิดการตกตะกอนง่ายขึ้น ละลายได้น้อยลง การเพิ่มหรือลดค่า pH มีผลให้ความหนืดมีค่าลดลง

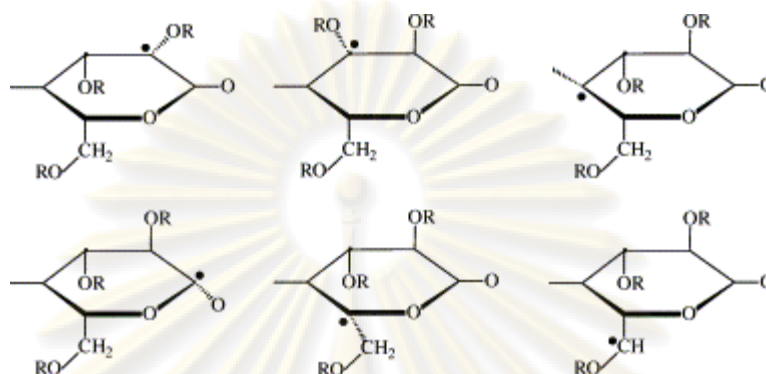
2.2.1 การย่อยสลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยรังสี

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญเมื่อฉายรังสีพอลิเมอร์ คือ เกิดการแตกหักของสายโซ่ (Degradation) และการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ (Crosslinking) ผลของการแตกหักทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง และมีน้ำหนักโมเลกุลลดลง ส่วนการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์นั้นส่งผลให้พอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงขึ้นและมีผลต่อคุณสมบัติของพอลิเมอร์ทำให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิเมอร์มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าสารอินทรีย์ทั่วไป การเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยรังสีเพียงเล็กน้อยก็ทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์นั้นเปลี่ยนแปลงไปมากทำให้รังสีถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ และเนื่องจากรังสีมีผลให้โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดการย่อยสลาย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการย่อยสลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสด้วยรังสี เพื่อให้มีโมเลกุลเล็กลงเหมาะสมในการนำไปใช้ในการจับกับโปรตีนก่อภูมิแพ้ในน้ำอย่างธรรมชาติ

2.2.1.1 ผลของรังสีต่อสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

การฉายรังสีสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทำให้เกิดการแตกหักระหว่างโมเลกุลเซลลูโลสที่พันธะไกลโคซิดิกโดยปฏิกิริยาเป็นแบบสุ่ม ซึ่งมักเกิดที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1

และ 4 ทำให้เกิดอนุมูลอัลโคซิล (alkoxy radical, R-O•) รวมถึงการแตกหักภายในโมเลกุลคือที่พันธะไฮโดรเจน การแตกหักที่เกิดมีผลให้ความแข็งแรงและค่าองศาความเป็นผลึก (degree of crystallinity) ของเซลลูโลสลดลง

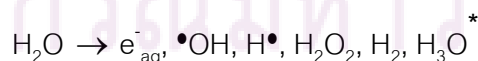


รูปที่ 2.6 อนุกรมของเซลลูโลสชนิดพอลิแซ็กคาไรด์ (Radoslaw A. Wach et al., 2003) กรณีเซลลูโลส R = H และกรณีคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส R = H หรือ CH₂COO⁻

โดยอิทธิพลที่ทำให้เกิดการแตกหักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสนั้นขึ้นกับค่าองศาการแทนที่และความเข้มข้นของสารละลาย จากรายงานของ Radoslaw A. Wach et al., 2003 ทำการทดลองฉายรังสีแกมมาที่สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในสภาวะที่มีอากาศพบว่าสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 5% ที่ทุกๆ ค่าองศาการแทนที่จะเกิดการแตกหักของสายโซ่โมเลกุลเพียงอย่างเดียวโดยไม่เกิดการครอสลิงค์ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีอนุมูลหลักที่ได้จากการแยกอะตอมไฮโดรเจนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3, 4 (triplet) และตำแหน่งที่ 1 (doublet) ในสายโซ่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และพบว่าอนุมูลที่เกิดไม่เสถียรทำให้มีการเปลี่ยนรูปไปมาดังสมการ

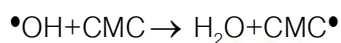


นอกจากรังสีจะมีผลให้เกิดอนุมูลอิสระโดยตรงแล้วอนุมูลอิสระยังเกิดจากการทำอันตรกิริยาของสายโซ่โมเลกุลกับอนุมูลอิสระที่ได้จากการสลายตัวของน้ำ (radiolysis of water) อีกด้วย รังสีมีผลให้น้ำแตกตัวเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical, •OH) อนุมูลไฮโดรเจน (H•) และอิเล็กตรอนอิสระ (hydrated electrons, e_{aq}⁻) ดังปฏิกิริยา



พบว่าอนุมูลไฮดรอกซิล (•OH) ที่เกิดจะทำปฏิกิริยากับ carboxy methyl group (-CH₂COOH) ในหน่วยโมเลกุล anhydroglucose ของเซลลูโลส ส่วนใหญ่จะเกิดที่คาร์บอน

ตำแหน่งที่ 1 ในวงแหวนไพราโนส (Pyranose ring) ของกลูโคส โดยการแยก (abstraction) อะตอมไฮโดรเจนออก 1 อะตอม ทำให้เกิดเป็นอนุมูลคาร์บอกซิล (carboxyl group, $-\text{CH}_2\text{COO}^\bullet$)



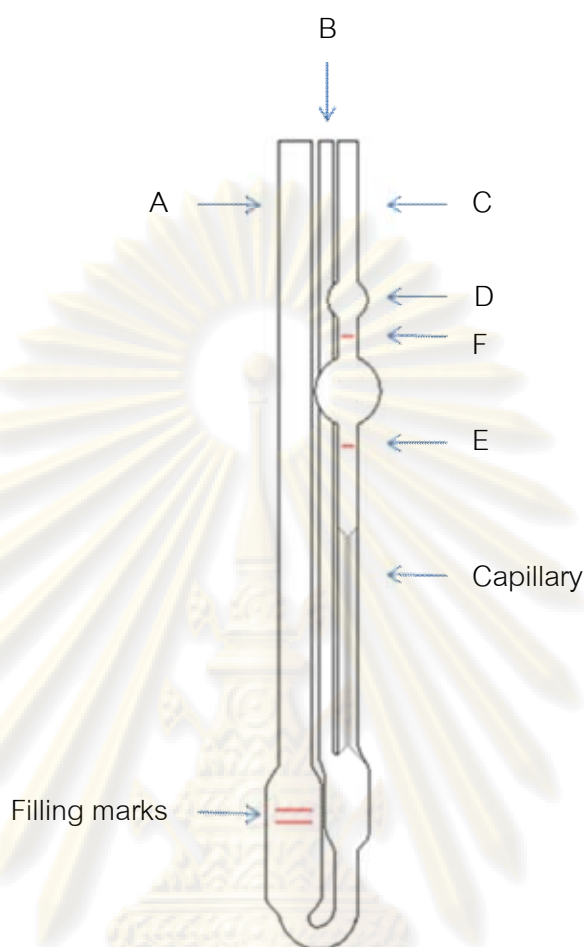
การย่อยสลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเพิ่มขึ้นตามอัตราการสลายตัวของ macroradicals เนื่องจากถ้าเกิดอนุมูลที่ carboxy methyl group ใน anhydroglucose แล้วต่อมาอนุมูลที่เกิดสลายตัวไปจะส่งผลให้วงแหวนไพราโนสเปิดออกทำให้พันธะไกลโคซิดิกแตกหักเกิดการย่อยสลายมากขึ้น ความหนืดของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสลดลงเนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเล็กลง

2.2.1.2 ผลของรังสีต่อน้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

จากการวัดความหนืดของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสพบว่าความหนืดของสารละลายลดลงเมื่อปริมาณรังสีสูงขึ้น และความหนืดสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (Average molecular weight) ดังความสัมพันธ์ของ Mark-Houwink แต่การคำนวณ viscosity average molecular weight จากสมการของ Hourdet และ Muller คือ $[\eta] = KM^a$ เมื่อ K คือ 1.8×10^{-2} และ a คือ 0.97 (ชยากริต ศิริอุปถัมภ์และจรรยา บุญญวัฒน์, 2545) โดยใช้ 0.1 M NaCl เป็นตัวทำละลายและถ้าฉายรังสีในบริเวณที่มีออกซิเจน สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะเกิดการแตกหักของสายโซ่โมเลกุลมากขึ้น เนื่องจากเกิด peroxy radical ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อมี O_2 เพิ่มเข้ามาใน Carbohydrate radical

2.2.2 การวัดขนาดน้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยวิธี Dilute Solution Viscosity

การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธี Intrinsic viscosity หรือวิธี Dilute solution viscosity เป็นวิธีพื้นฐานในการตรวจวัดขนาดและการแผ่ ขยายของโมเลกุลพอลิเมอร์ วิธีการนี้มีความสัมพันธ์กับเฉพาะพอลิเมอร์เชิงเส้นเท่านั้น การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายและขนาดโดยเฉลี่ยหรือน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดความหนืดของสารละลายมีลักษณะเป็นหลอด เรียกว่า Ubbelohde's Viscometer ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Cannon - Ubbelohde's Viscometer

การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีนี้ทำโดยให้สารละลายพอลิเมอร์เคลื่อนที่ผ่านหลอดรูตีบ แล้วทำการจับเวลาที่สารละลายพอลิเมอร์เคลื่อนที่จากตำแหน่ง F ไปยังตำแหน่ง E ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเรียกว่า efflux time และต้องหาค่า efflux time ของตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่ไม่มีโมเลกุลพอลิเมอร์ละลายอยู่เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบในการคำนวณด้วย โดยจะให้ efflux time ของตัวทำละลายเป็น t_0 และ efflux time ของสารละลายพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ให้เป็น t เราสามารถหาค่าความหนืดสัมพัทธ์หรือ relative viscosity η_r ได้ดังนี้

$$\eta_r = \frac{t}{t_0} \quad (1)$$

เมื่อ t คือ ค่า efflux time ของสารละลายตัวอย่าง

t_0 คือ ค่า efflux time ของตัวทำละลาย

ค่า efflux time ของตัวทำละลายไม่ต้องพิจารณา แต่พิจารณาความแตกต่างของค่า efflux time ของสารละลายพอลิเมอร์กับค่า efflux time ของตัวทำละลายโดยการหาค่า efflux

time ของตัวทำละลาย (t_0) ออกจากค่า efflux time ของสารละลายพอลิเมอร์ (t) ซึ่งจะได้เป็นค่าความหนืดจำเพาะ หรือ specific viscosity (η_{sp}) ดังสมการ

$$\eta_{sp} = \frac{(t - t_0)}{t_0} \quad (2)$$

เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารละลาย (C) ไปหารค่า specific viscosity (η_{sp}) จะได้ค่า reduced viscosity (η_{red}) ดังสมการ

$$\eta_{red} = \frac{\eta_{sp}}{C} \quad (3)$$

ค่า η_{red} ที่แตกต่างกันไปตามความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ซึ่งปกติจะแสดงหน่วยเป็นกรัมต่อปริมาตรสารละลาย 100 มิลลิลิตร (g/100ml หรือ g/dl) สำหรับการทดลองจะต้องทำการวัดค่า η_{red} ที่ความเข้มข้นหลายค่า เมื่อนำค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (C) มาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่า η_{red} โดยให้ C เป็นค่าบนแกน X และ η_{red} เป็นค่าบนแกน Y กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (C) กับค่า reduced viscosity (η_{red}) ที่คำนวณได้จากการทดลองดังกล่าวข้างต้นจะเป็นกราฟเส้นตรง เมื่อ extrapolate ไปที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0 เส้นกราฟจะไปตัด แกน Y ที่ intrinsic viscosity (η) ซึ่งเป็นค่า η_{red} เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับศูนย์ ($C=0$) จากกราฟความสัมพันธ์จะได้สมการเส้นตรงคือ

$$\eta_{red} = k'[\eta]^2 C + [\eta] \quad (5)$$

ค่า $k'[\eta]^2$ คือค่าความชันของกราฟเส้นตรง และ ค่า $[\eta]$ คือจุดตัดแกน Y ซึ่งค่า intrinsic viscosity $[\eta]$ นี้เป็นค่าที่จะนำไปใช้สำหรับคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลตามสมการของ Mark-Houwink

ค่า intrinsic viscosity นี้สามารถหาได้อีกรูปวิธีหนึ่งคือใส่ลอการิทึมฐานธรรมชาติ (\ln) กับค่า relative viscosity และหารด้วยความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ C จะได้ค่า inherent viscosity (η_{inh}) ดังสมการ

$$\eta_{inh} = \frac{\ln \eta}{C} \quad (6)$$

เมื่อนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ (C) บนแกน X และค่า inherent viscosity (η_{inh}) บนแกน Y จะได้กราฟเส้นตรงและได้สมการเส้นตรงคือ

$$\eta_{inh} = k''[\eta]^2 C + [\eta] \quad (7)$$

ค่า $k''[\eta]^2$ คือ ค่าความชันของกราฟเส้นตรงและค่า $[\eta]$ (จุดตัดแกน y) คือ intrinsic viscosity ซึ่งค่า $k' - k'' = \frac{1}{2}$ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า intrinsic viscosity $[\eta]$ สามารถคำนวณหา Viscosity average molecular weight, M_v ได้จากสมการ Mark-Houwink

$$[\eta] = KM_v^a \quad (8)$$

เมื่อ M_v คือน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยจากความหนืด ค่า $[\eta]$ คือ ค่าความหนืดที่แท้จริง

การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีนี้ต้องใช้สารละลายพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้นต่ำมากเพื่อลดแรงกระทำระหว่างสายโซ่ของพอลิเมอร์ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นมากเกินไปโมเลกุลพอลิเมอร์จะเข้าไปใกล้กันเพียงพอที่จะเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้ ใน

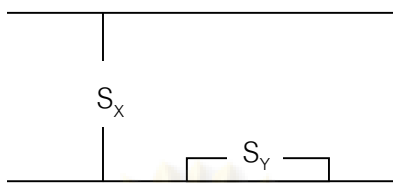
กรณีเช่นนี้สมการของ Mark-Houwink ไม่สามารถใช้ได้นัก ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ชื่อของเทคนิคการหาน้ำหนักโมเลกุลแบบนี้ว่า dilute solution viscosity

2.3 การวัลคาไนซ์

ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) มีความแข็งแรงจนเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำและเหนียวเหนอะหนะเมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ไม่เหมาะในการใช้งาน กระบวนการวัลคาไนเซชันเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลเรียกว่า crosslink ตรงจุดที่มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้อย่างเปลี่ยนสภาพจากอ่อนเหนียวหนืด (tacky) และไหลได้แบบเทอร์โมพลาสติกไปเป็นยางคงรูป (เทอร์โมเซต) ที่มีความยืดหยุ่น (elastic) สูง มีความทนทาน และมีคุณสมบัติที่เสถียรไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากนัก ระบบการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติโดยทั่วไปอาจแบ่งได้เป็น 2 ระบบคือ การวัลคาไนซ์โดยใช้กำมะถัน (sulfur vulcanization) และการวัลคาไนซ์โดยใช้รังสี (radiation vulcanization)

2.3.1 การวัลคาไนซ์โดยใช้กำมะถัน

ระบบการวัลคาไนซ์โดยใช้กำมะถัน เป็นการนำน้ำยางข้นหรือน้ำยางสดมาผสมกับสารเคมีในระบบทำให้อย่างคงรูปซึ่งประกอบด้วยสารเร่งปฏิกิริยา สารช่วยความคงตัว (stabilizer) และซัลเฟอร์ จากนั้นให้ความร้อนกับน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว ที่อุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ขึ้น กำมะถันทำให้โมเลกุลยางเชื่อมต่อกัน เรียกการเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุลว่า crosslink ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน

S_x คือ การเชื่อมโยงระหว่างสองโมเลกุล

S_y คือ การเชื่อมโยงระหว่างสองโมเลกุล

การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป (Accelerator) ร่วมกับกำมะถันจะช่วยลดระยะเวลา อุณหภูมิและปริมาณกำมะถันลงได้ และช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของยางให้ดีขึ้นด้วย สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปเป็นสารที่ช่วยเสริมการทำงานของสารเร่ง ทำให้อัตราการคงรูปของยางเร็วขึ้น โดยทำให้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น ซึ่งสารกระตุ้นนี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเร่งทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีประสิทธิภาพในการเร่งให้กำมะถันเกิดความว่องไวต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยงโมเลกุล

2.3.2 การวัลคาไนซ์โดยใช้รังสี

ระบบการวัลคาไนซ์โดยใช้รังสี ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน (1) ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางก่อนฉายรังสี คือ การผสมน้ำยางธรรมชาติกับสารไวปฏิกิริยา (sensitizer) (2) ขั้นตอนการฉายรังสี คือ การฉายรังสีน้ำยางที่เตรียมไว้ด้วยรังสีแกมมา หรือลำอิเล็กตรอน โดยน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสมในการนำมาวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ควรมีคุณสมบัติดังนี้ (Makuuchi, K., 2003)

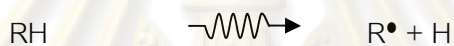
1. น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Latex, HA latex)
2. ระยะเวลาการปล่อยให้ยางคงตัว (Maturing period) อย่างน้อย 6 สัปดาห์
3. ความแข็งแรงของยางดิบ (Green strength) อย่างน้อย 7 MPa
4. เสถียรภาพต่อการปั่น (Mechanical stability) อย่างน้อย 800 วินาที
5. ปริมาณแมกนีเซียม (Magnesium content) ไม่เกิน 10 mg/kg
6. กรดไขมันระเหยได้ (VFA number) ไม่เกิน 0.02

การวัลคาไนซ์น้ำยางจะต้องใช้ปริมาณรังสีประมาณ 250–350 kGy เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่า tensile strength (Tb) สูง แต่เนื่องจากปริมาณรังสีดังกล่าวมีปริมาณสูง จึงมีการเติมสารไวปฏิกิริยา ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ซึ่งส่งผลให้ปริมาณรังสีที่ใช้ลดลง สารไวปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ n-butyl acrylate (n-BA) เนื่องจากสามารถขจัดออกได้ง่ายโดยการระเหย ทำให้ไม่มีการตกค้างในผลิตภัณฑ์ แต่เมื่อเติม n-BA ทำให้ความหนืดของน้ำยางเพิ่มขึ้น และอาจ

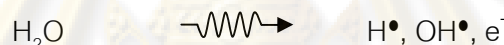
ทำให้มีการจับตัวเป็นก้อนจึงต้องใช้ร่วมกับโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, KOH) เป็นตัวเพิ่มความเสถียรให้กับน้ำยาง โดยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 0.2 phr เพียงพอสำหรับต้านผลที่เกิดจากการเติม n-BA ปริมาณ 5 phr และปริมาณรังสีที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความต้านแรงดึงจนขาด (tensile strength, Tb) สูงที่สุด (vulcanization dose) มีค่าลดลงเป็นประมาณ 15 kGy

การเติมสารไวปฏิกิริยาจะช่วยเพิ่มการ crosslink ให้มากขึ้นโดยเมื่อฉายรังสี n-BA จะต่อกิ่ง (graft) กับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน และจะทำให้เกิด crosslink ที่ methylene group (-CH₂-) ซึ่งจะทำให้เกิดการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ตรงสายโซ่ของ n-BA ด้วย สามารถสรุปปฏิกิริยาทางเคมีของการวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติโดยรังสีที่เติม n-BA เป็นสารเร่งปฏิกิริยาได้ดังนี้ (Makuuchi, K., 2003)

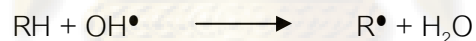
Radiolysis of NR



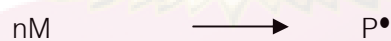
Radiolysis of water



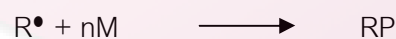
Hydrogen abstraction



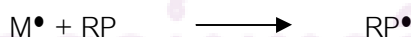
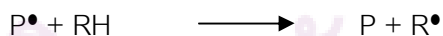
Homopolymerization



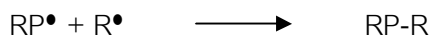
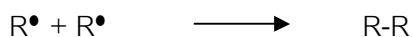
Graft polymerization



Chain transfer



Termination



โดย RH, M, P คือ NR, n-BA และ polymer ของ n-BA ตามลำดับ P• และ RP• คือ chain radical โดย chain transfer ของโมโนเมอร์ (monomer) ดังรูป



2.3.2.1 สมบัติของน้ำยางและฟิล์มยางธรรมชาติหลังวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

ก. สมบัติของน้ำยางธรรมชาติหลังวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

การฉายรังสีแกมมาบนน้ำยางธรรมชาติที่ผสมกับสารไวปฏิกิริยา (n-BA) พบว่าไม่มีผลต่อลักษณะของน้ำยางธรรมชาติตามคุณลักษณะที่ระบุในมาตรฐาน ISO 2004 ซึ่งได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solids content, TSC) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC) ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber solids) ความเป็นด่าง (Alkalinity, as NH_3) ปริมาณยางจับก้อน (Coagulum content) ปริมาณทองแดง (Copper content) ปริมาณแมงกานีส (Manganese content) และปริมาณตะกอน (Sludge content) ค่ากรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid number, VFA) ค่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number) และสี (Color) แต่รังสีมีผลให้ความเสถียรทางกลของน้ำยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้รังสียังมีผลให้ความหนืดของน้ำยางลดลง

ข. สมบัติของฟิล์มยางจากน้ำยางวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

(1) ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength, Tb)

ความทนต่อแรงดึงขึ้นกับหลายปัจจัยได้แก่

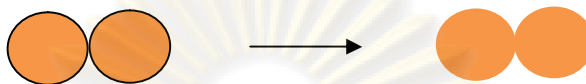
(ก) ปริมาณรังสีที่ได้รับ

เมื่อเพิ่มปริมาณรังสี ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงโมเลกุลจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากรังสีมีผลให้ปริมาณปลายสายโซ่อิสระที่พื้นผิวของแต่ละอนุภาคยางเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการพันกันระหว่างโมเลกุลยาง ส่งผลให้ฟิล์มมีความทนต่อแรงดึงมากขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่ปริมาณรังสีระดับหนึ่ง และจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีต่อไปอีก

(ข) ปัจจัยในการผลิต เช่น การล้างฟิล์ม และการทำให้ฟิล์มแห้ง

เนื่องจากบริเวณรอบๆ อนุภาคยางจะมีส่วนที่ไม่ใช่ยางล้อมรอบอยู่ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ เมื่อนำน้ำยางมาขึ้นรูปจะมีผลให้การเชื่อมติดกันของอนุภาคยางทำได้ไม่ดี แต่เมื่อมีการล้างฟิล์มยางจะทำให้อนุภาคของยางเชื่อมติดกันได้ดีขึ้น เนื่องจากการ

ล้างเป็นการเอาส่วนที่ไม่ใช่ยางออกไป มีผลให้ความทนต่อแรงดึงของฟิล์มสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 นอกจากนี้ความร้อนมีผลทำให้ความทนต่อแรงดึงของฟิล์มสูงขึ้น เนื่องจากจะทำให้การเชื่อมติดกันของอนุภาคยางดีขึ้นและเพิ่มการพันกันของโมเลกุลยาง แต่การให้ความร้อนเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการล้างไม่สามารถทำให้ความทนต่อแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 2.9 ผลของการล้างต่อการเชื่อมติดกันของอนุภาคยาง



รูปที่ 2.10 ผลของความร้อนต่อการพันกันของอนุภาคยาง

(ค) ความเสถียรระหว่างการเก็บ (Storage stability)

น้ำยางจะเสถียรอยู่ได้เป็นเวลานานถ้าเก็บภายใต้สภาวะที่เย็นและมีด เป็นเวลา 3 เดือนโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break) โดยไม่ได้เติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน สำหรับน้ำยางที่เก็บไว้เป็นเวลา 1 ปี โดยไม่ได้เติมสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ความทนต่อแรงดึงจะลดลงระหว่างช่วง 5 เดือนแรกประมาณร้อยละ 20-30 แล้วจะคงที่

(2) ผลของสารตัวเติมต่อสมบัติความทนต่อแรงดึง

เมื่อเติมพอลิเมอร์ที่สามารถละลายน้ำได้ (water soluble polymer) มีผลให้ความทนต่อแรงดึงของฟิล์มลดลง เช่นสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเมื่อเติมลงในน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ แล้วนำไปปั้นด้วยเครื่องปั้น พอลิเมอร์ที่สามารถละลายน้ำได้มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายอนุภาคที่มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันออกมาอยู่ในส่วนซีรัมน้ำยางได้

ข้อได้เปรียบของผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ยางที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ดังนี้

1. ปราศจากสารก่อมะเร็งจำพวก N-nitrosamines
2. ความเป็นพิษต่อเซลล์ (cytotoxicity) ต่ำ
3. เมื่อเผาทำลายมีการแพร่ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และมีเถ้าปริมาณน้อย
4. สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ
5. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความโปร่งใสและนุ่มกว่า

6. การแพ้โปรตีนน้อยลงเนื่องจากปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณลดลง
7. ไม่มีสารปนเปื้อน ZnO

ข้อดีของผลิตภัณฑ์ยางที่วัลคาไนซ์ด้วยรังสี

1. ต้นทุนการผลิตสูง
2. ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเชิงกลต่ำ

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ชยากริต ศิริอุปลักษณ์และจรรยา บุญญวัฒน์ (2545) ทำการวิจัยเรื่องการศึกษาการเตรียมน้ำยางชั้นธรรมชาติที่มีโปรตีนก่อกอภูมิแพ้ต่ำโดยวิธีฉายรังสีแกมมาได้ทำการทดลองลดปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำซึ่งเป็นโปรตีนก่อกอภูมิแพ้ในน้ำยางสดโดยการเติมสารละลายของอนุพันธ์เซลลูโลส 4 ชนิด คือ Carboxy methyl cellulose, Hydroxy ethyl cellulose, Hydroxy propyl cellulose และ Methyl cellulose พบว่า สามารถลดปริมาณโปรตีนที่ละลายได้ในน้ำให้ต่ำกว่า 10 ไมโครกรัมต่อกรัมหลังการปั่นเป็นน้ำยางชั้น ภายใต้เงื่อนไขน้ำหนักโมเลกุลเซลลูโลสที่ใช้ต้องต่ำกว่า 16 kDa

2.4.2 Radoslaw A. Wach, Hisaaki Kudoh และคณะ (2003) ศึกษาการเชื่อมต่อดังรังสีของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้นสูงที่มีค่าองศาการแทนที่แตกต่างกัน พบว่ารังสีทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิลบนคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, อนุมูลบนสายโซ่หลักและอนุมูลบนหมู่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จึงเกิดการรวมตัวของอนุมูลขนาดใหญ่ในสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ความเข้มข้นสูงทำให้มีลักษณะเป็นเจล

2.4.3 อนิรุทธิ์ สงศรี (2549) ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีโดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสี พบว่าเมื่อควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีเป็น 10 °C, 32 °C และ 55 °C ที่ปริมาณรังสีต่างๆจาก 0-30 กิโลเกรย์โดยใช้ n-Butyl acrylate เป็นสารไวปฏิกิริยา พบว่า การฉายรังสีน้ำยางที่ 10 °C จะได้ฟิล์มยางที่มีความต้านแรงดึง 25.3 MPa ที่ Vulcanization dose 28 kGy เปรียบเทียบกับการฉายรังสีน้ำยางที่ 55 °C ซึ่งได้ค่าความต้านแรงดึงเพียง 15.1 MPa ที่ปริมาณรังสีที่ Vulcanization dose 19 kGy

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การฉายรังสีสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

3.1.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 ผงคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC)

3.1.1.2 น้ำกลั่น

3.1.1.3 Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar

3.1.1.4 ภาชนะบรรจุ

3.1.1.5 เครื่องวัดปริมาณรังสี (Dosimeter) แบบ Radiochromic film

3.1.1.6 เครื่องฉายรังสี Gammacell 220 excell

3.1.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1.2.1 เตรียมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 1.3% แล้วนำสารละลายที่ได้ไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสี 3.0, 4.0 และ 5.0 kGy (ชยากริต ศิริอุบลัมภ์และจรรยา บุญญวัฒน์, 2545)

3.1.2.2 วางภาชนะบรรจุบรรจุสารละลายตรงตำแหน่งที่กำหนดในเครื่องฉายรังสี Gammacell 220 excell ตันกำเนิดรังสีแกมมาจาก Co-60 ของสำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ โดยติดเครื่องวัดปริมาณรังสี (Dosimeter) ชนิด Radiochromic film ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อหาค่าปริมาณรังสีเฉลี่ยที่สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสได้รับ ตามรายงานผลการวัดปริมาณรังสีในภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 เครื่องฉายรังสีแกมมาจาก Co-60 Gammacell 220 excel สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

3.2 การเตรียมน้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยรังสี

3.2.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.2.1.1 น้ำยางชั้น DRC 60% จากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) มีคุณสมบัติตามภาคผนวก ข

3.2.1.2 สารไวปฏิกิริยา (sensitizer) คือ normal Butyl acrylate (n-BA) Tech. Grade จาก Formosa Co. Ltd.

3.2.1.3 สารรักษาความเสถียรของน้ำยาง (stabilizer) คือ Potassium hydroxide (KOH) AR Grade ของ BDH Chemicals Ltd. Poole England

3.2.1.4 Sodium dodecyl sulfate (SDS) ของ Kanto Chemical co., INC Japan

3.2.1.5 สารเคมีอื่นๆ เช่น Ammonium hydroxide (NH_4OH) AR Grade ของ BDH Chemicals Ltd. Poole England

3.2.1.6 Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar

3.2.1.7 แผ่นแก้วมีขอบขนาด $15 \times 15 \text{ cm}^2$

3.2.1.8 ตะแกรงขนาด 100 เมช

3.2.1.9 น้ำกลั่น

3.2.1.10 ภาชนะบรรจุ

3.2.1.11 ตู้อบลมร้อน

3.2.1.12 เครื่องฉายรังสี BSV-06 ของ Institute of isotope Co., Ltd., Hungary ความแรงรังสี 2.7 kCi ตามภาคผนวก ค

3.2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

การเตรียมน้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยรังสี (Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex, RVNRL) ใช้สูตรตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรที่ใช้ผลิต RVNRL

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

ทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 10 °C (อนิรุทธิ์ สงศรี, 2549) โดยใช้สูตรตามตารางที่ 3.1 มีขั้นตอนดังนี้

3.2.2.1 การเตรียมน้ำยางก่อนฉายรังสี

3.2.2.1.1 ผสมน้ำยางชั้นให้มีเปอร์เซ็นต์ยาง 50% ด้วยสารละลาย NH_3 ความเข้มข้น 1% กวนให้เข้ากันประมาณ 15 นาที

3.2.2.1.2 เติมสารละลาย 10% KOH เพื่อรักษาเสถียรภาพของน้ำยาง กวนน้ำยางประมาณ 15 นาที แล้วค่อยๆ เติมอิมัลชันของสารไวปฏิกิริยา (n-BA) ซึ่งเตรียมโดยการผสม sodium dodecyl sulfate กับ n-BA และน้ำในอัตราส่วน emulsifier: water: n-BA เท่ากับ 1:99:100 ลงทีละน้อยและกวนต่ออีก 1 ชั่วโมง

3.2.2.2 การฉายรังสีน้ำยาง

3.2.2.2.1 บรรจุน้ำยางที่เตรียมเสร็จลงในภาชนะบรรจุแล้วฉายรังสีด้วยเครื่องฉายรังสี BSV – 06 Institute of isotope ต้นกำเนิดรังสีแกมมาจาก Co-60 ความแรงรังสี 2.7 kCi ของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยีปริมาณรังสี 0, 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 kGy ตามลำดับ โดยฉายรังสีที่อุณหภูมิห้อง 32 °C และควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีให้เท่ากับ 10 °C ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ รายงานผลการวัดปริมาณรังสีในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.2 เครื่องฉายรังสีแกมมาจาก BSV – 06 Institute of isotope Co., Ltd., Hungary
ของภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

3.2.2.3 การเตรียมแผ่นฟิล์มทดสอบ

3.2.2.3.1 นำน้ำยางที่ไม่ฉายรังสีและที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณต่างๆ มาชั่งน้ำหนักประมาณ 22 กรัม แล้วเติมสารละลาย 1% NH_3 ให้มีปริมาตร 50 ml กวนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากัน แล้วเทผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ลงบนแผ่นกระจกมีขอบขนาด $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ที่ปรับระดับแล้ว

3.2.2.3.2 ปลอ่ยให้แผ่นฟิล์มแห้ง แล้วนำไปล้างด้วยสารละลาย 1% NH_3 โดยแช่แผ่นฟิล์มไว้ในสารละลายเป็นเวลา 0, 1 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

3.2.2.3.3 นำแผ่นฟิล์มที่ผ่านการล้างตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปดูความชื้นออกด้วยโถดูความชื้น (Desiccator) ที่ต่อกับระบบปั๊มลมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ $70 \text{ }^\circ\text{C}$ นาน 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน ASTM D 412-97 ด้วยเครื่อง LLOYD instrument และวัดค่าการส่องผ่านแสง (%transmittance) ด้วยเครื่อง UV-VIS-NIR spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร (นงคินุช แจ็งสว่าง, 2549)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 ระบบดูความชื้นจากแผ่นฟิล์มยาง



รูปที่ 3.4 เครื่อง UV-VIS-NIR SCANNING SPECTROPHOTOMETER, SHIMADZU TCC 260

3.3 การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใส

3.3.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.3.1.1 น้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

3.3.1.2 สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1.3% ฉายรังสี

3.3.1.3 สารต้านการเสื่อม α -Tocopherol acetate

3.3.1.4 สารเคมีอื่นๆ เช่น Ammonium hydroxide (NH_4OH) AR Grade ของ

BDH Chemicals Ltd. Poole England

3.3.1.5 Magnetic Stirrer และ Magnetic Bar

3.3.1.6 เครื่องปั่นความเร็วสูง (Refrigerated Centrifuge: RC)

3.3.1.7 แผ่นแก้วมีขอบขนาด $15 \times 15 \text{ cm}^2$

3.3.1.8 ตู้อบลมร้อน

3.3.1.9 ตะแกรงขนาด 100 เมช

3.3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.2.1 ทดลองหาปริมาณการเติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับเติมในน้ำยางชั้นธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสี ภาคผนวก ง

3.3.2.1.1 นำน้ำยางชั้นธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีจากข้อ 3.2.2.2.1 มาเจือจางให้มีเปอร์เซ็นต์ยาง 30% ด้วยสารละลาย NH_3 ความเข้มข้น 1%

3.3.2.1.2 เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในข้อ 3.1.2.1 ปริมาณ 1.0, 2.0 และ 3.0 phr กวนไว้ด้วยกันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ในตู้เย็น 1 คืน

3.3.2.1.3 แล้วย่นไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Refrigerated Centrifuge: RC) ที่อุณหภูมิ 10°C ความเร็ว 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที



รูปที่ 3.5 เครื่องปั่นยางด้วยความเร็วสูงและอุณหภูมิต่ำ

3.3.2.1.4 แยกครีมยางออกจากซีรัมจากนั้นเจือจางให้น้ำยางมีความเข้มข้น 60% ครีม ด้วยสารละลาย NH_3 ความเข้มข้น 1%

3.3.2.1.5 ชั่งน้ำหนักประมาณ 22 กรัม แล้วเติมสารละลาย NH_3 ความเข้มข้น 1% ให้มีปริมาตร 50 ml กวนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากันแล้วเทผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ลง

บนแผ่นกระจกมีขอบขนาด $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ที่ปรับระดับแล้ว จากนั้นทำเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2.3.2 และ 3.2.2.3

3.3.2.2 ทดลองหาระยะเวลาในการปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงของน้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณที่เหมาะสมแล้ว เพื่อแยกสารที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber) ออก

3.3.2.2.1 นำน้ำยางจากข้อ 3.3.2.1.2 ที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณที่เหมาะสมแล้วไปปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Refrigerated Centrifuge: RC) ที่อุณหภูมิ 10°C ความเร็ว 8000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 และ 45 นาที

3.3.2.2.2 ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1.4 และ 3.3.2.1.5

3.3.2.3 ทดลองหาปริมาณการเติมสารต้านการเสื่อม α -Tocopherol acetate เพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลหลังปมเร่ง

3.3.2.3.1 นำน้ำยางจากข้อ 3.3.2.2.1 ที่ผ่านการปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงตามระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว แยกส่วนที่เป็นครีมออกจากซีรัม เจือจางให้มีความเข้มข้น 60% ครีม ด้วยสารละลาย NH_3 ความเข้มข้น 1% แล้วเติมอิมัลชันของ α -Tocopherol acetate ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 phr เตรียมอิมัลชันโดยการผสม sodium dodecyl sulfate กับ α -Tocopherol acetate และน้ำในอัตราส่วน emulsifier: water: α -Tocopherol acetate เท่ากับ 5: 95:100 จากนั้นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.2.3.2 แล้วทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.1.4 และ 3.3.2.1.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี โดยมีตัวแปรที่สนใจศึกษา คือ

1. เงื่อนไขการเติมสารตัวเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
2. เงื่อนไขการบ่มด้วยเครื่องบ่มได้แก่ ค่า g และระยะเวลาที่เหมาะสมในการบ่ม
3. ปริมาณสารต้านการเสื่อม α - Tocopherol acetate เพื่อให้คุณสมบัติเชิงกลหลังบ่ม
เร่งของผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐาน เช่น มาตรฐานถุงมือผ่าตัด เป็นต้น
4. ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลก่อนและหลังการบ่มเร่ง (accelerated aging)

ผลการทดลองที่ได้จากการทำวิจัย มีดังนี้

4.1 การทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ

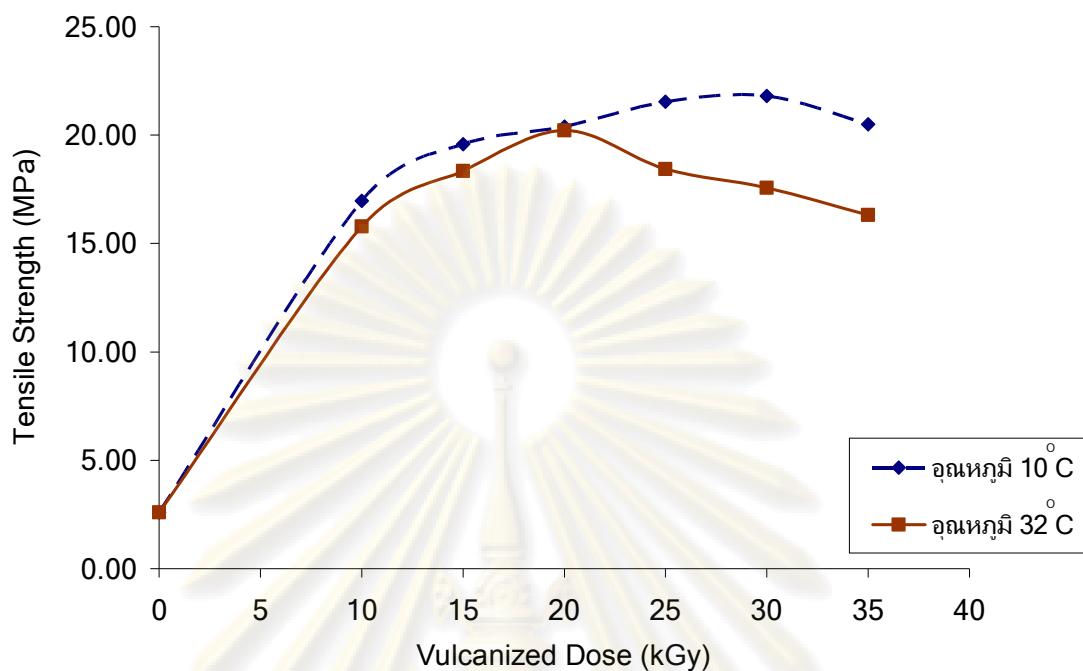
4.1.1 ผลการหาทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง 32°C และที่อุณหภูมิต่ำ 10°C

สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง (Tensile Strength) และความยืดเมื่อขาด (Elongation at Break) ของน้ำยางชั้นธรรมชาติที่มีคุณสมบัติแสดงไว้ในภาคผนวก ข

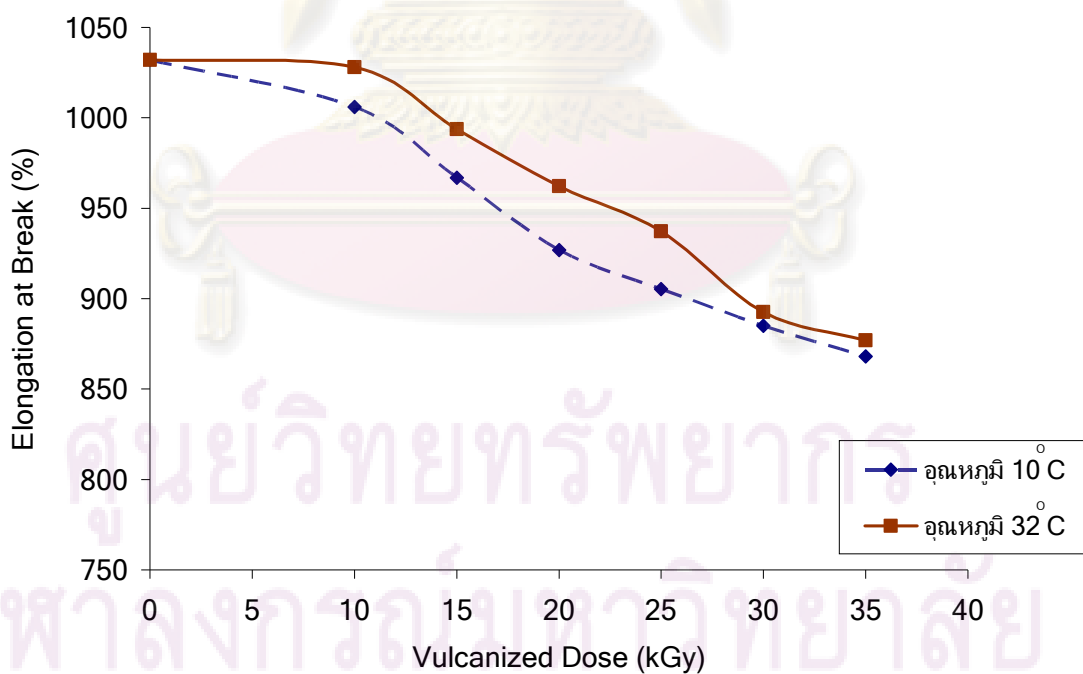
ตารางที่ 4.1 สมบัติความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดที่ปริมาณรังสีต่างๆ ก่อนทำการล้าง (leaching)

Dose (kGy) (Dose rate 1.9 kGy/hr)	Tensile Strength (MPa)		Elongation at Break (%)	
	32°C	10°C	32°C	10°C
0	2.60	2.60	1032	1032
10	15.79	16.96	1028	1006
15	18.35	19.58	993.7	966.8
20	20.22	20.40	962.1	926.9
25	18.44	21.54	937.3	905.3
30	17.56	21.81	892.6	884.9
35	16.32	20.50	876.9	868.1

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)



รูปที่ 4.1 สมบัติความต้านแรงดึงที่ปริมาณรังสีต่างๆ ของน้ำยางชั้นธรรมชาติฉายรังสี ที่อุณหภูมิห้อง 32 °C และที่อุณหภูมิ 10 °C



รูปที่ 4.2 สมบัติความยืดเมื่อขาดที่ปริมาณรังสีต่างๆ ของน้ำยางชั้นธรรมชาติฉายรังสี ที่อุณหภูมิห้อง 32 °C และที่อุณหภูมิ 10 °C

จากตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความยืดเมื่อขาดที่ปริมาณรังสีต่างๆ ของน้ำยางธรรมชาติ พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสี และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณรังสีค่าหนึ่งจากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น โดยน้ำยางชั้นธรรมชาติที่ฉายรังสีที่อุณหภูมิห้อง 32°C และที่อุณหภูมิ 10°C จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 20.22 MPa ที่ปริมาณรังสี 20 kGy และ 21.81 MPa ที่ปริมาณรังสี 30 kGy ตามลำดับ สำหรับค่าความยืดเมื่อขาดจะลดลงเมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น

4.1.2 ผลการทดสอบหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการล้างฟิล์มแบบ dry film leaching

ฟิล์มยางเตรียมจากน้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีที่ปริมาณรังสี 30 kGy โดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีที่ 10°C

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบสมบัติความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดเมื่อใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1% ล้างที่ระยะเวลาต่างๆ และอบที่ 70°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

Leaching time (hr)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
0	21.81	896.2
1	22.86	934.8
24	22.73	922.6

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการล้างฟิล์มแบบ dry film leaching ด้วยสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1% มีผลให้สมบัติความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้น โดยการล้างฟิล์ม 1 ชั่วโมงทำให้ฟิล์มมีความต้านแรงดึงและความยืดเมื่อขาดสูงกว่าการล้างฟิล์ม 24 ชั่วโมงเล็กน้อย การล้างฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางชั้นวัลคาไนซ์ด้วยรังสี จึงมีความจำเป็นเพื่อล้างส่วนที่ไม่ใช่ยางออกให้หมด เพื่อให้เนื้อยางผสานติดกันเมื่ออบ

4.2 การทดสอบหาเงื่อนไขการเติมสารตัวเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

4.2.1 ผลการทดสอบหาปริมาณของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เหมาะสมเพื่อเติมในน้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

ฟิล์มยางเตรียมจากน้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีที่ปริมาณรังสี 30 kGy โดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีที่ 10°C ระยะเวลาในการปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ

8,000 rpm โดยใช้แรงเหวี่ยง 12,500 g เป็นเวลา 60 นาที เต็มสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3, 4 และ 5 kGy

ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลและความใสของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3 kGy

คุณสมบัติ	ปริมาณสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (phr)			
	0	1	2	3
สมบัติเชิงกล				
- ความต้านแรงดึง (MPa)	24.23	24.12	24.06	23.02
- ความยืดเมื่อขาด (%)	923.7	910.2	899.7	845.3
ความใส				
- ค่าการส่องผ่านแสง (%) (ความยาวคลื่น 330 nm)	17.58	27.99	37.07	36.56

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.4 สมบัติเชิงกลและความใสของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 4 kGy

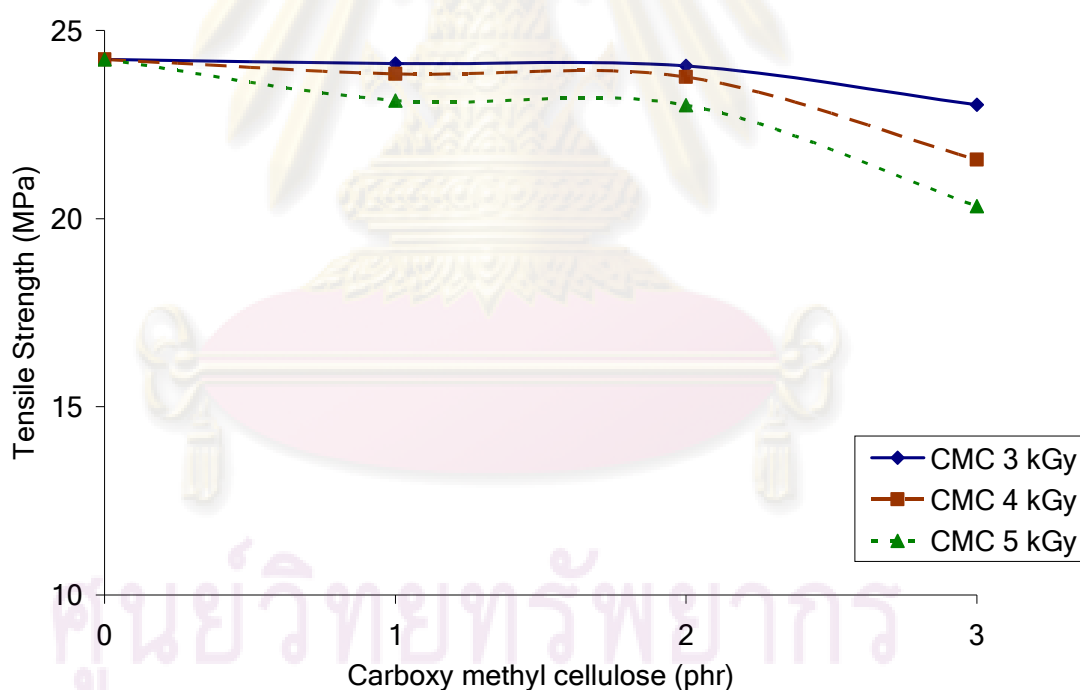
คุณสมบัติ	ปริมาณสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (phr)			
	0	1	2	3
สมบัติเชิงกล				
- ความต้านแรงดึง (MPa)	24.23	23.85	23.76	21.57
- ความยืดเมื่อขาด (%)	923.7	901.6	892.3	822.7
ความใส				
- ค่าการส่องผ่านแสง (%) (ความยาวคลื่น 330 nm)	17.58	28.58	37.15	36.73

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

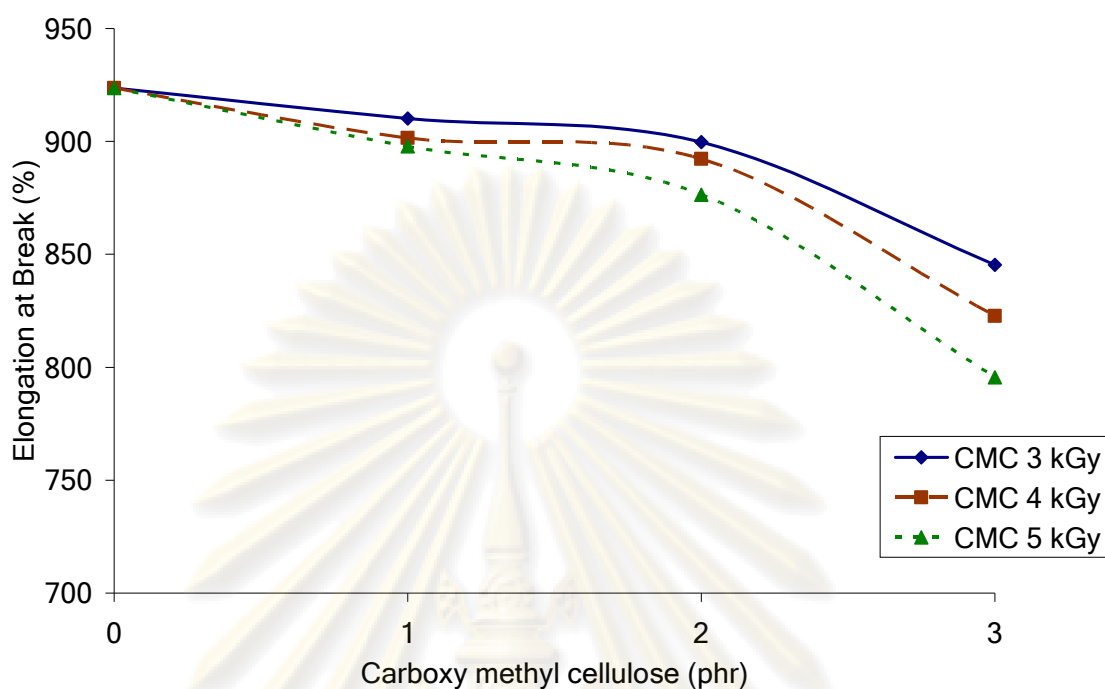
ตารางที่ 4.6 สมบัติเชิงกลและความใสของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ปริมาณต่างๆที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 5 kGy

คุณสมบัติ	ปริมาณสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (phr)			
	0	1	2	3
สมบัติเชิงกล				
- ความต้านแรงดึง (MPa)	24.23	23.14	23.01	20.33
- ความยืดเมื่อขาด (%)	923.7	897.9	876.4	795.6
ความใส				
- ค่าการส่องผ่านแสง (%) (ความยาวคลื่น 330 nm)	17.58	24.32	25.82	25.06

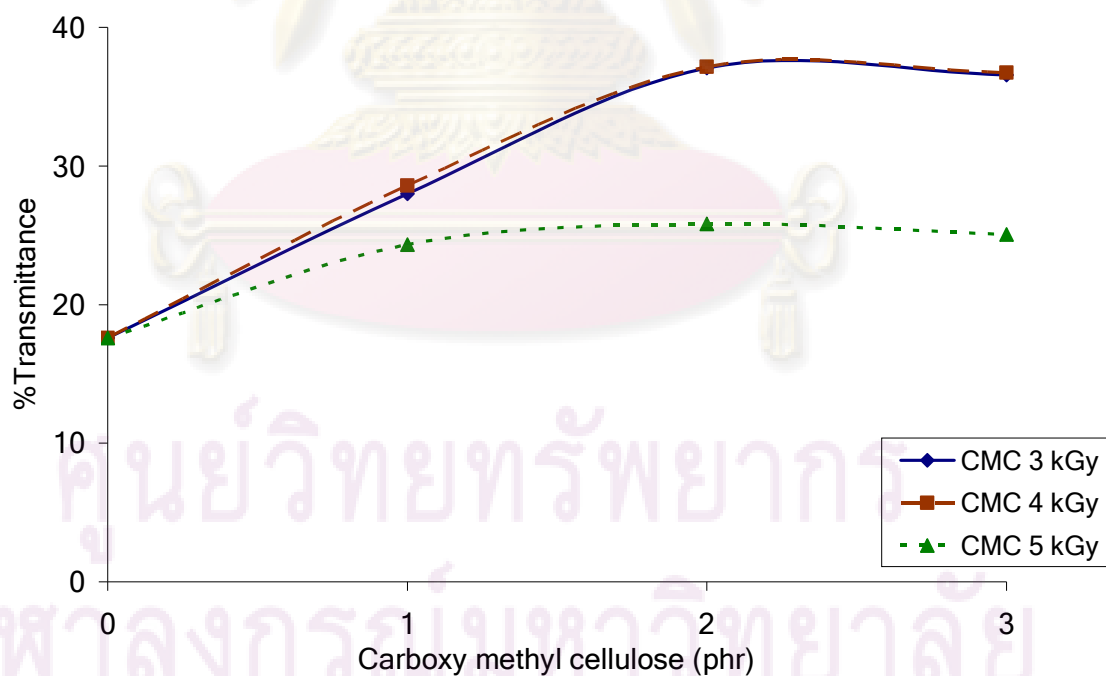
(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)



รูปที่ 4.3 สมบัติความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3, 4 และ 5 kGy



รูปที่ 4.4 สมบัติความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3, 4 และ 5 kGy



รูปที่ 4.5 ค่าการส่องผ่านแสง (%transmittance) ของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณต่างๆ ที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3, 4 และ 5 kGy

จากผลการทดลองพบว่า พิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณ 2 phr ที่ผ่านการฉายรังสี 3 และ 4 kGy มีค่าการส่องผ่านแสง (%transmittance) ที่ความยาวคลื่น 330 nm สูงสุดคือ 37.07 และ 37.15 ตามลำดับ และจากการนำฟิล์มยางไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ค่าความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณ 2 phr ที่ผ่านการฉายรังสี 3 และ 4 kGy มีค่า 24.06 และ 23.76 MPa ตามลำดับ และเนื่องจากค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มยางมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไม่ถึง 1% คือ ฟิล์มยางที่ได้มีความใสต่างกันน้อยมาก แต่ฟิล์มยางที่เติมสารละลายคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสปริมาณ 2 phr ที่ผ่านการฉายรังสี 3 kGy ให้ค่าความต้านแรงดึงสูงกว่า เส้นใยดังกล่าวจึงเป็นเส้นใยที่ดีที่สุด

4.2.2 ผลการทดลองหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปั่นแยกส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber) ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงออกจากรubber น้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์รังสี

น้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีที่ปริมาณรังสี 30 kGy โดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีที่ 10 °C เติมสารละลายคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลสที่ผ่านการฉายรังสีปริมาณรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr ปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วรอบ 8,000 rpm โดยใช้แรงเหวี่ยง 12,500 g ระยะเวลาในการปั่น 30, 45 และ 60 นาที

ตารางที่ 4.6 สมบัติความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่ไม่ได้เติมสารต้านการเสื่อมก่อนและหลังปมเร่งที่ระยะเวลาในการปั่นต่างๆ

Centrifuged Time (min)	Tensile Strength (MPa)		
	Before aging	After aging	% Change
30	23.78	18.96	- 20.26
45	23.94	19.07	- 20.34
60	24.06	19.18	- 20.28

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.7 สมบัติความยืดเมื่อขาดของฟิล์มยางที่ไม่ได้เติมสารต้านการเสื่อมก่อนและหลังป่นแร่
ที่ระยะเวลาในการปั่นต่างๆ

Centrifuged Time (min)	Elongation at Break (%)		
	Before aging	After aging	% Change
30	904.2	664.1	- 26.55
45	900.8	661.6	- 26.55
60	899.7	660.9	- 26.54

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.8 ค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มยางที่ไม่ได้เติมสารต้านการเสื่อมก่อนและหลังป่นแร่
ที่ระยะเวลาในการปั่นต่างๆ

Centrifuged Time (min)	%Transmittance		
	Before aging	After aging	% Change
30	34.51	29.78	- 13.71
45	36.14	31.40	- 13.12
60	37.07	32.43	- 12.52

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

จากตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 พบว่าฟิล์มยางที่ผ่านการปั่นด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 60 นาที ให้ค่าการส่องผ่านแสง (%transmittance) ของฟิล์มยางสูงกว่าการปั่นที่เวลา 30 และ 45 นาที แสดงว่าฟิล์มยางที่ได้มีความใสสูงสุด และเมื่อฟิล์มยางไปป่นแร่ที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน พบว่าฟิล์มยางมีสีคล้ำขึ้น มีค่าการส่องผ่านแสงลดลงจากเดิม 12.52% และเมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ฟิล์มยางที่ผ่านการปั่น 60 นาที ให้ค่าสมบัติเชิงกลสูงกว่าการปั่นที่เวลา 30 และ 45 นาที เล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางที่ผ่านการปั่น 30 และ 60 นาที พบว่ามีค่าต่างกันเพียง 0.28 MPa และค่าความยืดเมื่อขาดต่างกันเพียง 4.5% เมื่อนำฟิล์มที่ได้ไปป่นแร่พบว่า มีสมบัติเชิงกลลดลงโดยมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน คือ ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลงประมาณ 20.3% และค่าการยืดเมื่อขาดลดลงประมาณ 26.5%

4.3 การทดลองหาปริมาณสารต้านการเสื่อม (α -Tocopherol acetate) เพื่อหาคุณสมบัติเชิงกลหลังบ่มเร่ง

ฟิล์มยางเตรียมจากน้ำยางชั้นธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสีที่ปริมาณรังสี 30 kGy โดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีที่ 10 °C เติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผ่านการฉายรังสี ปริมาณรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr บ่มด้วยเครื่องบ่มเหวี่ยงความเร็วรอบ 8,000 rpm โดยใช้แรงเหวี่ยง 12,500 g ระยะเวลาในการบ่ม 60 นาที การบ่มเร่งทำที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน

ตารางที่ 4.9 สมบัติความต้านแรงดึงของฟิล์มยางที่เติม α -Tocopherol acetate ปริมาณต่างๆ ก่อนและหลังบ่มเร่ง

ปริมาณ α -Tocopherol acetate (phr)	Tensile Strength (MPa)		
	Before aging	After aging	% Change
0	24.06	19.18	- 20.28
0.5	22.48	19.49	- 13.30
1.0	22.30	20.44	- 8.34
1.5	21.97	20.38	- 7.24

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.10 สมบัติความยืดเมื่อขาด ของฟิล์มยางที่เติม α -Tocopherol acetate ปริมาณต่างๆ ก่อนและหลังบ่มเร่ง

ปริมาณ α -Tocopherol acetate (phr)	Elongation at Break (%)		
	Before aging	After aging	% Change
0	899.7	660.9	- 26.54
0.5	818.2	733.4	- 10.36
1.0	807.5	771.5	- 4.46
1.5	799.6	782.5	- 2.14

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

ตารางที่ 4.11 ค่าการส่องผ่านแสง (%transmittance) ของฟิล์มยางที่เติม α -Tocopherol acetate ปริมาณต่างๆ ก่อนและหลังบ่มเร่ง

ปริมาณ α -Tocopherol acetate (phr)	%Transmittance		
	Before aging	After aging	% Change
0	37.07	32.43	- 12.52
0.5	35.56	31.92	- 10.24
1.0	34.43	31.04	- 9.85
1.5	32.36	30.13	- 6.89

(การทดลอง 3 ซ้ำ ครั้งละ 5 ตัวอย่าง)

จากตารางเปรียบเทียบฟิล์มยางที่เติม α -Tocopherol acetate ปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5 phr กับฟิล์มยางที่ไม่เติม α -Tocopherol acetate พบว่า การเติม α -Tocopherol acetate ส่งผลให้ฟิล์มยางมีค่าการส่องผ่านแสง (%transmittance) เพิ่มขึ้นและเมื่อนำแผ่นฟิล์มไปทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า การเติม α -Tocopherol acetate ส่งผลให้ฟิล์มยางมีสมบัติเชิงกลลดลงโดยฟิล์มยางที่เติมในปริมาณ 1 phr มีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงจาก 24.06 MPa เป็น 22.30 MPa แต่เมื่อนำฟิล์มยางไปบ่มเร่งพบว่า การเติม α -Tocopherol acetate เป็นสารต้านการเสื่อมทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางก่อนและหลังบ่มเร่งลดลง คือ ค่าความต้านทานแรงดึงลดลงจาก 22.32 MPa เป็น 20.44 MPa ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังบ่มเร่งลดลงเพียง 8.34% จากเดิมที่ไม่เติมสารต้านการเสื่อมมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงถึง 20.28% และสำหรับค่าความยืดเมื่อขาดก็เช่นกันมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงลดลงจาก 26.54% เป็น 4.46% เมื่อเติม α -Tocopherol acetate ปริมาณ 1 phr

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยางส่งผลให้น้ำยางมีลักษณะขุ่นหรือสีเหลือง อีกทั้งปริมาณส่วนประกอบในน้ำยางไม่แน่นอนขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง ฤดูกาลและวิธีการกรีดยาง เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี โดยใช้ น้ำยางชั้นตามมาตรฐาน ISO 1400 มีคุณสมบัติตามภาคผนวก ข

5.1.1 การทดลองหาปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติ

การฉายรังสีส่งผลให้สายโซ่โพลีไอโซพรีนเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking) โดยที่รังสีจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radicals) บนสายโซ่โมเลกุล ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันเกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ส่งผลให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่า การวัลคาไนซ์น้ำยางธรรมชาติด้วยรังสีโดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีที่ 10 °C ทำให้ปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับวัลคาไนซ์มีปริมาณสูงขึ้นจาก 20 kGy เป็น 30 kGy แต่มีผลให้ฟิล์มยางที่ได้มีคุณสมบัติเชิงกลสูงกว่าฟิล์มยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 32 °C โดยเพิ่มขึ้นจาก 20.22 MPa เป็น 21.81 MPa ซึ่งคาดว่า การฉายรังสีที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้สายโซ่เคลื่อนที่ช้าลง ทำให้โมเลกุลยางมีเวลาในการจัดเรียงตัวมากขึ้น เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลมากขึ้น จึงส่งผลให้ฟิล์มยางมีคุณสมบัติเชิงกลสูงขึ้นด้วย และเมื่อล้างฟิล์มยางที่ได้แบบ dry film leaching ด้วยสารละลาย NH₃ ความเข้มข้น 1% จากการทดลองพบว่า การล้างฟิล์มยางเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้สมบัติความต้านแรงดึงของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 21.81 MPa เป็น 22.86 MPa และสมบัติความยืดเมื่อขาดเพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการนำน้ำยางมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มดังรูปที่ 5.1 (ก) จะมีผลให้เกิดการเชื่อมติดกันของอนุภาคยาง โดยบริเวณรอบๆ อนุภาคยางจะมีส่วนที่ไม่ใช่ยางล้อมรอบอยู่ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ จึงคาดว่า การล้างฟิล์มยางส่งผลให้ส่วนที่ไม่ใช่ยางหลุดออกไป ทำให้อนุภาคของยางเชื่อมติดกันได้ดีขึ้น มีผลให้ความทนต่อแรงดึงของฟิล์มสูงขึ้น

5.1.2 การทดลองหาเงื่อนไขการเติมสารตัวเติมคาร์บอนซีเมทิลเซลลูโลส

การปั่นเหวี่ยงเพื่อเอาส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non rubber) ออกมีผลให้ฟิล์มยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น เนื่องจากการมีอยู่ของส่วนที่ไม่ใช่ยางที่รวมอยู่กับอนุภาคยางทำให้เกิดการกีดขวางการเชื่อมติดกันของอนุภาคระหว่างกรขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ส่งผลให้ฟิล์มยางที่ได้มีคุณสมบัติ

เชิงกลต่ำ จากการทดลองเติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ผ่านการฉายรังสี ส่งผลให้ CMC มีขนาดโมเลกุลลดลงค่าหนึ่งซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดโมเลกุลของโปรตีนก่อน ภูมิแพ้ในยาง โดยเติมในน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี กวนทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้โมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสกับส่วนที่ไม่ใช่ยางรวมถึงโปรตีนเกี่ยวพันกัน แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วรอบ 8000 rpm ควบคุมอุณหภูมิขณะปั่นที่ 10 °C โดยใช้แรงเหวี่ยง 12,500 g เป็นเวลา 60 นาที เพื่อให้เกิดการแยกชั้นระหว่างซีรัมกับครีมยาง ซึ่งคาดว่าส่วนที่ไม่ใช่ยางรวมถึงโปรตีนจะออกมาจากอนุภาคยางและละลายรวมอยู่ในซีรัม จากนั้นนำส่วนที่เป็นครีมมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและวัดค่าการส่องผ่านแสง (%transmittance) พบว่า สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ผ่านการฉายรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr ส่งผลให้ฟิล์มยางที่ได้มีค่าความต้านทานการดึง 24.06 MPa และมีค่าการส่องผ่านแสง 37.07 ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ค) และเมื่อทำการทดลองหาระยะเวลาการปั่นด้วยเครื่องปั่นโดยเปรียบเทียบเวลาการปั่นที่ 30, 45 และ 60 นาที พบว่า ค่าการส่องผ่านแสงและค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการปั่นที่เพิ่มขึ้น คาดว่าเนื่องจากการปั่นที่ 60 นาที ทำให้การแยกชั้นระหว่างซีรัมกับครีมยาง เกิดอย่างสมบูรณ์คือ ส่วนที่ไม่ใช่ยางรวมถึงโปรตีนละลายรวมอยู่ในซีรัมทั้งหมด และเนื่องจากค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางต่างกันน้อยมาก โดยเปรียบเทียบระหว่างการปั่นที่ 30 นาที และ 60 นาที พบว่าต่างกันเพียง 0.28 MPa ทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงก่อนและหลังบ่มแรงลดลงใกล้เคียงกันประมาณ 26.5% จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า ระยะเวลาการปั่นไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางอย่างมีนัยสำคัญแต่มีผลต่อค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มยาง

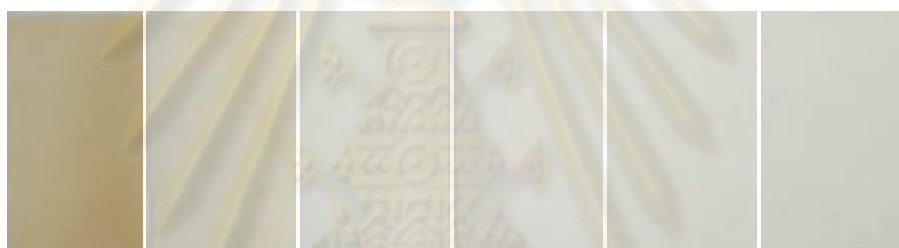
5.1.3 การทดลองหาปริมาณสารต้านการเสื่อม α -Tocopherol acetate ที่เหมาะสม

การบ่มแรงมีผลให้ฟิล์มยางถูกออกซิไดซ์ สายโซ่โมเลกุลถูกทำลายทำให้ความต้านทานแรงดึงและความยืดเมื่อขาดลดลงแต่มีค่า Modulus สูงขึ้น คือ หลังบ่มแรงทำให้ฟิล์มยางแข็งขึ้นส่งผลให้ฟิล์มยืดได้น้อยลง จากการทดลองพบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางลดลงจาก 24.06 MPa เป็น 19.18 MPa หลังการบ่มแรง แต่เมื่อเติม α -Tocopherol acetate เป็นสารต้านการเสื่อม ปริมาณ 1 phr พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงของฟิล์มยางลดลงจาก 22.30 MPa เป็น 20.44 MPa หลังการบ่มแรง และค่าความยืดเมื่อขาดลดลงจาก 807.5% เป็น 771.5% หลังการบ่มแรง ฟิล์มยางที่ได้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานถุงมือตรวจโรค (Examination gloves) ASTM D 3578 แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงมาตรฐานถุงมือตรวจโรค (Examination gloves) ASTM D 3578

คุณสมบัติ	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
ก่อนบ่มเร่ง	> 21 MPa	> 700 %
หลังบ่มเร่ง	> 16 MPa	> 500 %

การเติมสารต้านการเสื่อม α -Tocopherol acetate จึงเป็นการยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ แต่มีผลให้ค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์มยางเพิ่มขึ้นตามปริมาณ α -Tocopherol acetate ที่เติมคือ เมื่อเติมปริมาณมากขึ้นทำให้มีผลให้ฟิล์มยางที่ได้มีความใสลดลง ในที่นี้การเติมสารต้านการเสื่อมปริมาณ 1 phr ส่งผลให้ฟิล์มยางที่ได้มีค่าการส่องผ่านแสงลดลงจาก 37.07 เป็น 34.43 โดยแสดงภาพเปรียบเทียบฟิล์มยางที่ได้จากการทดลองตามเงื่อนไขการเตรียมที่ต่างกันดังรูปที่ 5.1



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

รูปที่ 5.1 แสดงภาพเปรียบเทียบฟิล์มยางเรียงตามลำดับ คือ

- (ก) ฟิล์มยางที่ไม่ผ่านการบ่มด้วยเครื่องบ่มเหวี่ยง
- (ข) ฟิล์มยางที่ผ่านการบ่มเหวี่ยงด้วยเครื่องบ่มเหวี่ยงเป็นเวลา 60 นาที
- (ค) ฟิล์มยางที่เติม CMC ที่ผ่านการฉายรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr และบ่มเป็นเวลา 60 นาที
- (ง) ฟิล์มยางที่เติม CMC ที่ผ่านการฉายรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr บ่มเป็นเวลา 60 นาที และเติม α -Tocopherol acetate ปริมาณ 0.5 phr
- (จ) ฟิล์มยางที่เติม CMC ที่ผ่านการฉายรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr บ่มเป็นเวลา 60 นาที และเติม α -Tocopherol acetate ปริมาณ 1 phr
- (ฉ) ฟิล์มยางที่เติม CMC ที่ผ่านการฉายรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr บ่มเป็นเวลา 60 นาที และเติม α -Tocopherol acetate ปริมาณ 1.5 phr

5.1.4 การทดลองเตรียมฟิล์มที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับการเตรียมฟิล์มที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี คือ เตรียมน้ำยางชั้นธรรมชาติตามสูตรการเตรียมน้ำยางสำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยรังสี แล้วนำไปฉายรังสีที่ปริมาณรังสีที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์คือ 30 kGy โดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีที่ 10 °C จากนั้นนำน้ำยางชั้น พรีวัลคาไนซ์ด้วยรังสีมาเจือจางให้มีความเข้มข้น 30%DRC ด้วยสารละลาย NH_3 ความเข้มข้น 1% แล้วเติมสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 1.3% ที่ผ่านการฉายรังสี 3 kGy ปริมาณ 2 phr กวนทิ้งไว้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วรอบ 8000 rpm ควบคุมอุณหภูมิขณะปั่นที่ 10 °C โดยใช้แรงเหวี่ยง 12,500 g เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นแยกส่วนที่เป็นครีมนอกจากซีรัมแล้วนำมาเจือจางด้วยสารละลาย NH_3 ความเข้มข้น 1% ให้มีความเข้มข้น 60%ครีม แล้วจึงเติมสารละลาย α -Tocopherol acetate ปริมาณ 1 phr กวนให้เข้ากันแล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาหาสารด้านการเชื่อมที่เป็น oily liquid ที่ดีกว่า α -Tocopherol acetate ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติก่อนและหลังบ่มเร่งดีขึ้นกว่าในการทดลองนี้

5.2.2 สาร emulsifier ควรเลือกใช้สารอินทรีย์ เช่น Triton-x 100 เพื่อลดสารอนินทรีย์ เช่น Sodium dodecyl sulfate (SDS) ตามการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งอาจคงค้างอยู่ทำให้ฟิล์มยางขุ่นและมีคุณสมบัติเป็น emulsifier ไม่ดีเท่าสารอินทรีย์

5.2.3 เงื่อนไขต่างๆ ที่ได้จากการทดลองเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับน้ำยางที่มีคุณสมบัติตามภาคผนวก ข เท่านั้น ดังนั้นเมื่อต้องการนำไปใช้กับน้ำยางแหล่งอื่นที่มีคุณสมบัติต่างจากที่ระบุไว้ ควรทำการทดลองหาเงื่อนไขต่างๆ ข้างต้นใหม่ เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับน้ำยางนั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ชยากริต ศิริอุปลัตม์ภัก และ จริญญา บุญญวัฒน์. การศึกษาการเตรียมน้ำยางชั้นธรรมชาติที่มีโปรตีน
ก่อนรมิแพ้ต่ำโดยวิธีการฉายรังสีแกมมา. รายงานการประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นิวเคลียร์ครั้งที่ 10 BITEC กรุงเทพฯ, 2550.
- จิตติมา ภัฏญานิติ. การปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มยางที่ได้จากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วย
รังสีโดยการเติมซิลิกา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- นงคินุช แจ้งสว่าง. การย่อยสลายเพ็คตินจากฐานดอกทานตะวัน โดยใช้รังสีแกมมาเพื่อเป็นสารลด
ปริมาณโปรตีนก่อนรมิแพ้ในน้ำยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชา
นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- วรารภรณ์ ขจรไชยกูล. ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2549.
- ศรัญญา ตุกชูแสง. โปรตีนก่อนรมิแพ้ในถุงมือยาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาจุล
ชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548.
- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี. น้ำยางสด. วารสารยางและพอลิเมอร์ . 1, 2 (เมษายน-มิถุนายน 2540)
: 15.
- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2550 และแนวโน้มปี 2551.
กระทรวงอุตสาหกรรม: Available from <http://www.oie.go.th/index.asp>, 2007.
- อนิรุทธิ์ ส่งศรี. การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของฟิล์มยางจากน้ำยางธรรมชาติพรีวัลคาไนซ์ด้วย
รังสีโดยการควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชา
นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- อาริยา มาลากาญจน์. การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการวัลคาไนซ์เซชันของยางธรรมชาติคอม
เปาวด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2548.
- ภาษาอังกฤษ
- Abad ,L.V., Rellve ,L.S., Aranilla ,C.T., Aliganga ,A.K., San Diego ,C.M. and dela Rosa
,A.M. Natural antioxidants for radiation vulcanization of natural rubber latex.
Polymer Degradation and Stability 76(2002): 275-279.

- Alinius ,H., Turjanmaa ,S.K., Palosuo ,T. and Reanala ,T. Allergen and protein content of latex gloves. Annals of Allergy 73(1994a): 315-320.
- Ballew Kinnaman. A Brief Natural History of Latex Rubber Allergy [online]: Available from <http://www.Immune.Com/rubber/nr1.html>, 1997.
- Duelerc F. Parra, Carlos Felipe Pinto Martins, Hugo D.C. Collantes and Ademar B. Lugao. Extractable protein from field radiation vulcanized natural rubber latex. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 236(2005): 508-512
- Gordon L. Sussman, Donald H. Beezhold and Viswanath P. Kurup. Allergens and natural rubber proteins. J Allergy Clin Immunol 110(2002) : 2.
- Makuuchi ,K. An Introduction to Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex. Bangkok, 2003.
- Martin Chaplin. Carboxymethyl cellulose. PhD. Martin Chaplin : Available from <http://www.lsbu.ac.uk/water/hycmc.html>, 2008.
- Radoslow A. Wach, Hisaaki Kudoh, Maolin Zhai, Naotsugu Nagasawa, Yusa Muroya, Fumio Yoshii and Yosuke Katsumura. Radiation crosslinking of carboxymethyl cellulose of various degree of substitution at high concentration in aqueous solution at high concentration in aqueous solutions of natural pH. Radiation Physics and Chemistry 68(2003): 771-779.
- Sabharwal ,S., Das ,T.N., Chaudhari ,C.V., Bhardwaj ,Y.K. and Majali A.B. Mechanism of n-butyl acrylate sensitization action in radiation vulcanization of natural rubber latex. Radiation Physics and Chemistry 51(1998): 309-315.
- Sizue O. Rogero, Ademar B. Lugao, Fumio Yoshii and Keizo Makuuchi. Extractable proteins from irradiated field natural rubber latex. Radiation Physics and Chemistry 67(2003): 501-503.
- Steve Cook. Molecules. PhD. Steve Cook: Available from <http://www.steve.gb.com/images/molecules/sugars/cellulose.png> and <http://www.steve.gb.com/images/molecules/sugars/carboxymethylcellulose.png> , 2002.
- Yeang ,H.Y., Arif ,S.A.M., Yusof ,F. and Sunderasan ,E. Allergenic proteins of natural rubber latex. Methods 27(2002): 32-45.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
รายงานผลการวัดปริมาณรังสี
(การกระจายของปริมาณรังสี)

ชื่อโครงการ การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

ผู้ชองาน/หน่วยงาน นางสาวพิไลพร หนูทองคำ (นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี)

ชนิดของเครื่องฉายรังสี Gammacell220excel

ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี Film

ผลิตภัณฑ์ที่ฉายรังสี

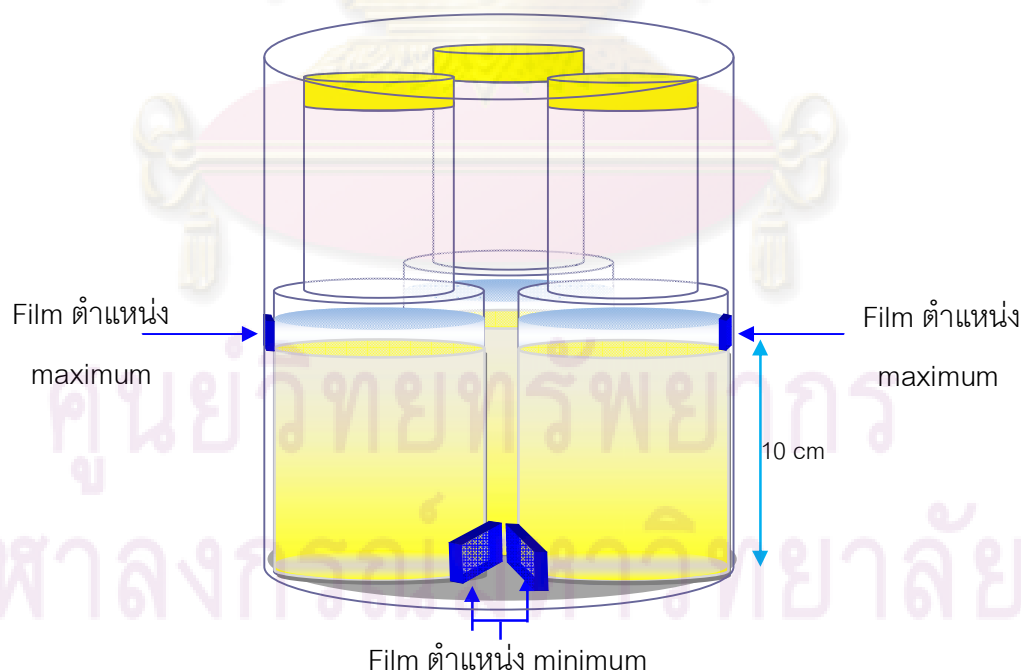
ชื่อผลิตภัณฑ์ สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1.3 %

ภาชนะบรรจุ ขวดแก้วขนาด 250 ml

ลักษณะผลิตภัณฑ์ สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสบรรจุอยู่ในขวดแก้วปริมาตร 150 ml

รายละเอียดการฉายรังสี

สารละลายที่นำมาฉายคือ สารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยบรรจุอยู่ในขวด ติด Dosimeter ที่ตำแหน่ง minimum (ล่างด้านใน) และ maximum (บนด้านนอก) ดังรูป ปริมาณรังสีที่ต้องการคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 kGy ใช้ Film เป็น Dosimeter



รูปแสดงการวางตัวอย่างสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในภาชนะฉายรังสีและการติดเครื่องวัดปริมาณรังสี

ผลการวัดปริมาณรังสี

Required Dose(kGy)	Position of Dosimeter	Actual Dose (kGy)	Average Dose (kGy)
1	Min	0.72	0.96
	Max	1.19	
2	Min	1.30	1.84
	Max	2.38	
3	Min	2.58	2.59
	Max	2.60	
4	Min	3.36	3.47
	Max	3.58	
5	Min	3.20	4.50
	Max	5.79	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานผลการวัดปริมาณรังสี
(การกระจายของปริมาณรังสี)

ชื่อโครงการ การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

ผู้ขอวัดปริมาณรังสี นางสาวพิไลพร หนูทองคำ (นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเคมีเทคโนโลยี)

เครื่องฉายรังสี Gammacell 220 excell

ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี Red perspex

ผลิตภัณฑ์ที่ฉายรังสี

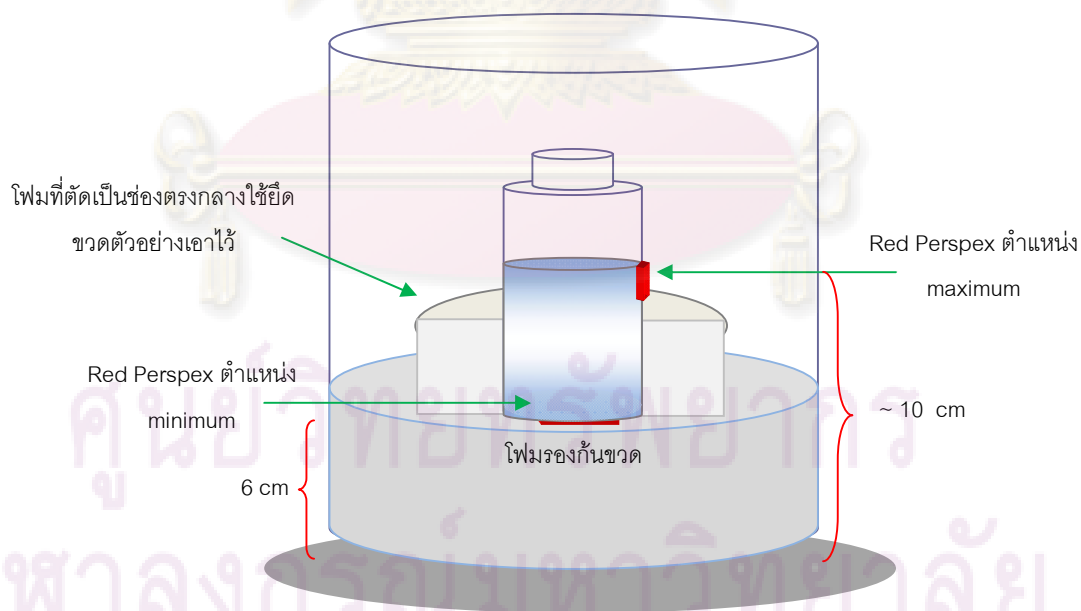
ชื่อผลิตภัณฑ์ น้ำยางธรรมชาติ 50 %

ภาชนะบรรจุ ขวดแก้วขนาด 100 ml

ลักษณะผลิตภัณฑ์ น้ำยางธรรมชาติบรรจุอยู่ในขวดแก้วปริมาตร 50 ml

รายละเอียดการฉายรังสี

น้ำยางธรรมชาติบรรจุในขวดแก้วปริมาตร 50 ml วางในกระบอกอลูมิเนียมมีฐานที่รองกันด้วยโฟมหนา 6 cm เวลาในการฉายนาน 50.5 นาที ติด Dosimeter (Red Perspex) ที่ตำแหน่ง maximum และ minimum ดังรูป



รูปแสดงการวางตัวอย่างน้ำยางในภาชนะฉายรังสีและการติดเครื่องวัดปริมาณรังสี

ผลการวัดปริมาณรังสี

Required Dose (kGy)	Position of Dosimeter	Actual Dose (kGy)	Average Dose (kGy)
10	Min	9.74	10.09
	Max	10.45	
15	Min	14.96	15.70
	Max	16.45	
20	Min	20.71	21.73
	Max	22.75	
25	Min	24.77	25.63
	Max	26.49	
30	Min	28.43	29.08
	Max	29.74	
35	Min	34.32	34.98
	Max	35.63	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานผลการวัดปริมาณรังสี
(การกระจายของปริมาณรังสี)

ชื่อโครงการ การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

(ฉายน้ำยางโดยควบคุมอุณหภูมิขณะฉายรังสีเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส)

ผู้ของาน/หน่วยงาน นางสาวพิไลพร หนูทองคำ (นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี)

ชนิดของเครื่องฉายรังสี Gammacell220excel

ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี Red Perspex

ผลิตภัณฑ์ที่ฉายรังสี

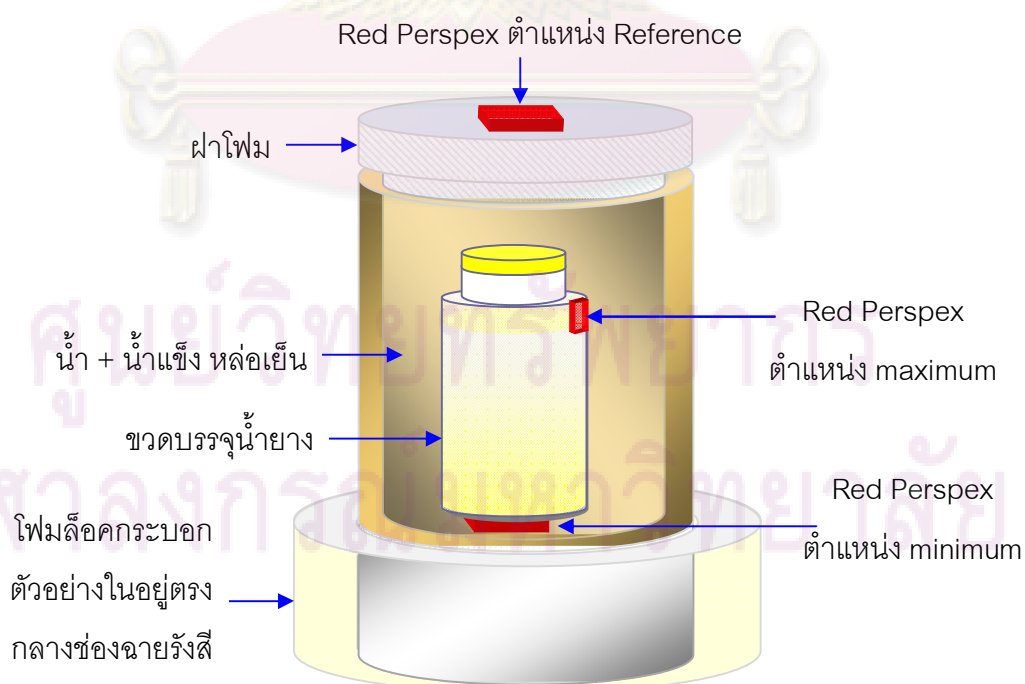
ชื่อผลิตภัณฑ์ น้ำยางธรรมชาติ 50 %

ภาชนะบรรจุ กระบอกควบคุมความเย็น (Dewar)

ลักษณะผลิตภัณฑ์ น้ำยางธรรมชาติบรรจุอยู่ในขวดแก้วปริมาตร 120 ml

รายละเอียดการฉายรังสี

ตัวอย่างคือ น้ำยางบรรจุขวด ขนาด 120 ml บรรจุอยู่ในกระบอกควบคุมความเย็น (Dewar) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm ใส่น้ำแข็งผสมน้ำเพื่อหล่อเย็นปิดฝาด้วยโฟม mapping โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ติด Dosimeter (Red Perspex) ที่ตำแหน่ง min ,max และ Reference ดังรูป



รูปแสดงการวางตัวอย่างน้ำยางในภาชนะฉายรังสีและการติดเครื่องวัดปริมาณรังสี

ผลการวัดปริมาณรังสี

Required Dose (kGy)	Position of Dosimeter	Actual Dose (kGy)
30	Reference	30.81



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงานผลการวัดปริมาณรังสี
(การกระจายของปริมาณรังสี)

ชื่อโครงการ การเตรียมฟิล์มยางที่มีความใสจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ด้วยรังสี

ผู้ขอวัดปริมาณรังสี พิไลพร หนูทองคำ (นักศึกษาปริญญาโท นิวเคลียร์เทคโนโลยี)

เครื่องฉายรังสี เครื่องฉายรังสีแกมมา โคบอลต์-60 ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชนิดของเครื่องวัดปริมาณรังสี Film

ผลิตภัณฑ์ที่ฉายรังสี

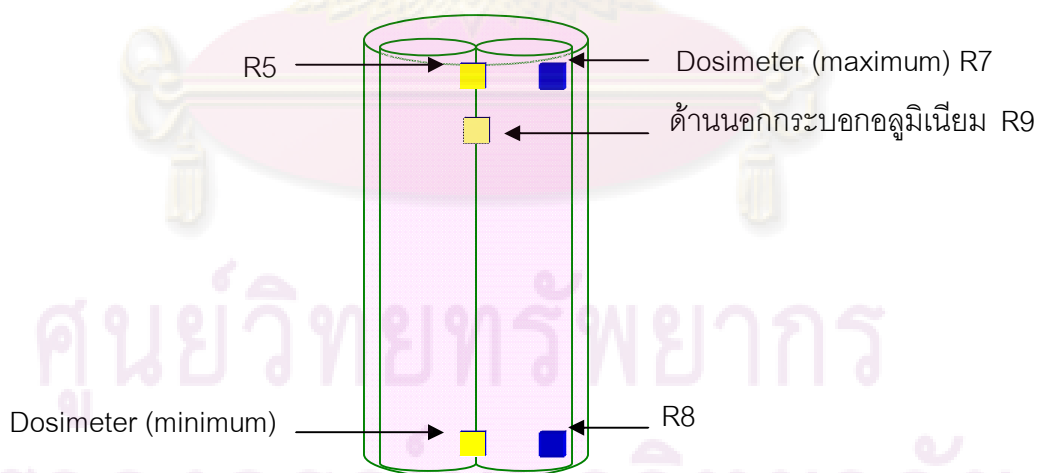
ชื่อผลิตภัณฑ์ น้ำยางข้น

ภาชนะบรรจุ อลูมิเนียมทรงกระบอกขนาด 300 ml

ลักษณะผลิตภัณฑ์ น้ำยางข้นในกระบอกอลูมิเนียมบรรจุลงในกระบอกพลาสติกซึ่งภายใน
บรรจุน้ำ

รายละเอียดการฉายรังสี

บรรจุน้ำขึ้นในถุงพลาสติก 2 ถุงขนาด 150 ml แล้วบรรจุในกระบอกอลูมิเนียมปริมาตร
300 ml ติด dosimeter ที่ตำแหน่ง maximum, minimum และด้านนอกกระบอกอลูมิเนียม



รูปแสดงการวางตัวอย่างน้ำยางในภาชนะฉายรังสีและการติดเครื่องวัดปริมาณรังสี

ผลการวัดปริมาณรังสี

Required dose (kGy)	Code of Dosimeter	Actual Dose (kGy)	Total
2	R5	1.60	1.9
	R6	2.18	
	R7	1.67	
	R8	2.16	
	R9	4.15	4.15



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รายละเอียดของน้ำยางชั้นธรรมชาติจากบริษัทไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์ (ประเทศไทย) จำกัด
(มหาชน)

CERTIFICATE OF ANALYSIS

Sample Lot No.	:	H1002HAT8	
Tape of Latex	:	High Ammonia	
Date of Production	:	17/10/2006	
Date of Test	:	4/12/2006	
Properties		Test Result	Thaitex spec.
Total Solid Content %by weight		61.46	61.5 Min
Dry Rubber Content %by weight		60.02	60.0 Min
Non Rubber Solids %		1.44	2.0 Min
Ammonia Content (total weight %)		0.77	0.70-0.72
Ammonia Content (water phase %)		1.85	
pH Value		10.77	
KOH Number		0.5329	0.65 Max
Volatile Fatty Acid number		0.0245	0.025 Max
Mechanical Stability Time at 55% T.S.C. in seconds 878 on 6/12/2006		650 Min	
Specific Gravity at 25 C °		0.9447	
CST. (mt)		1.9	3.5 Max
Magnesium Content (on solid), ppm		0	30 ⁺ / ₋ 10
Viscosity (60% TS. Spindle no. 1.60 rpm) cps		65.8	100 Max
Coagulum Content, ppm (80 mesh)		24	100 Max

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

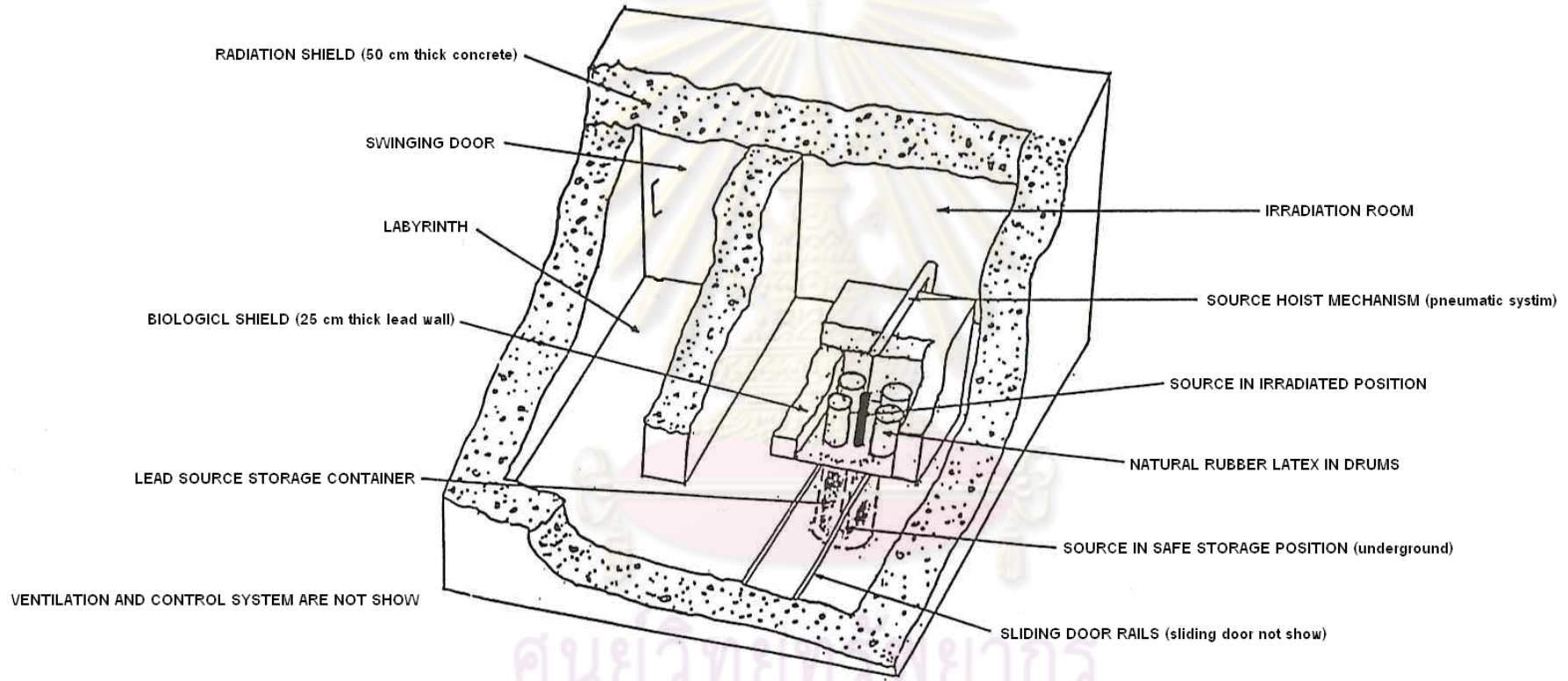
เครื่องฉายรังสีน้ำยาง BSV-06 (Latex Irradiator BSV-60)

เครื่องฉายรังสีน้ำยางต้นกำเนิดรังสีแกมมาจาก Co-60 ปัจจุบัน (มิ.ย.2551) มีความแรงแรงรังสี 2.7 kCi ของ Institute of isotope Co., Ltd., Hungary ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้นกำเนิดรังสี Co-60 ถูกเก็บใต้พื้นคอนกรีตภายในห้องฉายรังสีผนังหนา 50 cm โดยมีห้องตะกั่วหนา 25 cm ปริมาตรภายใน 1 m³ ตั้งอยู่ด้านบนที่เก็บต้นกำเนิดรังสีอีกชั้นหนึ่งภายในห้องตะกั่วมีท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm ต่อกับที่เก็บต้นกำเนิดรังสีเพื่อให้ต้นกำเนิดรังสีเลื่อนขึ้นได้ การเลื่อนต้นกำเนิดรังสีขึ้น - ลงและการเปิด - ปิดประตูตะกั่วใช้นั้ใช้ระบบลมอัด (pneumatic system) ส่วนการทำงานของเครื่องกำเนิดรังสีควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ การเปิดปิดเครื่องต้องใช้ password เหตุการณ์ทุกอย่างจะถูกบันทึกใน CPU โดยแสดงเหตุการณ์สุดท้าย 5 เหตุการณ์ที่หน้าจอ มีระบบรักษาความปลอดภัยหลายส่วนประกอบด้วย เครื่องวัดกัมมันตรังสี 2 เครื่องติดที่ผนังห้องและที่ผนังห้องตะกั่ว มีสวิตช์ 2 ตัวที่ประตูตะกั่วและประตูห้องฉายรังสี เครื่องวัดแรงดันลมและเครื่องวัดไฟตก (electrical failure monitor) เมื่อมีความผิดปกติในส่วนใดส่วนหนึ่งจะไม่สามารถใช้งานเครื่องฉายรังสีได้แม้กระทั่งเกิดความผิดปกติขึ้นขณะฉายรังสีก็ตาม ต้นกำเนิดรังสีจะตกลงสู่ที่เก็บโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีปุ่ม Emergency 3 ปุ่ม อยู่ในห้องฉายรังสีสองปุ่มและอีกหนึ่งปุ่มอยู่ที่เครื่องควบคุมการฉายรังสี (control console) ถ้าเกิดความผิดปกติขึ้นระหว่างการฉายรังสีก็จะมีสัญญาณเสียงและสัญญาณไฟเตือนขึ้น ซึ่งตั้งอยู่นอกห้องฉายรังสี อากาศภายในห้องฉายรังสีจะมีเครื่องสูบลมอากาศออก (air blower) อัตโนมัติ 15 นาทีทุก ๆ 2 ชั่วโมง หรือสามารถเปิดสวิตช์เองก่อนเปิดประตูตะกั่วก่อนเข้าห้องฉายรังสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Dry Storage Natural Rubber Latex Irradiator



เครื่องฉายรังสีน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์
 ติดตั้งที่อาคารปฏิบัติการรังสีสูง ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การศึกษาการเตรียมน้ำยางชั้นธรรมชาติที่มีโปรตีนก่อภูมิแพ้ต่ำโดยวิธีฉายรังสีแกมมา

รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์

รองศาสตราจารย์ ดร.จริยา บุญญวัฒน์

ตารางที่ 8 ผลการทดลองย่อยสลายสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสความเข้มข้น 1.7% ด้วยรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีต่างๆ

ชนิดของสารละลาย อนุพันธ์เซลลูโลส (1.7%)	Mv (kDa)					
	0.5 kGy	1.0 kGy	2.0 kGy	3.0 kGy	4.0 kGy	5.0 kGy
CMC	135	110	62	18	16	14

การฉายรังสีสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสทำให้เกิดการแตกหักระหว่างโมเลกุลเซลลูโลสที่พันธะไกลโคซิดิกโดยปฏิกิริยาเป็นแบบสุ่มซึ่งส่งผลให้โมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีขนาดลดลง จากผลการทดลองในตาราง คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่ใช้มีน้ำหนักโมเลกุลเริ่มต้นขนาด > 800 kDa หลังผ่านการฉายรังสีแล้ววัดขนาดโมเลกุลของสารละลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโดยวิธี Dilute Solution Viscosity

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวไพไลพร หนูทองคำ เกิดวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ.2527 ที่จังหวัดยะลา จบการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย