

การผลิตยางธรรมชาติความหนืดคงที่โดยกระบวนการยับยั้งการเกิดเจล



นางสาวพัชรา อินทแสง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PRODUCTION OF CONSTANT VISCOSITY NATURAL RUBBER BY INHIBIT GEL FORMATION
PROCESS

Miss Patchara Inthasang



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตยางธรรมชาติความหนืดคงที่โดยกระบวนการยับยั้งการเกิดเจล
โดย	นางสาวพัชรา อินทะแสง
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ ทารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรธน์ ประศาสน์สารกิจ)
.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ)
.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มงคล สุขวัฒน์นาสินีทธิ์)
.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุรพิชญ์ ลอยกุลนันท์)

พัชรา อินทะแสง : การผลิตยางธรรมชาติความหนืดคงที่โดยกระบวนการยับยั้งการเกิดเจล (PRODUCTION OF CONSTANT VISCOSITY NATURAL RUBBER BY INHIBIT GEL FORMATION PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ, 80 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการผลิตยางความหนืดคงที่ด้วยวิธีปราศจากสารไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต (Hydroxyl amine neutral sulfate; HNS) ผ่านกระบวนการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยาง 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการสะปอนนิฟิเคชัน (DR-S) และกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว (DR-W) พบว่ายางแห้งที่ได้จากกระบวนการ DR-S และ DR-W มีปริมาณโปรตีน หมู่คาร์บอนิล ปริมาณเจล และความแข็งที่ภาวะเร่ง (Accelerated storage hardening test; A.S.H.T.) ลดลงเมื่อเทียบกับยางแห้งที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา (DR) รวมทั้งมีสมบัติความอ่อนตัวเริ่มแรก (Initial plasticity; P_0) ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity retention index; PRI) ความหนืดมูเนย์ (Mooney viscosity; MV) ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen content) ปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt content) ปริมาณเถ้า (Ash content) และ ปริมาณสิ่งระเหย (Volatile matter content; VM) ผ่านเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000: 2014 (E) เมื่อเก็บยางแห้งไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ ยางแห้ง DR-D และ DR-W มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติความหนืด ปริมาณเจล รวมทั้งน้ำหนักโมเลกุลเพียงเล็กน้อยและมีค่าใกล้เคียงกับยางแห้งที่ผลิตจากการเติมสารควบคุมความหนืด HNS แสดงให้เห็นกระบวนการกำจัดหมู่คาร์บอนิลและกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว มีประสิทธิภาพในการควบคุมความหนืดในยางธรรมชาติเทียบเท่าวิธีเติมสาร HNS



สาขาวิชา ปีเตอร์เคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2557 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5472405123 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORDS: CONSTANT VISCOSITY / SAPONIFICATION / GEL FORMATION / STORAGE HARDENING

PATCHARA INTHASANG: PRODUCTION OF CONSTANT VISCOSITY NATURAL RUBBER BY INHIBIT GEL FORMATION PROCESS. ADVISOR: ASSOC. PROF. SIRILUX POOMPRADUB, Ph.D., 80 pp.

In this study, the production of constant viscosity rubber (CV rubber) without using hydroxyl amine sulfate (HNS) via the removal of non-rubber component was studied. Two methods are including saponification method (DR-S) and surfactant washing method (DR-W). It was found that dry rubber obtained from DR-D and DR-W showed that protein content, carbonyl content, gel content, and accelerated storage hardening test (A.S.H.T.) values were decreased compared to those of non-treated rubber (DR). Initial plasticity (P_0), plasticity retention index (PRI), mooney viscosity (MV), nitrogen content, dirt content, ash content and volatile matter content (VM) of dry rubber from DR-D and DR-W methods were passed the CV rubber specifications based on ISO 2000: 2014 (E). The changes of viscosity, gel content and molecular weight average in DR-D and DR-W were slightly increased after storage for 12 weeks and those results were similar to the dry rubber obtained from adding HNS method. Accordingly, the decarbonylation and surfactant washing methods were effectively to produce CV rubber as well as adding HNS method.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Petrochemistry and Polymer Science Student's Signature

Science Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำการทำการวิจัยตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านในคณะวิทยาศาสตร์ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิจัยมาตลอด

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากโครงการวิจัยขนาดเล็ก เรื่องยางพารา โดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรณ ประสาสน์สารกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ และดร.สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ เสนอแนะและความคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคลากรในภาควิชาปิโตรเคมีและพอลิเมอร์และภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกและกรุณาช่วยเหลือในการดำเนินการและให้คำแนะนำด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอมอบความดีทั้งหมดของงานวิจัยนี้ให้แก่ทุกท่านที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และที่ยังไม่ได้เอ่ยนามมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์	6
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber).....	6
2.2 ยางแห้ง (Dry rubber)	9
2.3 ยางความหนืดคงที่ (Constant viscosity; CV)	13
2.4 ความหนืดของยางธรรมชาติ (Viscosity of natural rubber).....	13
2.6 การกำจัดโปรตีนและฟอสโฟไลปิด.....	21
2.7 สมบัติของยางธรรมชาติ.....	24
2.8 น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ	26
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	30
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	31

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย	32
3.3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการวิจัย	32
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างยางแห้งความหนืดคงที่.....	34
3.3.3 การทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity; MV)	37
3.3.4 การทดสอบค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Initial plasticity; P_0) ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity retention index; PRI) และค่าความแข็งที่ภาวะเร่ง (Accelerated storage hardening test; A.S.H.T.).....	37
3.3.5 การทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt Content)	38
3.3.6 การทดสอบปริมาณสิ่งระเหย (Volatile Matter Content; VM).....	38
3.3.7 การทดสอบปริมาณเถ้า (Ash Content)	39
3.3.8 การทดสอบปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content)	39
3.3.9 การทดสอบปริมาณเจล (Gel Content)	40
3.3.10 การทดสอบการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิคเจลเพอร์มิเอชันโครมา โทกราฟี (Gel Permeation Chromatography; GPC).....	40
3.3.11 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างยางโดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR).....	41
3.3.12 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทร สโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy; NMR).....	41
3.3.13 การเปลี่ยนแปลงสมบัติของยางแห้งตามระยะเวลาการเก็บเป็นเวลา 12 สัปดาห์.....	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
4.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของน้ำยางสด.....	42
4.2 สมบัติยางแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียมยางแห้งทั้ง 5 กระบวนการ	42
4.3 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีโดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี	55
4.4 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี	55

4.5 การหาปริมาณไนโตรเจน	58
4.2 การหาปริมาณเจล	59
4.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลและดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล	59
4.4 ผลการทดสอบยางแห้งความหนืดคงที่ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 2000: 2014 (E).....	59
4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของยางแห้งตามระยะเวลาการเก็บเป็นเวลา 12 สัปดาห์..	60
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	63
รายการอ้างอิง	64
ภาคผนวก.....	67
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	79



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขีดจำกัดของยางแท่งชั้นต่างๆตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E)	11
2.2 ขีดจำกัดของยางแท่งชั้นต่างๆตามมาตรฐานยางแท่งไทย	12
2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนืดของยาง	14
3.1 การทดสอบสมบัติของตัวอย่างยางเมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์	41
4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำยางสด	43
4.2 สมบัติของยางแท่งไม่ทำปฏิกิริยาและยางแท่งเติมสารควบคุมความหนืด	43
4.3 สมบัติของยางแท่งจากกระบวนการสะปอนนิฟิเคชันที่ภาวะต่าง ๆ	46
4.4 สมบัติของยางแท่งจากกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ภาวะต่าง ๆ	52
4.5 สมบัติของยางแท่ง DR-W7 ผ่านการบดที่เวลาต่างๆ	54
4.6 สมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างยางแท่ง	58
4.7 ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า และปริมาณสิ่งระเหยในตัวอย่างยางแท่ง	60

สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของอนุภาคยาง.....	7
2.2 โครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติ	19
2.3 กลไกการเกิดความแข็งขณะเก็บในยางธรรมชาติ	20
2.4 กลไกการแทนที่โปรตีนโดยซิลิกา	22
3.1 การตัดตัวอย่างทดสอบ	38
4.1 โครงสร้างร่างแหของยางธรรมชาติไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา.....	43
4.2 ปฏิกริยาระหว่างสารควบคุมความหนืด HNS กับยางธรรมชาติ.....	45
4.3 กระบวนการสะปอนนิฟิเคชันในยางธรรมชาติ	45
4.4 ปฏิกริยาออกซิเดชันในยางธรรมชาติ.....	45
4.5 ลักษณะของน้ำยางสดผ่านการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ณ เวลา (a) 4-5 ชั่วโมง (b) 12 ชั่วโมง	49
4.6 น้ำยางสดที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 19,000 รอบต่อนาที เป็นจำนวน (a) 1 (b) 2 (c) 3 (d) 4 และ (e) 5 ชั่วโมง.....	51
4.7 กระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว	53
4.8 FT-IR สเปกตรัมของยางแห้ง 4 ตัวอย่าง ที่ระยะเวลาเก็บยางแห้ง (a) 0 สัปดาห์ (b) 12 สัปดาห์.....	56
4.9 โครงสร้างทั่วไปของ (a) โปรตีน และ (b) ไซมัน	57
4.10 ^1H NMR (300 MHz) สเปกตรัมของยางแห้ง 4 ตัวอย่างในตัวทำละลายดีวเทอเรท คลอโรฟอร์ม (Deuterated chloroform; CDCl_3) ที่ระยะเวลาเก็บยางแห้ง (a) 0 สัปดาห์ (b) 12 สัปดาห์	57
4.11 กระบวนการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสด.....	58

รูปที่

หน้า

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บยากับ (a) ความอ่อนตัวเริ่มแรก (b) ความแข็งที่ ภาวะ
แรง (c) ความหนืดมูนี้ (d) น้ำหนักโมเลกุล (e) ปริมาณเจล และ (f) ดัชนีความอ่อนตัว 61



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางธรรมชาติมีชื่อเรียกทางเคมี คือ Cis-1,4-polyisoprene ลักษณะเด่นคือ ความยืดหยุ่นสูง มีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน แต่เนื่องจากยางธรรมชาติมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ผู้ผลิตจึงต้องพัฒนาวัตถุดิบยางธรรมชาติอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ยางแผ่นดิบ ยางแผ่นรมควัน จนปัจจุบันยางธรรมชาติในลักษณะยางแท่งมีปริมาณการบริโภคมากเป็นอันดับหนึ่งในอุตสาหกรรมยาง เพราะมีมาตรฐานในการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ แต่ยางแท่งยังต้องเผชิญปัญหาการเกิดความแข็งขณะเก็บ (Storage hardening) ซึ่งยังไม่สามารถหาสาเหตุและกลไกการเกิดที่ชัดเจนได้ มีเพียงข้อสันนิษฐานว่า เกิดจากส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber part) เช่น โพรตีน และฟอสโฟไลปิดทำปฏิกิริยาร่วมกันระหว่างโมเลกุลยางเกิดเป็นโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง (Branching structure) และโครงสร้างแบบร่างแห (Network structure) ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวส่งผลให้ยางมีส่วนที่เป็นเจลเพิ่มขึ้น สมบัติทางกายภาพของยางโดยเฉพาะความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) มีค่าสูงขึ้น ทำให้ยากต่อการควบคุมการผลิตและต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในกระบวนการผลิต

การควบคุมปริมาณเจลในยางธรรมชาติสามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีกำจัดโพรตีน (Deproteinization) เป็นกระบวนการกำจัดโพรตีนที่อาศัยเอนไซม์ในกลุ่ม Proteolytic ร่วมกับสารป้องกันการจับตัวยาง ซึ่งกระบวนการนี้ต้องใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาอย่างต่ำสิบชั่วโมง อีกทั้งไม่สามารถกำจัดส่วนที่เป็นฟอสโฟไลปิดออกได้ นอกจากนี้วิธีไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) เป็นวิธีกำจัดพันธะคู่ในโมเลกุลยางออกเพื่อลดความว่องไวในการเกิดการเสื่อมสภาพในยาง แต่เนื่องจากกระบวนการนี้เกิดได้ดีในภาวะก๊าซไนโตรเจนและใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย ส่งผลให้เกิดความยุ่งยากและต้นทุนสูงหากจะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตยาง ทำให้ปัจจุบันการผลิตยางแท่งความหนืดคงที่นิยมเติมสารเคมีควบคุมความหนืดในกลุ่ม Monofunctionaldehydic condensing reagents ลงไปป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่อัลดีไฮด์กับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของยาง สารปรับความหนืดที่นิยมใช้ คือสารไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีสองชนิด

คือ น้ำยาธรรมชาติและยางก้อนจับตัว แต่การผลิตด้วยวิธีดังกล่าวยังไม่สามารถควบคุมความหนืดให้ตรงตามขีดจำกัดเฉพาะของชั้นยางได้ อีกทั้งสารเคมีดังกล่าวมีความเป็นพิษสูง หากหายใจนำสารนี้เข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง และเกิดแผลไหม้ที่จมูก คอ และทางเดินหายใจ รวมทั้งผิวหนังที่สัมผัสกับสารนี้จะถูกทำลายอย่างถาวร จึงเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานอย่างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการผลิตยางความหนืดคงที่โดยอาศัยวิธีการลดปริมาณเจลในยางผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสหมู่โปรตีนและหมู่ฟอสโฟไลปิดให้แตกเป็นโมเลกุลเล็กด้วยเบสแก่ที่เรียกว่าวิธีสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) และกระบวนการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยางออกจากอนุภาคยางด้วยการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว (Surfactant washing) เทียบกับการผลิตยางวิธีเดิมที่ใช้สารไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟตเป็นสารควบคุมความหนืด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษากระบวนการผลิตยางความหนืดคงที่โดยปราศจากสารไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาภาวะในการเตรียมยางแห้งให้มีค่าความหนืดมูนนี่ 60 ± 5 ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกไม่ต่ำกว่า 30 และมีค่าความแข็งขณะเก็บไม่เกิน 8 หน่วย
- 1.3.2 ทดสอบสมบัติยางแห้งที่เตรียมได้ตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) [1] ได้แก่ ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณสิ่งระเหย ปริมาณเถ้า ปริมาณไนโตรเจน ความหนืดมูนนี่ และดัชนีความอ่อนตัว
- 1.3.3 เก็บตัวอย่างยางแห้งที่เตรียมได้ไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสมบัติตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) และหาค่าความแข็งขณะเก็บ ปริมาณเจล การกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิค GPC และโครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิค FT-IR และ NMR

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 การศึกษาข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการวิจัย ดังนี้
 - พันธุ์ยาง อายุต้นยาง และรายละเอียดพื้นฐานของแหล่งปลูกยางนั้น
 - ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำยางสด
- 1.4.3 การทดลองเตรียมยางแห้ง 4 กลุ่ม
 - กลุ่มที่ 1 ยางแห้งผลิตจากน้ำยางสดไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา
 - กลุ่มที่ 2 ยางแห้งผลิตจากน้ำยางสดเติมสารไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต
 - กลุ่มที่ 3 ยางแห้งผลิตจากน้ำยางสดผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเบส เรียกว่าวิธี Saponification
 - กลุ่มที่ 4 ยางแห้งผลิตจากน้ำยางสดผ่านกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว เรียกว่าวิธี Surfactant washing
- 1.4.4 การทดสอบตัวอย่างที่แตกต่างกัน 4 กลุ่มตัวอย่าง ตามเกณฑ์กำหนดเฉพาะของยางแห้งเกรด CV ดังระบุในมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) โดยทดสอบสมบัติดังนี้
 - ความหนืดมูนิตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.9 (1992) [2] เกณฑ์กำหนด 60 ± 5 หน่วย
 - ความอ่อนตัวเริ่มแรกตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.8 (1992) [2] เกณฑ์กำหนดไม่ต่ำกว่า 30 หน่วย
 - ดัชนีความอ่อนตัวตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.8 (1992) [2] เกณฑ์กำหนดไม่ต่ำกว่า 60 หน่วย
 - ความแข็งที่ภาวะเร่งตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part C.1 (1992) [2] เกณฑ์กำหนดไม่เกิน 8 หน่วย ซึ่งเป็นการทดสอบเพิ่มเติมจากมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) เพื่อหาค่าความแข็งขณะเก็บของยาง
- 1.4.5 การทดสอบปริมาณเจลตามมาตรฐาน ISO 17278:2013 (E) [3]

- 1.4.6 การทดสอบน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิคเจลเพอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatography; GPC)
- 1.4.7 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างโดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR)
- 1.4.8 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy; NMR)
- 1.4.9 นำตัวอย่างที่ผ่านเกณฑ์กำหนดตามข้อ 1.4.4 มาทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ยางแท่ง ISO 2000:2014 (E) ได้แก่
- ปริมาณสิ่งสกปรกตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.4 (1992): เกณฑ์กำหนดไม่เกินร้อยละ 0.05
 - ปริมาณสิ่งระเหยตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.5 (1992): เกณฑ์กำหนดไม่เกินร้อยละ 0.8
 - ปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.6 (1992): เกณฑ์กำหนดไม่เกินร้อยละ 0.5
 - ปริมาณไนโตรเจนตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.7 (1992): เกณฑ์กำหนดไม่เกินร้อยละ 0.6
 - ดัชนีความอ่อนตัวตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.8 (1992): เกณฑ์กำหนดไม่ต่ำกว่า 60
- 1.4.10 นำตัวอย่างที่ผ่านมาตรฐานยางแท่ง ISO 2000:2014 (E) ทั้งในข้อ 1.4.4 และข้อ 1.4.5 มาเก็บไว้เป็นเวลา 12 สัปดาห์ เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของยางแท่งที่เตรียมได้
- 1.4.11 สรุปผลการทดลอง จัดทำรายงานและเสนอโครงการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้กระบวนการผลิตยางความหนืดคงที่ที่มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานเพื่อเป็นแนวทางต่อยอดสู่ภาคอุตสาหกรรม
- 1.5.2 ลดข้อด้อยของยางธรรมชาติ และยกระดับคุณภาพให้ตรงตามความต้องการของภาคอุตสาหกรรม
- 1.5.3 สร้างมูลค่าเพิ่มให้วัตถุดิบในระดับอุตสาหกรรมกลางน้ำ อันจะนำไปสู่การขยายตัวของการผลิตภาคเกษตร ตลอดจนได้ผลิตภัณฑ์ปลายน้ำที่มีคุณภาพ



บทที่ 2 ทฤษฎีและวารสารปริทรรศน์

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

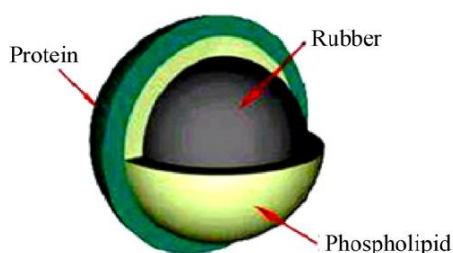
น้ำยางธรรมชาติได้จากพืชตระกูล Hevea brasiliensis มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม อยู่ในสภาพสารแขวนลอยชนิดไฮโดรโซล (Hydrosol) หรือสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย มีความหนาแน่นระหว่าง 0.975 - 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยมีความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 6.5 - 7.0 ส่วนประกอบของน้ำยางแสดงในตารางที่ 2.1 [4]

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
เนื้อยาง (ซิส 1,4 - พอลิไอโซพรีน)	30 - 40
โปรตีน	2.0 - 2.5
เรซิน	1.0 - 2.0
เถ้า	0.7 - 0.9
น้ำตาล	1.0 - 1.5
น้ำ	55 - 65

2.1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (Rubber phase)

ส่วนของเนื้อยางส่วนใหญ่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน ไขมัน โปรตีน และอออนของโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดง โดยอนุภาคยางที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนมีชื่อเรียกทางเคมีว่าพอลิไอโซพรีน (Polyisoprene; $(C_5H_8)_n$) มีโครงสร้างเป็นซิส-1,4 พอลิไอโซพรีน เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำมีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร และมีลักษณะเป็นโมเลกุลใหญ่ รูปร่างเป็นรูปกลมและรูปแปดเหลี่ยม ลักษณะเป็นโมเลกุลใหญ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.02 - 3.00 ไมโครเมตร ภายนอกอนุภาคห่อหุ้มด้วยไขมัน ฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) และโปรตีน โดยฟอสโฟไลปิดเป็นตัวที่ยึดระหว่างไฮโดรคาร์บอนและสารโปรตีน [5] ตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 [6]



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของอนุภาคยาง

2.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อ

ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อที่มีองค์ประกอบแรกเป็นส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัม (Serum) มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิเมตร ประกอบด้วยสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดอะมิโน สำหรับองค์ประกอบส่วนที่สองคือ ส่วนของลูทอยด์เป็นอนุภาคกลมมีเยื่อบางห่อหุ้มอยู่ ขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยาง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-5 μm ภายในเยื่อบางประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า บี-เซรัม (B-serum) ซึ่งมีสารละลายกรด กลีเซอโรล โปรตีน น้ำตาล และเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสอยู่ ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้น้ำยางมีสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ของเหลวในลูทอยด์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.5 ลูทอยด์จะบวมพองและแตกออก เมื่อเติมน้ำลงไปเป็นผลให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น [7]

2.1.3 ไขมัน (Lipid)

ไขมันในน้ำยางแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกสเตอรอล (Sterol) และเอสเทอร์ของสเตอรอล (Sterol ester) ประมาณร้อยละ 0.40 โดยน้ำหนัก ไขมัน (Fat) และขี้ผึ้ง (Wax) เช่น ไอโคซิล แอลกอฮอล์ (Eicosyl alcohol) ประมาณร้อยละ 0.60 โดยน้ำหนัก และฟอสโฟไลปิด เช่น แอลฟาเลซิทิน (α -Lecithin) ประมาณร้อยละ 2.00 โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง ส่วนที่สองอยู่บนซีรัม โดยในภาวะที่น้ำยางเป็นด่าง เช่น มีแอมโมเนียอยู่ประมาณร้อยละ 0.6 ขึ้นไป ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long chain fatty acid) ได้แก่ กรดสเตียริกและกรดโอเลอิก ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียแล้วเกิดเป็นเกลือ

ของกรดไขมัน และถูกดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยางส่งผลให้น้ำยางมีความเสถียรเพิ่มขึ้น กรณีที่แอมโมเนียมีปริมาณน้อย การเพิ่มความเสถียรของน้ำยางจึงจำเป็นต้องเพิ่มสบู่หรือสารอื่นที่ช่วยในการเก็บรักษาน้ำยางต่อไป โดยน้ำยางชั้นที่ผลิตใหม่จะมีความเสถียรเชิงกลต่ำ และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 สัปดาห์แรกหลังการผลิต เมื่อเก็บไว้นานๆจะมีค่าคงที่ การเพิ่มค่าความเสถียรเชิงกลนี้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของสบู่ของกรดไขมันโซ่ยาว (High fatty acid soap) ที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของสารไลปิด ส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่ม Phospholipid และ Glicolipid [7]

2.1.4 โปรตีน (Protein)

โปรตีนเป็นสารพหุกรดอะมิโน มีส่วนของหมู่อะมิโน (Amino group; $-NH_2$) กับหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic group; $-COOH$) ซึ่งหมู่ทั้งสองมีส่วนทำให้โปรตีนมีสมบัติเป็นแอมโฟเทอริก (Amphoteric) คือมีประจุได้ทั้งบวกและลบ โดยขึ้นอยู่กับสภาพของตัวกลาง กล่าวคือ ในสภาพที่ตัวกลางเป็นกรด โปรตีนจะแสดงประจุเป็นบวก ในสภาพที่ตัวกลางเป็นด่าง โปรตีนจะแสดงสภาพเป็นลบ และในสภาพที่ตัวกลางเป็นกลาง ปริมาณประจุบวกและประจุลบของโปรตีนเท่ากันซึ่งเรียกว่า จุดไอโซอิเล็กตริก (Isoelectric point) น้ำยางมีโปรตีนอยู่ในส่วนที่ไม่ใช่ยางประมาณ 1.5 % โดยเฉลี่ย หรือคิดเป็น 30-50 มิลลิกรัมต่อกรัมยางแห้ง โดยกระจายอยู่ในส่วนที่เป็นเนื้อยาง 27 % ในส่วนบีเซรัม 25 % และซีเซรัม 48 % มีรายละเอียด ดังนี้

- โปรตีนที่อยู่ในส่วนเนื้อยางจะเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคยาง ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถถูกสกัดได้โดยสารลดแรงตึงผิว เช่น Sodium dodecyl sulphate หรือตัวทำละลายอินทรีย์ เช่นตัวทำละลายผสม Chloroform-methanal แต่อย่างไรก็ตามโปรตีนในส่วนของเนื้อยางบางส่วน (1 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อยางแห้ง) สามารถละลายน้ำได้และสามารถสกัดได้ด้วยแอมโมเนีย
- โปรตีนที่อยู่ในส่วนของเซรัม เป็นโปรตีนที่ละลายอยู่ในบีและซีเซรัม ประกอบด้วย Cationic และ Anionic proteins ที่มีค่า pI (Isoelectric point) ตั้งแต่ 3.5 – 9.5
- โปรตีนในน้ำยางชั้นและน้ำยางคอมปาวด์ น้ำยางชั้นที่ผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้จากวิธีการใช้เครื่องปั่นแยก เมื่อน้ำยางสดจากต้นยางผ่านกระบวนการไปเป็นน้ำยางชั้น ทำให้โปรตีนบางส่วนสูญเสียไปกับเซรัมที่ถูกแยกออกไป และปริมาณโปรตีนสามารถ

ลดลดจาก 30-50 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อยางแห้งไปเป็น 16-26 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อยางแห้ง ซึ่งกระจายอยู่ระหว่างส่วนของเนื้อยางและส่วนของเซรัม โปรตีนที่เกาะอยู่ที่อนุภาคยางเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนัก 14.0 และ 24.0 kD เช่นเดียวกับในน้ำยางสด แต่ในเรื่องของปริมาณอาจจะลดลงเนื่องจากถูกสกัดออกมาจากผิวเม็ดยางด้วยแอมโมเนียที่ใช้รักษาสภาพของน้ำยาง โปรตีนใน HA latex serum ที่ยังเหลือส่วนใหญ่เป็นโปรตีนที่หนักน้อยกว่า 14.0 kD ส่วนโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่ที่พบในเซรัมน้ำยางสดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดใน HA latex serum หากนำน้ำยางชั้นที่ผลิตใหม่ๆทำเป็นแผ่นฟิล์มจะพบโปรตีนที่สกัดออกมาได้ประมาณ 0.5 -0.6 มิลลิกรัมต่อกรัมเนื้อยางแห้ง [8]

2.1.5 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต ส่วนใหญ่เป็นพวกแอล-เมทิลโลโนซิทอล (l-methylinositol) หรือที่เรียกกันว่า ควีบราซิทอล (Quebracitol) มีอยู่ประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำยาง และยังมีคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ เล็กน้อย ได้แก่ ฟรุคโตส กลูโคส ซูโครส กาแล็กโตส คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อน้ำยาง กล่าวคือ หากมีการรักษาสภาพน้ำยางไม่พอเพียง จุลินทรีย์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดฟอร์มิก อะซิติก และ โพรพิโอนิก กรดเหล่านี้มีผลทำให้น้ำยางเสียสถานะและจับตัวเป็นก้อนได้ [9]

2.2 ยางแห้ง (Dry rubber)

2.2.1 ยางแผ่น (Sheet rubber)

ยางแผ่นมี 2 ชนิด ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet; RSS) และยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dried sheet; ADS) กระบวนการผลิตยางแผ่นเริ่มจากการรวบรวมน้ำยางสดและกรองน้ำยางด้วยตัวกรองขนาด 40, 60 และ 80 เมช เพื่อแยกสิ่งสกปรก เจือจางน้ำยางด้วยน้ำสะอาดเพื่อให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content) ประมาณร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก จากนั้นจับตัวเนื้อยางด้วยกรดกรดฟอร์มิกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตร กวนให้เข้ากัน กวาดฟอง รอให้น้ำยางจับตัวสมบูรณ์ ระวังไม่ให้สิ่งสกปรกหรือสิ่งปลอมปนลงไปในน้ำยาง หล่อด้วยน้ำสะอาด นวดก้อนยาง และรีดยางผ่านเครื่องรีด ล้างด้วยน้ำสะอาดผึ่ง

ในที่ร่มและมีอากาศถ่ายเทดี โดยอย่างที่ได้อาจการรีดนี้ จะเกิดการหดตัว (Shrinkage) ทำให้ความหนาแน่นของแผ่นเพิ่มขึ้น การหดตัวนี้เนื่องมาจากการยืดหยุ่น (Elastic) ของยาง ขณะเกิดการหดตัว น้ำในแผ่นยางจะซึมออก เรียกว่า ซิเนอร์ซิส (Syneresis) จากนั้นนำไปอบด้วยลมร้อนเป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง สำหรับการผลิตเป็นยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dried sheet; ADS) หรือนำไปไว้ในโรงรมควันเป็นเวลา 4-10 วัน สำหรับการผลิตเป็นยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet; RSS) [10]

2.2.2 ยางเครพ (Crepe rubber)

ยางเครพผลิตได้โดยตรงจากน้ำยางสดและยางที่ได้จากการจับตัวแล้ว เช่น ยางก้อนถ้วย (Cup lump) และเศษยาง (Scrap) โดยยางเครพขาว และเครพสีจาง (White and pale crepe) คือยางที่ผลิตจากยางก้อนที่จับตัวสดๆ (Fresh coagula) ภายใต้กระบวนการผลิตที่ควบคุมเป็นพิเศษ สีของยางขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า โดยทั่วไปมักจะหลีกเลี่ยงการใช้น้ำยางจากพันธ์ที่ให้สีเหลือง และใช้วิธีจับตัวยางบางส่วน (Fractional coagulation) และวิธีการฟอกสียาง (Bleaching) ซึ่งยางก้อนที่จับตัวแล้วเมื่อผ่านเครื่องรีดเครพออกมาจะมีความบางมาก เมื่อนำแผ่นยางเครพขาวมาวางซ้อนกันและอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก จะเรียกว่า ยางโซลเครพ (Sole crepe) [10]

2.2.3 ยางแท่ง (Block rubber)

ยางแท่งมีที่มาจากการใช้ยางที่ต้องการตรวจสอบดีทางเทคนิคของยางโดยใช้หลักวิทยาศาสตร์แทนการตรวจโดยใช้สายตาดังเช่นในยางแผ่นและยางเครพ อีกทั้งต้องการรูปแบบที่หีบห่ออย่างธรรมชาติที่ง่ายและสะดวกในการขนส่ง จึงเป็นที่มาของการริเริ่มผลิตยางแท่งธรรมชาติที่มีการระบุคุณภาพมาตรฐาน (Technically specified process) และเรียกกยางแท่งชนิดนี้ว่า Technically specified rubber หรือ Block rubber ตามรูปร่างของการหีบห่อ หลักการผลิตของยางชนิดนี้ คือการตัดย่อยยางให้เป็นเม็ดเล็กๆอย่างรวดเร็วแล้วอบให้แห้งก่อนอัดเป็นแท่ง ปัจจุบันองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน ISO ได้กำหนดสมบัตินยางแท่งไว้ในมาตรฐาน ISO 2000:2014 Rubber, raw natural — Guidelines for the specification of

technically specified rubber (TSR) [1] โดยกำหนดขีดจำกัดของยางแท่งชั้นต่างๆ ไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ขีดจำกัดของยางแท่งชั้นต่างๆตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E)

สมบัติ	ชั้นยาง									
	LoV	CV	L	WF	5	10	20	10CV	20CV	วิธีทดสอบ
สิ่งสกปรก (ไม่เกิน, %)	0.05	0.05	0.0	0.05	0.05	0.10	0.20	0.10	0.20	ISO 249
เถ้า (ไม่เกิน, %)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.75	1.0	0.75	1.0	ISO 247
ไนโตรเจน (ไม่เกิน, %)	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	ISO 1656
สิ่งระเหย (ไม่เกิน, %)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	ISO 248-1
P _o (ไม่ต่ำกว่า, units)	N/A	N/A	30	30	30	30	30	N/A	N/A	ISO 2007
PRI (ไม่ต่ำกว่า, %)	N/A	60	60	60	60	50	40	50	40	ISO 2930
สี (ไม่เกิน)	N/A	N/A	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	ISO 4660
มุนี (ไม่ต่ำกว่า, units)	55	60	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	65	65	ISO 289-1
เจล (ไม่เกิน, %)	± 10	± 5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	+7,-5	+7,-5	ISO 17278

สำหรับประเทศไทย สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ได้วางมาตรฐานยางแห่งประเทศไทย ไทยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2511 โดยกำหนดชื่อยางแห่งประเทศไทยว่า Thai tested rubber (TTR) ต่อมาในปี พ.ศ. 2537 สถาบันวิจัยยางได้มีการทบทวนมาตรฐานยางแห่งประเทศไทยเพื่อให้สอดคล้องกับความสามารถของผู้ผลิต และได้เปลี่ยนชื่อยางแห่งประเทศไทยจาก TTR เป็น STR (Standard thai rubber) [11] โดยกำหนดให้ STR มีชั้นยางและขีดจำกัดของแต่ละชั้นยางดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดของยางแท่งชั้นต่างๆตามมาตรฐานยางแห่งประเทศไทย

สมบัติ	ชั้นยาง							
	XL	5L	5	5CV	10	10CV	20	20CV
สิ่งสกปรก (ไม่เกิน,%)	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
เถ้า (ไม่เกิน,%)	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
ไนโตรเจน (ไม่เกิน,%)	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
สิ่งระเหย (ไม่เกิน,%)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
P _o (ไม่ต่ำกว่า,units)	35	35	30	-	30	-	30	-
PRI (ไม่ต่ำกว่า,%)	60	60	60	60	50	50	40	40
สี (ไม่เกิน)	4.0	6.0	-	-	-	-	-	-
มุนี (ไม่ต่ำกว่า,units)	-	-	-	70 (+7, -5) 60 (+7, -5) 50 (+7, -5)	-	60 +7, -5	-	65 +7, -5

2.3 ยางความหนืดคงที่ (Constant viscosity; CV)

ยางความหนืดคงที่ตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) หมายถึง ยางธรรมชาติที่ควบคุมความหนืด โดยมีค่าความหนืดมูนนี่ ML(1+4) ที่อุณหภูมิ 100°C เท่ากับ 60 ± 5 สำหรับยางแท่งเกรด CV และค่าความหนืดมูนนี่เท่ากับ $60 +7,-5$ สำหรับยางแท่งเกรด 10CV และ 20CV การผลิตยางความหนืดคงที่ทำได้โดยการเติมสารควบคุมความหนืด (Viscosity-stabilizing agents) ไปทำปฏิกิริยากับหมู่อัลดีไฮด์ในโมเลกุลของยางโดยตรง ซึ่งเกิดจากสายโซ่ยางทำปฏิกิริยาออกซิเดชันจนเกิดหมู่คีโตนและหมู่อัลดีไฮด์ขึ้น สารควบคุมความหนืดที่ใช้มี 3 ชนิด ได้แก่ สารไฮดรอกซิลลามีน (Hydroxylamine; NH_2OH) สารเซมิคาร์บาไซด์ (Seicarbazine; $\text{NH}_2\text{NHCONH}_2$) และไฮดราซีน ($\text{NH}_2\text{-NH}_2$) ซึ่งนิยมใช้ในรูปเกลือไฮโดรคลอริกหรือนิวทรัลซัลเฟตที่มีความคงตัว วิธีการผลิตมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการผลิตยางแท่งจากน้ำยาง แต่จะเติมสารควบคุมความหนืดลงในน้ำยางก่อนทำการจับตัวเป็นก้อนยาง [12]

ข้อดีของยางความหนืดคงที่ คือสามารถช่วยลดขั้นตอนการบดผสมยางกับสารเคมีให้เป็นเนื้อเดียวกันเร็วขึ้นเพราะลดขั้นตอนการบดยางให้นิ่มช่วยประหยัดต้นทุนและพลังงาน จากการศึกษาของ Ehab และคณะ [13] พบว่า ยางแท่งเกรด TSR 10 ใช้เวลาในการบดนานถึง 13 นาที ทั้งค่าความหนืดมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีของยางความหนืดคงที่เกรด TSR 3CV พบว่าค่าความหนืดมูนนี่มีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงการบดที่ 1 - 13 นาที

2.4 ความหนืดของยางธรรมชาติ (Viscosity of natural rubber)

ความหนืดของยางธรรมชาติมีค่าแปรปรวนแตกต่างกันตามปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง ฤดูกาลที่ปลูก อายุของต้นยาง และวิธีการผลิต ความหนืดของยางเพิ่มขึ้นเองได้ตามธรรมชาติซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต ระหว่างการขนส่ง และระหว่างการเก็บ ซึ่งไม่สามารถทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ โดยพบว่าเมื่อน้ำยางถูกกรีดออกจากต้นยางพาราจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำยางเพิ่มขึ้นในช่วง 20-30 วันแรกเมื่อน้ำยางถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภายหลังจากเก็บไว้นานประมาณ 100 วัน ความหนืดของน้ำยางมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมอีกเพียงเล็กน้อย และเมื่อนำน้ำยางมาผลิตเป็นยางแท่งค่าความหนืดมูนนี่ของยางแท่งที่ผลิตได้จะมีค่าแปรปรวนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ยาง (ให้ค่าความหนืดแปรปรวนถึง 99 - 39

หน่วยมุนนี่) และฤดูกาล โดยยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยางที่กรีตในฤดูยางผลัดใบมีค่าความหนืดลดลง หน่วยมุนนี่ แต่หากผลิตจากน้ำยางที่กรีตจากต้นยางที่อายุมาก จะทำให้งามีค่าความหนืด 3-0 เพิ่มขึ้นโดยปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.4 [12]

ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความหนืดของยาง

ลำดับที่	ปัจจัย	ช่วงการเปลี่ยนแปลง	ค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น
1	ปริมาณเนื้อยางแห้ง	ร้อยละ 10 – 35	0 – 3
2	ค่าความเป็นกรดต่าง-	พีเอช 4.5 -5.5	0 – 3
3	การเก็บบ่มยางก่อนรีด	8 – 48 ชั่วโมง	0 – 6
4	การเก็บบ่มยางก่อนอบ	1 – 24 ชั่วโมง	0 – 3
5	อุณหภูมิในการเก็บยาง	50 – 100 องศา	0 – 6

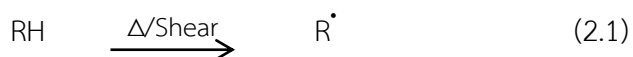
2.5 ปรากฏการณ์ความแข็งขณะเก็บ (Storage hardening phenomena)

ปรากฏการณ์ความแข็งขณะเก็บในยางธรรมชาติ จะส่งผลให้ค่าความหนืดและปริมาณเจลเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บ ซึ่งยังไม่พบสาเหตุที่ชัดเจนในการอธิบายถึงกลไกการเกิดปรากฏการณ์นี้ มีเพียงข้อสันนิษฐานดังต่อไปนี้

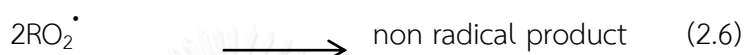
2.5.1 การเพิ่มขึ้นของความหนืด

ได้มีการพยายามอธิบายการเพิ่มขึ้นของความหนืดในยางธรรมชาติมาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งมีนักวิทยาศาสตร์หลายคนที่เสนอแนวคิดออกมา แต่จนถึงปัจจุบันยังไม่เป็นที่แน่นอนว่าแบบไหนที่ถูกต้อง แต่สามารถสรุปสาเหตุได้ 2 ประการ คือ [14]

- ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) มีสาเหตุการเกิดได้หลายประการ คือ ความร้อน โอโซน และอื่นๆ โดยมีหลักการสำคัญเกี่ยวกับปฏิกิริยานี้ 3 ประการ คือ ปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ (ปฏิกิริยาที่ (2.1)) ปฏิกิริยาเป็นการเร่งในตัวเอง (ปฏิกิริยาที่ (2.2)) และผลผลิตที่ได้ คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ปฏิกิริยาที่ (2.3)) สามารถเขียนปฏิกิริยาย่อยๆ ของการเกิดออกซิเดชันของโอเลฟิน ได้ดังนี้

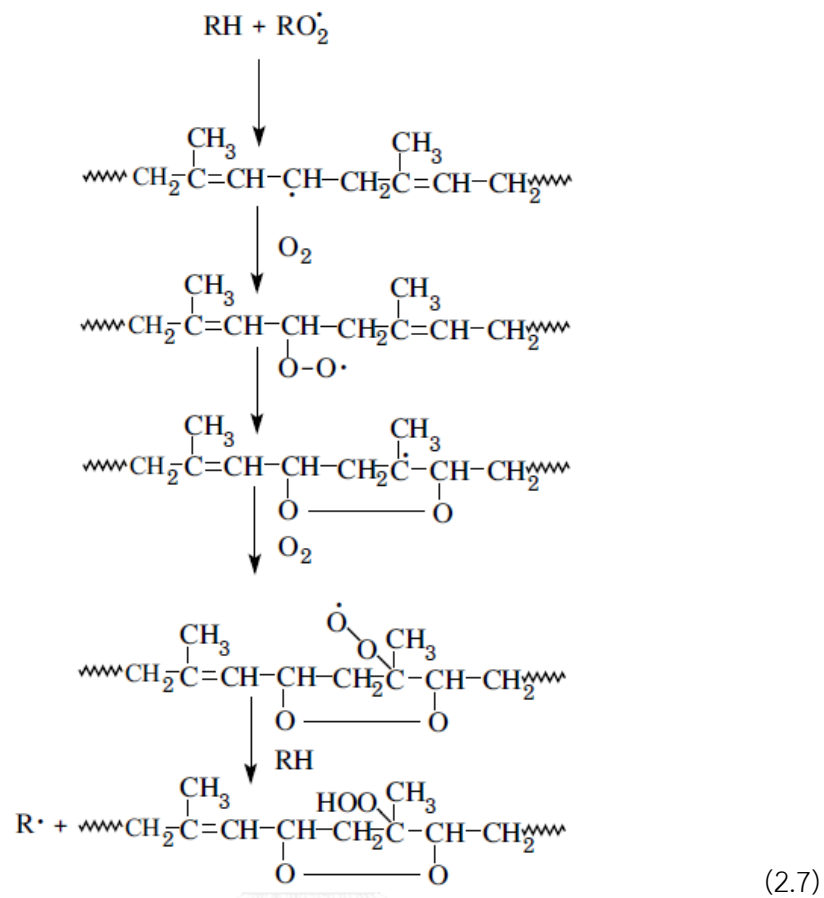


ซึ่ง ROOH คือสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายเป็น ดังนี้

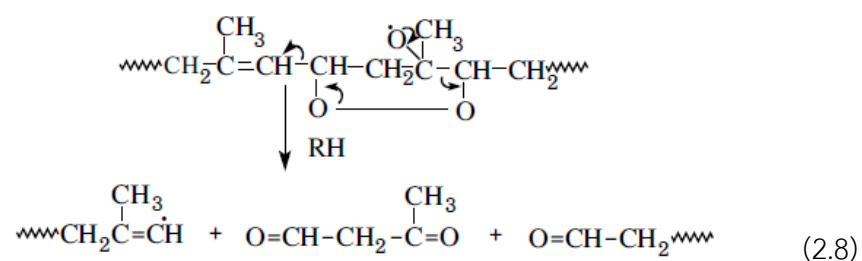


ซึ่งปฏิกิริยาที่ (2.4) เป็นกระบวนการเชื่อมโยงของโมเลกุลยาง และปฏิกิริยาที่ (2.6) เป็นกระบวนการตัดสายโซ่ (Chain scission)

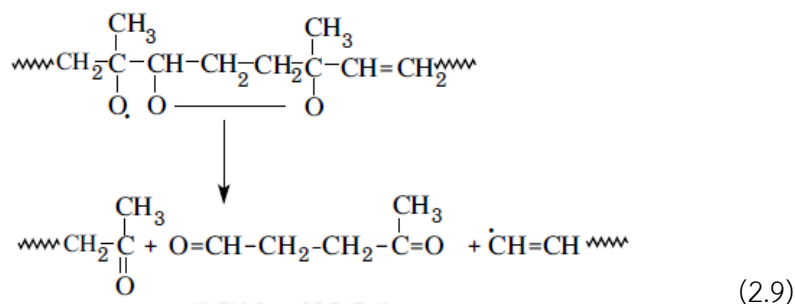
สำหรับในยางธรรมชาติกระบวนการออกซิเดชันเกิดคล้ายกับพวกโอเลฟิน การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางธรรมชาติผ่านวงแหวนของไดออกไซด์ (Cyclic diperoxide) เกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังปฏิกิริยาที่ (2.7)



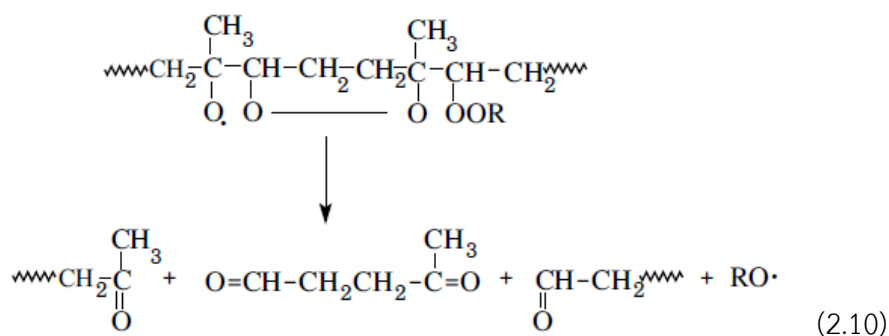
อนุมูลของอัลคอกซี (Alkoxy radical) จะเกิดการแตกตัวได้เป็น 2-บิวเทน-2-วัน-4-อัล (2-Butan-2-one-4-al) ซึ่งเกิดมากกว่า เลวูลินัลดีไฮด์ (Levulinlaldehyde) และ อนุมูลไวนิล (Vinyl radical) ซึ่งจะถูกออกซิเดชันต่อได้หมู่ปลายเป็นเมทิลคีโตน (Methyl ketone end group) ดังปฏิกิริยาที่ (2.8)



ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเป็น levulinaldehyde และ terminal ketone และ terminal aldehyde group เมื่อ vinyl radical ถูกออกซิเดชัน ดังปฏิกิริยาที่ (2.9)



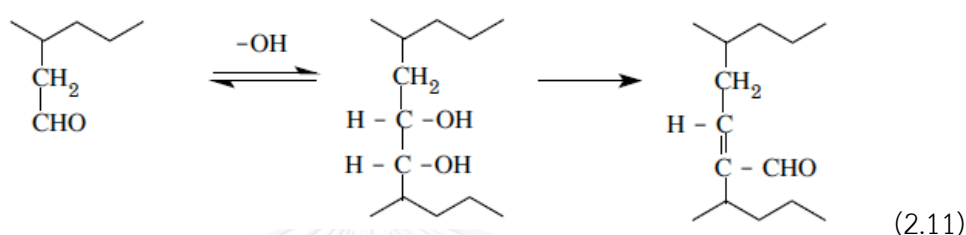
เมื่อมีการเติมอนุมูลของเปอร์ออกไซด์ไปที่พันธะคู่แล้วตามด้วยการเติมการออกซิเดชัน ไซโคลเซชัน (Cyclization) ส่วนอนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy radical) เกิดการแยกตัวได้เป็น Levulinaldehyde, terminal ketone, aldehyde group และ alkoxy radical ดังปฏิกิริยาที่ (2.10)



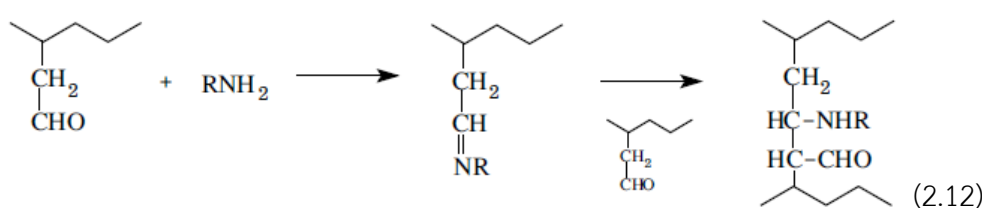
สำหรับโครงสร้างวงแหวนเปอร์ออกไซด์ (Cyclic peroxide) ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าทำให้อนุมูลเทอร์เชียรีเปอร์ออกไซด์ (Tertiary radical) ถึงไม่เกิดปฏิกิริยาซ้ำๆ ตลอดสายโซ่โมเลกุลก่อนที่จะเกิดการดึงอะตอมไฮโดรเจนออกจากไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide)

จากข้อสันนิษฐานข้างต้นจะเห็นว่าการเกิดอัลดีไฮด์ในยางจากปฏิกิริยาออกซิเดชันอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของความหนืดในยางธรรมชาติ

- ปฏิกิริยานอนออกซิเดชัน (non-oxidation reaction) ในเซลล์ต้นยางมีหมู่คาร์บอนิลที่เกาะอยู่ในโมเลกุลยาง และหมู่อัลดีไฮด์ในยางธรรมชาติจะมีโดยเฉลี่ย 1 หมู่ต่อ 1 ไอโซพรีน ซึ่งมีคาร์บอน 2500 – 7500 หน่วย ทำปฏิกิริยากับหมู่อื่นบางหมู่ เรียกว่า อัลดีไฮด์คอนเดนซิงเอเจนต์ (Aldehyde condensing agent) โดยจะเป็นปฏิกิริยาอัลดอลคอนเดนเซชัน (Aldol condensation) ระหว่างโมเลกุลยาง โมเลกุล เกิดเป็น 2 โครงสร้างตาข่าย ทำให้ความแข็งตัวของยางระหว่างการเก็บเพิ่มขึ้นดังปฏิกิริยาที่ (2.11)



หรือเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่อัลดีไฮด์กับอะมิโน ได้โครงสร้าง ดังปฏิกิริยาที่ (2.12)

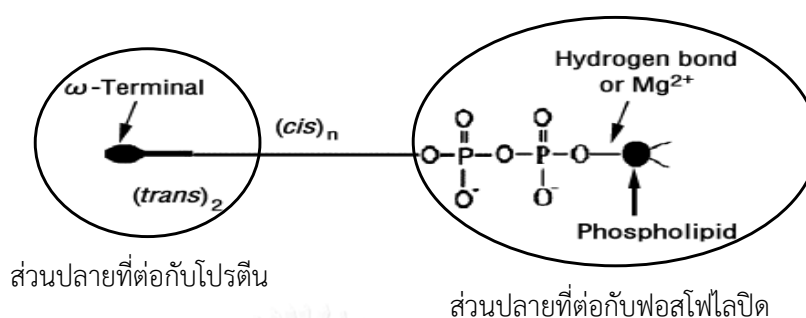


ซึ่งโครงสร้างตาข่ายที่เกิดขึ้นจะทำให้ยางมีความหนืดสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ยาง ซึ่งพบว่าพวกสารประกอบพวกเอมีน เช่น ไฮดรอกซิลเอมีน ไฮโดรคลอไรด์ สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของความหนืดในยางธรรมชาติได้ และยังพบว่า ไดมิโดน (Dimedone) ให้ผลในการยับยั้งหมู่อัลดีไฮด์ได้

2.5.2 การเพิ่มขึ้นของเจล

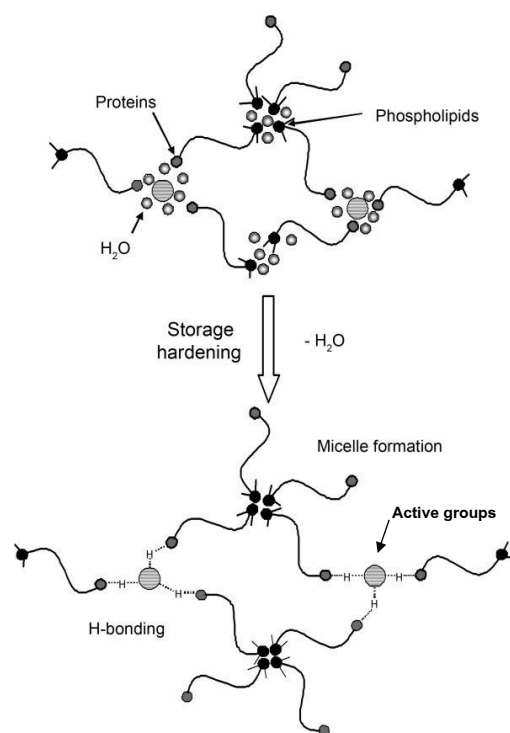
เจลในยางธรรมชาติมี ชนิด 2 คือ มาโครเจล (Macrogel) และไมโครเจล (Microgel) โดยที่มาโครเจลจะบวมพองและไม่ละลายในตัวทำละลาย ส่วนไมโครเจลจะละลายได้ในตัวทำละลาย จากการวิเคราะห์โครงสร้างของยางธรรมชาติ ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR) และเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (Nuclear magnetic resonance spectroscopy; NMR)

ชี้ให้เห็นว่าโมเลกุลยางประกอบด้วยหมู่ปลาย 2 ชนิด ได้แก่ ปลายที่ต่อกับโปรตีนเรียกว่า ω -Terminal และปลายที่มีหมู่มอนอหรือไดฟอสเฟต (Mono-or di-phosphate) ต่อกับฟอสโฟไลปิดเรียกว่า α -Terminal ดังแสดงในรูปที่ 2.2 [15]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติ

จากโครงสร้างโมเลกุลยางธรรมชาติสามารถสันนิษฐานกลไกการเกิดเจลอันเป็นสาเหตุการเกิดปรากฏการณ์ความแข็งขณะเก็บได้ดังนี้ โมเลกุลยางเริ่มต้นนั้นโครงสร้างด้านที่ต่อกับหมู่โปรตีนและหมู่ฟอสโฟไลปิดแยกกันเป็นอิสระทำให้โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นแบบเส้นตรง แต่เมื่อเก็บยางไว้เป็นเวลานานในภาวะความชื้นต่ำ เมื่อโมเลกุลน้ำถูกกำจัดออกจากโมเลกุลของยาง ส่วนปลายที่ต่อกับโปรตีนหรือส่วนที่ต่อกับฟอสโฟไลปิดเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมกับโมเลกุลยาง เกิดเป็นโครงสร้างแบบโซ่กึ่งและโครงสร้างแบบร่างแห ส่งผลให้ปริมาณเจลและค่าความหนืดมูนนี้มีค่าเพิ่มขึ้น กลไกของการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2.3 [16]



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดความแข็งแรงเก็บในยางธรรมชาติ

ต้นยางที่เปิดกรีดเป็นครั้งแรกหลังจากที่หยุดมาเป็นเวลานานจะมีจำนวนมาโครเจลในน้ำยางสูง (อาจสูงถึงร้อยละ 70) โดยปกติมาโครเจลจะมีมากกว่าไมโครเจล มาโครเจลจะค่อยๆ ลดลงเมื่อกรีดไปเรื่อยๆทุกวัน และเหลือประมาณ 5 % เมื่อกรีดจนเป็นปกติ ขณะเดียวกัน ปริมาณของหมู่คาร์บอนิลต่อโมเลกุลยางจะเพิ่มขึ้นในปริมาณ หน่วยต่อโมเล 35-50 กลุ่มยาง ขึ้นกับ อายุต้นยางและระยะเวลาที่ทิ้งไว้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปฏิกิริยาเชื่อมโยงจะเกิดขึ้นหลังจากกรีด ส่วนในยางที่เก็บเป็นเวลา เดือน หรือนานกว่านั้นเจลอาจสูงถึง 50-60% หรือมากกว่า โดยเริ่มแรกค่าเจลยังไม่สูงมาก ซึ่งสันนิษฐานว่าโครงสร้างตาข่ายที่เกิดขึ้นยังสามารถละลายในตัวทำละลายได้ดี แต่เมื่อเก็บนานขึ้นโครงสร้างตาข่ายจะแข็งแรงมากขึ้นจนละลายได้ยากขึ้น เจลจึงเพิ่มขึ้น มาโครเจลสามารถเพิ่มขึ้นได้ระหว่างกระบวนการผลิตยาง แต่ในยางที่ใส่สารควบคุม ความหนืดค่าเจลจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย [17]

ปริมาณเจลในน้ำยางสดมีค่าประมาณ 5-30% และอาจมีค่าสูงถึง 70% หรือมากกว่า เมื่อเก็บรักษาน้ำยางด้วยแอมโมเนียเป็นระยะเวลานานๆ เช่น ปริมาณเจลในรูปของน้ำยางชั้น ชนิดแอมโมเนียสูงจะมีปริมาณเจลอยู่ถึง 70-50% แต่เมื่อผ่านการทรานเอสเทอร์ฟิเคชัน ปริมาณเจลในยางธรรมชาติและยางธรรมชาติโปรตีนต่ำจะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ปริมาณ

ไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยอธิบายว่า การเกิดเจลในยางธรรมชาติหรือที่เรียกว่า soft-gel ว่าเกิดจากส่วนประกอบของการเชื่อมโยง ซึ่งเกิดจากพันธะระหว่างไฮโดรเจนของส่วนโปรตีนกับส่วนที่เป็นพอสโฟลิปิด แต่ในกระบวนการผลิตยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ การเชื่อมโยงดังกล่าวจะถูกทำลายได้ การใส่เอทานอลปริมาณเล็กน้อยในสารละลายโพลีอีนลงในน้ำยางสามารถทำลายส่วนที่เชื่อมโยงดังกล่าว ส่วนการทำสะaponification เป็นการทำลายส่วนของโปรตีนหรือส่วนของพอสโฟลิปิด ทำให้โมเลกุลยางเป็นสายโซ่ที่ยาวและไม่มีส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขา ซึ่งลดการเกิดเจลได้เช่นเดียวกัน

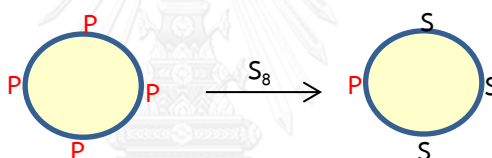
2.6 การกำจัดโปรตีนและพอสโฟลิปิด

การกำจัดโปรตีน (Deproteinization) โปรตีนในน้ำยางมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติการยืดหยุ่น (Elasticity) ของยาง อีกทั้งช่วยรักษาความเสถียรของคอลลอยด์ในน้ำยาง (Colloidal stability) แต่ ในภาวะต่างของสารละลายแอมโมเนียโปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นพอลิเปปไทด์และกรดอะมิโนประมาณ 10 หมู่ ทำให้ความเสถียรของน้ำยางลดลง (Destabilization) และเปลี่ยนสมบัติในการจับตัวเป็นก้อน (Coagulation) ของน้ำยาง การกำจัดหรือการลดโปรตีนสามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางเคมี กายภาพ หรือการใช้วิธีการทางเคมีและกายภาพร่วมกัน รวมถึงการปั่นเหวี่ยง (Centrifugation) เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน การใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน การใช้สารลดแรงตึงผิว และการล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดโปรตีนที่ตกค้างในน้ำยางออก สามารถสรุปวิธีการกำจัดโปรตีนได้ดังนี้ [18]

- วิธีเคมี (Chemical treatment) โดยการใช้สารเคมีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium hydroxide; $\text{Al}(\text{OH})_3$) และซิลิกาไดออกไซด์ (Silica dioxide; SiO_2) ทำปฏิกิริยากับน้ำยาง ซึ่งทำให้ระดับโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 20 สารเคมีที่ใช้เดิมนั้นแบ่งเป็น 5 ชนิดคือ Inorganic salts, Inorganic oxides, Metal powder, Organic compounds และ Polymeric Materials
- การใช้เอนไซม์ (Enzyme treatment) การใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีนในน้ำยางเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก เนื่องจากช่วยรักษาสมบัติเดิมทางกายภาพของยางธรรมชาติ ปกติยางธรรมชาติจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก สามารถละลายน้ำและอยู่ในรูปของสารสกัดโปรตีน (Extracted protein) ซึ่งเอนไซม์ที่ใช้ ได้แก่ เอนไซม์โปรติเอส (Proteases) เป็นไฮโดรไลติกเอนไซม์ (Hydrolytic enzyme) ที่สามารถทำให้พันธะ

เพปไทด์เกิดการแยกออกได้นอกจากนี้พบว่า การใช้เอนไซม์ร่วมกับการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพเป็นอย่างมากในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติ

- การใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant treatment) สารลดแรงตึงผิวชนิด Non-ionic surfactant ที่นิยมใช้ คือ ไตรตันเอ็กซ์ -100 (Triton™ X-100) และสารลดแรงตึงผิวชนิด Anionic surfactant ที่นิยมใช้ คือ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodium dodecyl sulfate; SDS)
- การใช้ฟุ้งซิลิกา (Fumed silica) กลไกการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติของซิลิกา เนื่องมาจากการรวมตัวของสารประกอบระหว่างโปรตีนและไขมันในน้ำยาง เมื่อเติมแอมโมเนียลงไปจะทำให้ส่วนที่เป็นไขมันไฮโดรไลซ์อย่างช้าๆ และเกิดกรดไขมัน (Fatty acids) ขึ้น ทำให้สามารถดูดซับโปรตีนออกจากอนุภาคของน้ำยางได้ ซึ่งเกิดการแทนที่โปรตีนโดยซิลิกา ดังแสดงในรูปที่ 2.4 [19]



รูปที่ 2.4 กลไกการแทนที่โปรตีนโดยซิลิกา

การกำจัดฟอสโฟไลปิด (Phospholipid removal) ยางธรรมชาติมีหมู่ฟังก์ชันแอลฟาต่ออยู่กับฟอสโฟลิปิด เป็นจุดกำเนิดของสายโซ่แบบกิ่งก้านและเจล เกิดจากกรดไขมันประมาณสองโมล และฟอสฟอรัสอะตอมประมาณหนึ่งโมลต่อหนึ่งสายโซ่ของยาง การกำจัด ฟอสโฟไลปิดในยางมีผลทำให้เกิดสายโซ่โมเลกุลยางแบบตรง สามารถสรุปวิธีการกำจัดได้ดังนี้

- วิธีการสกัด (Phospholipids extraction) โดยทั่วไปนำไปสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนและอบในสุญญากาศที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จากนั้นสกัดด้วยตัวทำละลายผสมของคลอโรฟอร์มและเมทานอลในอัตราส่วน 2:1 วิธีนี้มีข้อดีคือสามารถกำจัดฟอสโฟไลปิดได้ดี แต่ต้องใช้เวลานาน
- วิธีสะaponification) นำน้ำยางมาผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยเบส เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถกำจัดส่วนที่เป็นโปรตีนได้ ทำได้ง่ายและรวดเร็ว แต่คุณภาพยางที่ได้ขึ้นอยู่กับความ

แรงของเบสที่ใช้ ซึ่งหากใช้เบสแก่ในปริมาณมากจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลง ส่งผลให้ค่าความหนืดมูนนี้ต่ำ

- วิธีทรานเอสเทอร์ิฟิเคชัน (Transesterification) นำยางที่ละลายในตัวทำละลายโทลูอินมาทำปฏิกิริยากับโซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide; CH_3NaO) ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง วิธีนี้ใช้เวลาน้อย แต่อย่างไรก็ตามการเจือจางน้ำยางด้วยตัวทำละลายโทลูอินซึ่งส่งผลให้ยางที่ได้มีปริมาณเนื้อยางน้อยไม่เหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

จากกระบวนการที่กล่าวมา พบว่าวิธีที่นิยมใช้ในการกำจัดโปรตีนได้แก่การใช้เอนไซม์และการใช้สารลดแรงตึงผิว ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนที่ใกล้เคียงกัน แต่การใช้สารลดแรงตึงผิวมีต้นทุนต่ำ อีกทั้งสามารถควบคุมปริมาณสารได้แม่นยำกว่าการใช้เอนไซม์ ในส่วนของวิธีสะปอนนิฟิเคชัน นอกจากจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสโฟไลปิดแล้วนั้น ยังพบว่ามีผลในการกำจัดโปรตีนได้อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้กระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวในการกำจัดโปรตีน กระบวนการสะปอนนิฟิเคชันในการกำจัดทั้งหมู่ฟอสโฟไลปิดและโปรตีนบางส่วน และกระบวนการกำจัดหมู่คาร์บอนิล โดยศึกษาปริมาณสาร ระยะเวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตยางแห้งที่ผ่านเกณฑ์กำหนดเฉพาะของยางแท่งเกรด CV ตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) ซึ่งกำหนดให้มีค่าความหนืดมูนนี้เท่ากับ 60 ± 5 ค่าดัชนีความอ่อนตัวเริ่มแรกไม่ต่ำกว่า รวมทั้งทำ 30 การทดสอบความแข็งขณะเก็บโดยวิธีเร่งเพิ่มความแข็ง (Accelerated storage hardening test) โดยต้องมีค่าไม่เกิน 8 หน่วย เมื่อเทียบกับวิธีผลิตยางความหนืดคงที่วิธีเดิมที่ใช้สารไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟตเป็นสารควบคุมความหนืด

2.7 สมบัติของยางธรรมชาติ

2.7.1 สมบัติน้ำยาง [10]

ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง หมายถึง ปริมาณยางส่วนที่เป็นเนื้อยางทั้งหมดในน้ำยาง รวมกับสารอื่นๆ ที่เป็นของแข็งและไม่ใช่น้ำยาง เป็นสมบัติที่จะสามารถบ่งชี้ว่า น้ำยางมีส่วนอื่นๆ ที่ไม่ใช่น้ำยางมากน้อยเพียงใด ส่วนอื่นๆนี้อาจมีอยู่ในน้ำยางตั้งแต่เริ่มที่ออกจากต้นยาง หรืออาจเจือปนในน้ำยาง โดนเจตนาหรือไม่เจตนา ซึ่งจะมีความเสถียรของน้ำยาง

ปริมาณเนื้อยางแห้ง หมายถึง ปริมาณส่วนที่เป็นเนื้อยางในน้ำยาง ซึ่งได้จากการทำให้น้ำยางจับตัวด้วยกรดอะซิติก ภายใต้การควบคุมสภาพการจับตัวอย่างแน่นอน เป็นค่าบ่งชี้ปริมาณของเนื้อยางจริงๆ ซึ่งมีความสำคัญในการซื้อขาย และยังมีความสำคัญต่อการนำน้ำยางขึ้นไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง เพราะการออกสูตรส่วนผสมของสารเคมีต่างๆ ในการทำผลิตภัณฑ์ยางจะคำนวณปริมาณสารเคมีต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้งเมื่อนำค่าปริมาณเนื้อยางแห้งหักออกจากค่าปริมาณของแข็งทั้งหมด จะได้ค่าของสารอื่นๆที่เป็นของแข็งและไม่ใช่น้ำยาง

ปริมาณความเป็นด่าง หมายถึง ปริมาณด่างอิสระทั้งหมดในน้ำยาง แสดงเป็นปริมาณแอมโมเนีย เพราะส่วนใหญ่ของน้ำยางจะรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย

ปริมาณกรดไขมันระเหย หมายถึง ปริมาณของกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นโดยการไฮโดรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตในเซรัมของน้ำยาง กรดเหล่านี้ประกอบด้วยกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก และกรดพรอพิโอนิก เป็นส่วนใหญ่ การเกิดกรดไขมันระเหยในน้ำยาง เนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ที่ใช้คาร์โบไฮเดรตในเซรัมของน้ำยางเป็นอาหาร ดังนั้นค่ากรดไขมันระเหยจึงเป็นค่าที่บ่งชี้การเสียสภาพ ค่าที่สูงแสดงว่าน้ำยางถูกเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายมาก น้ำยางจะสูญเสียสภาพความเป็นของเหลว บุคเน่าและจับเป็นก้อนได้

ปริมาณแมกนีเซียม หมายถึง ปริมาณของธาตุแมกนีเซียมซึ่งมีผลต่อความเสถียรเชิงกล (Mechanical Stability Time, MST) ปริมาณก่อนยางจับตัว ดังนั้นในกระบวนการการผลิตน้ำยางขึ้นจากน้ำยางสดโดยเทคนิคการปั่นเหวี่ยงต้องมีการกำจัดโลหะแมกนีเซียมออกจากน้ำยาง

2.7.2 สมบัติยางแห้ง [11]

ปริมาณสิ่งสกปรก หมายถึง ปริมาณของสารที่ได้จากการกรองด้วยตัวกรอง ที่มีแผ่นตะแกรงกรองขนาดรูตะแกรง 325 เมช หรือ 44 ไมครอน ซึ่งสารที่ได้จากการกรองนั้น ประกอบด้วยสารแปลกปลอมอื่นๆ เช่น เปลือกไม้ ดิน ใบไม้ ปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกมีความสำคัญต่อกระบวนการนำยางไปแปรรูปทำผลิตภัณฑ์ยาง ถ้าหากยางมีปริมาณสิ่งสกปรกสูง จะมีผลกระทบต่อปริมาณการแปรรูปและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมการผลิตยางให้มีปริมาณสิ่งสกปรกน้อยที่สุด

ปริมาณเถ้า หมายถึง ปริมาณสารที่ประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์ พวคาร์บอนออกไซด์ และฟอสเฟตของโพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และแร่ธาตุอื่นๆ นอกจากนี้เถ้าอาจเป็นพวกซิลิกาหรือซิลิเกตที่มีอยู่ในยางเองหรือปะปนมาจากข้างนอก ปริมาณเถ้าจะเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในยางดิบ และช่วยบ่งชี้ว่ามีการเติมสารตัวเติมลงไปช่วยเพิ่มน้ำหนักยางหรือไม่

ปริมาณสิ่งระเหย หมายถึง ความชื้น ถ้ามีปริมาณสูงจะเกิดราได้ง่าย มีกลิ่นเหม็น และเกิดปัญหาระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทำให้ยางลื่นบดผสมกับสารเคมีอื่นได้ยาก

ปริมาณไนโตรเจน หมายถึง ปริมาณโปรตีน การกำหนดขีดจำกัดในยางแห้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ผลิตนำยางนี้ไปใช้ ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนสูงมาผลิตยางแห้ง เพราะมีผลทำให้เกิดการคงรูปเร็วขึ้น

ดัชนีความอ่อนตัว หมายถึง ความต้านทานของยางดิบต่อการแตกหักของโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง หรือต่อการออกซิเดชัน ยางที่มีดัชนีความอ่อนตัวสูง แสดงว่ามีการต้านทานต่อการแตกหักของโมเลกุลสูง

ความหนืดมูนี เป็นสมบัติที่ระบุคุณภาพด้านการนำยางไปใช้ ค่าความหนืดสัมพัทธ์โดยตรงต่อน้ำหนักโมเลกุลของยาง ยางที่มีความหนืดสูงหมายความว่ายางนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลมาก ยางที่มีความหนืดสูง จะแข็งมาก เมื่อนำไปใช้ต้องใช้เวลาในการบดให้ยางนิ่ม หรือให้ยางมีความหนืดลดลง ทั้งนี้เพราะโมเลกุลยางถูกตัดทอนให้สั้นลงขณะที่บดยาง เมื่อยางนิ่มตามต้องการแล้วจึงจะสามารถผสมสารเคมีอื่นๆได้

การทดสอบค่าความแข็งขณะเก็บ เป็นการเพิ่มความหนืดของยางเนื่องจากเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยาง ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีแบบคอนเดนเซชันของกลุ่มอัลดีไฮด์เป็นส่วนใหญ่ และบางส่วนของกลุ่มเพอออกซิติก ที่มีอยู่ในโมเลกุลยางตามธรรมชาติ ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดสอบเพิ่มความแข็งระหว่างเก็บจึงเป็นค่าที่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความหนืดของยาง

2.8 น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ

น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติดีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธ์และอายุของต้นยาง โดยค่าของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติของยางโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น ช่วง 2(Bimodal) ดังรูปที่ จะซึ่ง 2.1 2.0 –เห็นค่าของน้ำหนักโมเลกุลที่ 1.0×10^5 และ $1.0 - 2.5 \times 10^6$ [20] โดยสัดส่วนระหว่างส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำต่อส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีค่าลดลงเมื่ออายุต้นยางมากขึ้น ยางธรรมชาติพันธ์ที่มีความหนืดสูง จะมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity Index; PDI) เป็นแบบ Unimodal ส่วนยางพันธ์ที่มีความหนืดต่ำ จะมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลเป็นแบบ Bimodal ค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางพันธ์ต่างๆ คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักโมเลกุลเชิงน้ำหนัก (Molecular weight average; M_w) ต่อน้ำหนักโมเลกุลเชิงโมเลกุล (Number average molecular weight; M_n) $PDI = M_w/M_n$ แสดงให้เห็นถึงความกว้างของการกระจายโมเลกุล สำหรับสารโมเลกุลใหญ่ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่าๆกัน จะมีค่า PDI ประมาณ 1 ในขณะที่สารโมเลกุลใหญ่ที่มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีค่า PDI สูงมากกว่า 1

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yungyongwattanakorn และคณะ [16] ศึกษาผลของเจลต่อการเกิดผลึกของยางเมื่อเกิดความแข็งขณะเก็บ พบว่าเมื่อเก็บตัวอย่างยางแห้งที่เตรียมจากน้ำยางสดไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสในภาวะความชื้นต่ำ ปริมาณเจล (Gel content) และความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (Crosslink density) เพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณเอสเทอร์ (Ester content) ลดลง นอกจากนี้ได้ศึกษาลักษณะผลึกของตัวอย่างยางแห้งดังกล่าวด้วยเทคนิคโพลาไรซ์ไลท์ไมโครสโคปี (Polarized light microscopy) ร่วมกับเทคนิคไดลาโตเมตรี (Dilatometry) พบว่าสเฟียรูไลต์ (Spherulites) ของผลึกยางมีขนาดและจำนวนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เกิดผลึก เป็นผลมาจากการที่

หมู่เอสเทอร์ในกรดไขมัน (Fatty acid ester groups) ในโมเลกุลยางเกิดโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง และโครงสร้างแบบร่างแหขึ้น สายโซ่อย่างจึงมีความสามารถในการเคลื่อนตัว (Chain mobility) ได้น้อยลง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างยางแห้งที่เตรียมจากน้ำยางสดกำจัดโปรตีนแล้วผ่านปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ไม่พบว่ามีเจล พันธะเชื่อมโยง หรือหมู่เอสเทอร์เกิดขึ้น

Nawamawat และคณะ [21] ศึกษาสมบัติของน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการกำจัดโปรตีนด้วยวิธีต่างกัน พบว่าน้ำยางสดที่กำจัดโปรตีนด้วยวิธีการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว สามารถกำจัดโปรตีนได้มากที่สุด ส่วนน้ำยางสดที่ผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเบสแก่สามารถกำจัดหมู่ฟอสโฟไลปิดได้มากที่สุด พิสูจน์ได้จากปริมาณเจลซึ่งเป็นตัวชี้ถึงโครงสร้างที่เป็นโซ่กิ่งและโครงสร้างที่เป็นร่างแหในโมเลกุลของยางนั้นมีค่าลดลง แต่เมื่อเก็บตัวอย่างไว้ มีเพียงน้ำยางสดสัปดาห์ พบว่า 6 ที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีปริมาณเจล และค่าความเป็นพลาสติก (Plasticity unit) คงที่

Yungyongwattanakorn และคณะ [22] ศึกษาผลของส่วนที่ไม่ใช่ยางต่อการเกิดความแข็งแรงและการเกิดเจล พบว่าน้ำยางสดกำจัดโปรตีนที่ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันมีค่าความแข็งแรงที่ลดลง แสดงให้เห็นว่าโปรตีนไม่ใช่สาเหตุหลักของการเกิดโซ่กิ่งในโมเลกุลยาง ส่วนน้ำยางสดและน้ำยางสดกำจัดโปรตีนที่ผ่านกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันมีปริมาณไนโตรเจนเอสเทอร์ เจล น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย และค่าความแข็งแรงที่ลดลง เป็นการพิสูจน์ว่าการกำจัดกรดไขมันออก ส่งผลให้ส่วนที่เชื่อมต่อกันเป็นโซ่กิ่งแตกเป็นเส้นตรง อีกทั้งยังพบว่าการเก็บตัวอย่างไว้ที่ความชื้นสูง ตัวอย่างยางมีค่าความแข็งแรงเนื่องจากการเกิดลดลง แสดงว่าความชื้นมีผลช่วยยับยั้งการเกิดความแข็งแรง

Li และคณะ [23] ศึกษาโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของยางแห้งที่ผลิตจากน้ำยางสดเมื่อเก็บยางไว้ในภาวะแรง พบว่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล มีลักษณะแคบลง ปริมาณเจลทั้งหมดและเจลขนาดใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เจลขนาดกลางและเจลขนาดเล็กมีแนวโน้มลดลง ค่าดัชนีความอ่อนตัวเริ่มต้น (Initial plasticity) เพิ่มขึ้น แต่ค่าดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity retention index) ลดลง ค่าดังกล่าวสอดคล้องกับค่าการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักด้วยความร้อน (Thermogravimetric analysis) ที่มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่ายางมีความเสถียรทางความร้อนลดลง อีกทั้งเมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ หมู่ไฮดรอกซิล

และสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่นของส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นและเกิดการเปลี่ยนขนาดของเจลจากขนาดเล็กเป็นขนาดใหญ่

Amnuayporn และคณะ [24] ทดลองกำจัดโปรตีนในน้ำยางโดยเอนไซม์และสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตน พบว่าสามารถกำจัดโปรตีนให้มีปริมาณลดลงได้ และเมื่อเติมสารละลายที่มีขี้คือ เมทานอล และกรดอะซิติกลงไป ส่งผลให้โซ่กิ่งในโมเลกุลยางแตกออก ปริมาณเจล และน้ำหนักโมเลกุลลดลง โดยกรดอะซิติกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแตกของพันธะไฮโดรเจน ที่เกิดจากการเชื่อมโยงของโมเลกุลพอสโพลีไลต์ได้ดีกว่าเมทานอล แต่อย่างไรก็ตามวิธีกำจัดเจล ดังกล่าวยังให้ประสิทธิภาพน้อยกว่าวิธีทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วยเบสแก่อย่างโซเดียมเมทอกไซด์ที่ทำให้ปริมาณเจลในตัวอย่างลดลงจนเป็นศูนย์

Sakdapipanich และคณะ [25] ศึกษาส่วนที่ไม่ใช่ยางในน้ำยางธรรมชาติ พบว่าประกอบด้วยโปรตีนและพอสโพลีไลต์กระจายในส่วนของซีรัม โดยอยู่รอบอนุภาคยางซึ่งเป็นตัวเพิ่มความเสถียรให้น้ำยางคงสภาพเป็นสารแขวนลอย เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบสูงสามารถกำจัดได้เพียงโปรตีนที่ละลายน้ำและโปรตีนที่อยู่รอบอนุภาคยาง แต่เมื่อนำน้ำยางสดมากำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์โปรตีโอไลติกสามารถกำจัดโปรตีนที่เชื่อมต่อกับอนุภาคยางได้ และเมื่อไฮโดรไลซิสน้ำยางสดด้วยเบสแก่ที่เรียกว่า วิธีสะปอนนิฟิเคชัน สามารถกำจัดได้ทั้งโปรตีนและกรดไขมันชนิดเอสเทอร์ทั้งส่วนที่เป็นอิสระและส่วนที่เชื่อมโยงกับอนุภาคยางได้

Amnuayporn และคณะ [26] ศึกษาการกำจัดโปรตีนในยางธรรมชาติพบว่า วิธีสะปอนนิฟิเคชันน้ำยางสดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และวิธีแช่ยางในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถกำจัดโปรตีนได้เทียบเท่าวิธีกำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์ แต่สามารถลดปริมาณกรดไขมันชนิดเอสเทอร์ได้มากกว่าการใช้เอนไซม์ แสดงให้เห็นว่าเบสแก่สามารถกำจัดอนุภาคของโปรตีนและกรดไขมันที่อยู่รอบอนุภาคยางได้ แต่เมื่อหาปริมาณเจลที่เกิดขึ้น พบว่ามีเพียงยางที่ผ่านการกำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์และยางที่ผ่านกระบวนการสะปอนนิฟิเคชันที่สามารถลดปริมาณเจลที่เกิดขึ้นได้ ทำให้ทราบว่ากระบวนการสะปอนนิฟิเคชันมีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดทั้งโปรตีน กรดไขมัน และเจล

Yungyongwattanakorn และคณะ [27] ศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางแท่งเกรด STR XL, STR 5L และ STR CV60 โดยเก็บยางไว้เป็นเวลา 14 เดือน พบว่ายางทั้งสามชนิดมีปริมาณเจล ค่าความหนืดมูนี้ และค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดโครงสร้างแบบโซ่กิ่งขึ้นระหว่างการเก็บ ที่เรียกว่าความแข็งขณะเก็บ โดยยางเกรด STR CV60 มีอัตราการเพิ่มของทั้งสามสมบัติที่น้อยที่สุด

เนื่องจากยางชนิดนี้เติมสารไฮดรอกซิลเอมีนซึ่งเป็นสารควบคุมความหนืดที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเกิดเจลได้ และเมื่อทดสอบค่าความหนืดมูนนี่เมื่อคลายตัว (Mooney relaxation) พบว่ายางเกรด STR CV60 มีค่าความหนืดมูนนี่เมื่อคลายตัวน้อยที่สุดเนื่องจากยางชนิดนี้มีโครงสร้างที่เป็นโซ่กิ่งลดลง จึงส่งผลให้ความยืดหยุ่นลดลง

หรรษา และคณะ [28] ศึกษาวิธีผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 5 ชนิดความหนืดคงที่ โดยการเติมสารควบคุมความหนืดลงในน้ำยาง การฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดบนก้อนยางฝอย และทั้งเติมและฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดลงในยาง ยางที่ผลิตได้มีสมบัติตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์ จากนั้นเก็บยางไว้เป็นเวลาหนึ่งปี พบว่ายางที่ฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดบนก้อนยางฝอยไม่สามารถทำให้ความหนืดของยางคงที่ แต่ยางที่ผลิตจากการเติมสารควบคุมความหนืดลงในน้ำยาง ทั้งที่เติมและฉีดพ่นสารควบคุมความหนืดลงในยาง ส่งผลทำให้ความหนืดของยางคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเติมสารควบคุมความหนืดลงในน้ำยางเป็นวิธีใช้สารในปริมาณน้อย สามารถทำการผลิตได้สะดวกและรวดเร็ว

Sekhar และคณะ [17] การเติมสารควบคุมความหนืด (Viscosity stabilizer) ในยางธรรมชาติ โดยเลือกใช้ semicarbazide, hydroxylamine sulphate และ dimedone (1,1 dimethyl cyclohexane-3,5-dione) อย่างไรก็ตามสารแต่ละตัวยังมีข้อจำกัด เพราะผลที่ได้ยังไม่มีความสม่ำเสมอ ดังนั้นการเลือกใช้สารแต่ละชนิดต้องแน่ใจว่าสารเคมีทั้งหมดต้องไปจับหมู่อัลดีไฮด์หรือหมู่ที่คล้ายกัน ซึ่งเป็นสาเหตุการแข็งตัวของยาง รวมทั้งสารเคมีจะต้องกระจายในยางได้เป็นอย่างดี

อัจฉรีย์ [29] ศึกษาการใช้สาร Hydroperse P50 เป็นสารตัดสายโซ่โมเลกุลยางให้สั้นลง และใช้ไฮดรอกซิลแอมโมเนียมซัลเฟตเป็นสารควบคุมความหนืด พบว่ายางที่ได้สามารถใช้เป็นวัตถุดิบที่ลดพลังงานในกระบวนการแปรรูป และประหยัดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยสมบัติด้านการแปรรูป ทั้งการดันยางและการรีดแผ่นให้ลักษณะชิ้นงานที่ดี สมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติหลังการวัลคาไนซ์ มีค่าใกล้เคียงกับยางที่ไม่ได้ลดน้ำหนักโมเลกุล จากการศึกษาระยะเวลาในการเก็บยางควบคุมน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดในช่วง 100 วัน พบว่า ค่าความหนืดมูนนี่และความอ่อนตัวเริ่มแรกของยางมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในส่วนของค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางมีค่าสูงขึ้นในระยะต้นและคงที่ที่ระยะเวลา 1 เดือน และเมื่อนำยางควบคุมน้ำหนักโมเลกุลไปใช้ทำเป็นกาวประเภท Pressure sensitive ให้ความแข็งแรงของการติดประสานและความหนืดน้อยกว่ายางที่ไม่ลดน้ำหนักโมเลกุล

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1	น้ำยางสด	ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา
3.1.2	กรดอะซิติก	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.3	เอทานอล	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.4	กรดไฮโดรคลอริก	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.5	โซเดียมคาร์บอเนต	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.6	แอมโมเนียมซัลเฟต	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.7	กรดซัลฟิวริก	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.8	แบเรียมไฮดรอกไซด์	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.9	แคลเซียมคาร์บอเนต	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.10	กรดฟอร์มิก	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.11	ไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟต	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.12	โซเดียมไฮดรอกไซด์	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.13	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.14	โซเดียมดีเตซิลซัลเฟต	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Fluka (สหรัฐอเมริกา)
3.1.15	โซเดียมเมทอกไซด์	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.16	ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Fluka (สหรัฐอเมริกา)
3.1.17	โทลูอิน	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.18	เตตระไฮโดรฟิวแรน	เกรตจีพีซีบริษัท Fisher (อังกฤษ)
3.1.19	เมทิลเรด	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.20	ฟีนอล์ฟทาลีน	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.21	แอมโมเนีย	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.22	แอมโมเนียมคลอไรด์	เกรตวิเคราะห้ บริษัท Merck (เยอรมนี)

3.1.23 โฟแทสเวียมไซยาไนด์	เกอร์ดิวิเคราะห์ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.24 ไดแอมโมเนียมเอทิลลีนไดเอมีน เตตระแอสิต (อีดีทีเอ)	เกอร์ดิวิเคราะห์ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.25 ซิลีนีเยม	เกอร์ดิวิเคราะห์ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.26 อะซีโตน	เกอร์ดิวิเคราะห์ บริษัท Merck (เยอรมนี)
3.1.27 สารมาตรฐานพอลิสไตรีน	เกอร์ดิฟิซี บริษัท Merck (เยอรมนี)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องบดยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง	ยี่ห้อ NUMLEE FOUNDRY (มาเลเซีย)
3.2.2 ตู้อบลมร้อน	รุ่น MMM/Venticell 404 (เยอรมนี)
3.2.3 เครื่องวัดความหนา	ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น 2046 (ญี่ปุ่น)
3.2.4 เครื่องทดสอบความหนืดของยาง	ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น SMV-201 (ญี่ปุ่น)
3.2.5 เครื่องทดสอบความอ่อนตัวของยาง	ยี่ห้อ H.W. WALLACE รุ่น M.K. IV (อังกฤษ)
3.2.6 เครื่อง High speed centrifuge	ยี่ห้อ Jouan รุ่น MR 18 22 (ฝรั่งเศส)
3.2.7 เครื่อง Ultracentrifuge	ยี่ห้อ Beckman Coulter (สหรัฐอเมริกา)
3.2.8 เครื่อง Gel Permeation Chromatometer	ยี่ห้อ Waters e2695 (อังกฤษ)
3.2.9 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer	ยี่ห้อ PerkinElmer Frontier FT-IR (อเมริกา)
3.2.10 เครื่อง Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer	ยี่ห้อ Broker (เยอรมนี)
3.2.11 ตัวกรอง 40, 80 และ 325 เมช	รุ่น 316L (อังกฤษ)

3.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการวิจัย

3.3.1.1 ศึกษาพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และรายละเอียดพื้นฐานของแหล่งปลูกยางนั้น

3.3.1.2 การทดสอบปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid contents; TSC)

ทดสอบปริมาณของแข็งทั้งหมดตามมาตรฐาน 124:2011(E) โดยชั่งตัวอย่างน้ำยางประมาณ 2 กรัม เติมน้ำกลั่นประมาณ 1 มิลลิลิตร อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณของแข็งทั้งหมด ได้ดังสมการที่ (3.1)

$$\text{ร้อยละปริมาณของแข็งทั้งหมด} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

และ B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

3.3.1.3 การทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content; DRC)

ทดสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง ตามมาตรฐาน ISO 126:2005 (E) โดยชั่งตัวอย่างน้ำยางประมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่นเพื่อเจือจางให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดเป็นร้อยละ 20 โดยคำนวณปริมาตรน้ำกลั่นที่ใช้เจือจางได้ดังสมการที่สมการที่ (3.2) จับตัวเนื้อยางด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีหรือจนกระทั่งเซรัมใส จากนั้นนำไปรีดให้มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณเนื้อยางแห้ง ได้ดังสมการที่ (3.3)

$$\text{ปริมาตรน้ำที่ต้องเติม} = \frac{\text{TSC} \times A}{20} - A \quad (3.2)$$

$$\text{ร้อยละปริมาณเนื้อยางแห้ง} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

และ B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

3.3.1.4 การทดสอบปริมาณความเป็นด่าง (Alkalinity)

ทดสอบปริมาณความเป็นด่าง (Alkalinity) ตามมาตรฐาน ISO 125:2011(E) ซึ่งตัวอย่างน้ำยางประมาณ 5 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร และสารละลายเทอริกเอ16เอ (Teric A16A) ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อใช้เป็นสารรักษาสภาพน้ำยาง จากนั้นไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม คำนวณปริมาณความเป็นด่าง ได้ดังสมการที่ (3.4)

$$\text{ร้อยละปริมาณความเป็นด่าง} = \frac{1.7 \times C \times V}{m} \times 100 \quad (3.4)$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

V คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

และ m คือ น้ำหนักตัวอย่าง

3.3.1.5 การทดสอบปริมาณกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid number; VFA)

ทดสอบปริมาณกรดไขมันระเหย ตามมาตรฐาน ISO 506:1992(E) ซึ่งตัวอย่างน้ำยางประมาณ 50 กรัม เติมสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักเพื่อจับตัวเนื้อยาง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกเซรัมออกจากเนื้อยาง นำเซรัมปริมาตร 25 มิลลิลิตรออกจากเนื้อยาง และปรับเซรัมให้เป็นกรดโดยเติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 50 % (w/w) 5 มิลลิลิตร ปิดเปิดเซรัม 10 มิลลิลิตรใส่เครื่องกลั่น จากนั้นกลั่นจนได้สารละลาย 100 มิลลิลิตร ไตเตรทกับสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลินเป็นอินดิเคเตอร์ โดยจุดยุติเปลี่ยนจากสารละลายใสเป็นสีชมพู คำนวณปริมาณกรดไขมันระเหย ได้ดังสมการที่ (3.5)

$$\text{ร้อยละปริมาณกรดไขมันระเหย} = \frac{134.64 \times C \times V}{m \times \text{TSC}} \times \left[50 + \frac{m \times (100 + \text{DRC})}{102} \right] \quad (3.5)$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
 C คือ ความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์
 V คือ ปริมาตรของสารละลายแบเรียมไฮดรอกไซด์
TSC คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด
และ DRC คือ ปริมาณเนื้อยางแห้ง

3.3.1.6 การทดสอบปริมาณแมกนีเซียม (Magnesium content)

ทดสอบปริมาณแมกนีเซียม ตามวิธีการทดสอบของสถาบันวิจัยยาง โดยชั่งตัวอย่างน้ำยางประมาณ 1 กรัม เจือจางด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายบัฟเฟอร์แอมโมเนีย/แอมโมเนียมคลอไรด์ ปรับความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วง 10.0- 10.2 เติมโพแทสเซียมไซยาไนด์ 4 มิลลิลิตร ไทเตรทกับสารละลายอีดีทีเอ (Disodium ethylene diamine tetraacetic acid: EDTA) ความเข้มข้น 0.005 โมลาร์ คำนวณปริมาณแมกนีเซียมได้ดังสมการที่ (3.6)

$$\text{ร้อยละปริมาณแมกนีเซียม} = \frac{24.31 \times C \times (m-A)}{100 \times A} \quad (3.6)$$

เมื่อ m คือ น้ำหนักของตัวอย่างทดสอบ
 c คือ ความเข้มข้นของสารละลายอีดีทีเอ
 A คือ $\frac{m \times \text{TSC}}{100}$
และ TSC คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างยางแห้งความหนืดคงที่

กรองน้ำยางสด 2 ครั้งโดยใช้ตัวกรองความละเอียด 40 เมช และ 80 เมช ตามลำดับ จากนั้นเตรียมตัวอย่างยางแห้งทั้ง 4 กลุ่ม ดังนี้

3.3.2.1 ตัวอย่างยางแห้งจากน้ำยางสดที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา (Dried Rubber; DR)

นำน้ำยางสดมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอรั่มิกปริมาณ 0.6 ส่วนต่อน้ำหนักเนื้อยางแห้ง (Parts per hundred of rubber; phr) เป็นเวลา 30 – 60 นาที จากนั้นล้างแผ่นยางด้วยน้ำกลั่นจนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0 ± 1.0 ริดแผ่นยางด้วยเครื่องริดให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดย่อยแผ่นยางให้เป็นชิ้นเล็ก ผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำที่ผิวยางระเหย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 - 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2.2 ตัวอย่างยางแห้งจากน้ำยางสดที่เติมสารควบคุมความหนืด (Dried Rubber - HNS; DR-H)

นำน้ำยางสดมาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เติมสารไฮดรอกซิลเอมีนนิวทรัลซัลเฟตซึ่งทำหน้าที่เป็นสารควบคุมความหนืด ปริมาณ 0.15 phr กวนเป็นเวลา 10 นาที จับตัวเนื้อยางด้วยกรดฟอรั่มิกปริมาณ 0.6 phr เป็นเวลา 30 – 60 นาที จากนั้นล้างแผ่นยางด้วยน้ำกลั่นจนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0 ± 1.0 ริดแผ่นยางด้วยเครื่องริดให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดย่อยแผ่นยางให้เป็นชิ้นเล็ก ผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำที่ผิวยางระเหยและนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 - 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2.3 ตัวอย่างยางแห้งจากน้ำยางสดที่ผ่านกระบวนการสะปอนนิฟิเคชัน (Dried Rubber - Saponification; DR-S)

กระบวนการสะปอนนิฟิเคชันเป็นวิธีที่มุ่งกำจัดไขมันในยางธรรมชาติ อีกทั้งยังสามารถกำจัดโปรตีนได้บางส่วน ส่งผลให้ปริมาณเจลในโมเลกุลยางมีค่าลดลง สามารถเตรียมจากกระบวนการดังกล่าวได้โดยนำน้ำยางสดมาเติมสารละลายลายเบส กวนน้ำยาง จับตัวเนื้อยางโดยเติมกรดฟอรั่มิกจนน้ำยางมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.0 - 5.5 เป็นเวลา 30 – 60 นาที จากนั้นล้างแผ่นยางมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 7.0 ± 1.0 ริดแผ่นยางด้วยเครื่องริดให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดย่อยแผ่นยางเป็นชิ้นเล็ก ผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำที่ผิวยางระเหย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยศึกษาผลของตัวแปรสำคัญในการเตรียมยางแห้งจากกระบวนการสะปอนนิฟิเคชันดังนี้

ชนิดเบส โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide; KOH)

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH)

โซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium methoxide; NaOCH₃)

ความเข้มข้นสารละลายเบส (ร้อยละต่อน้ำหนัก) 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (ชั่วโมง) 1, 2, 3, 4, 5 และ 12

อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (องศาเซลเซียส) 30, 50 และ 70

3.3.2.4 ตัวอย่างยางแห้งจากน้ำยางสดที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว (Dried Rubber - Surfactant Washing; DR-W)

กระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวเป็นวิธีหลักที่ใช้กำจัดโปรตีนที่อนุภาคยาง แต่สามารถกำจัดอนุภาคอื่น เช่น ไขมัน ได้บางส่วน จึงมีผลในการลดการเกิดเจลในยางธรรมชาติ เตรียมได้โดยการนำน้ำยางสดมาเติมสารละลายโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แยกส่วนที่เป็นเซรัมทิ้ง เติมน้ำกลั่นลงในส่วนเนื้อยางให้มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรเริ่มต้น จับตัวเนื้อยางโดยเติมกรดฟอร์มิกจนน้ำยางมีค่าความเป็นกรดต่าง 5.0 - 5.5 เป็นเวลา 30 - 60 นาที จากนั้นล้างแผ่นยางด้วยน้ำกลั่นจนมีค่าความเป็นกรดต่าง 7.0 ± 1.0 รีดแผ่นยางด้วยเครื่องรีดให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ตัดย่อยแผ่นยางให้เป็นชิ้นเล็ก ผึ่งในที่ร่มเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้หน้าที่ผิวยางระเหย และนำไปอบที่อุณหภูมิ 55 - 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยศึกษาผลของตัวแปรสำคัญในการศึกษาการเตรียมยางแห้งจากกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว ดังนี้

ความเข้มข้นโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (ร้อยละต่อน้ำหนัก) 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0

จำนวนการปั่นซ้ำ (รอบ) 1, 2, 3, 4 และ 5

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) 8000, 10000, 13000, 15000 และ 19000

3.3.3 การทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity; MV)

เตรียมตัวอย่างยางแห้งให้มีความหนา 6 มิลลิเมตร และหนัก 12.5 กรัม จำนวน 2 ชิ้น เพื่อทดสอบตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.9 (1992) ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Mooney Viscometer ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น SMV-201 (ประเทศญี่ปุ่น) โดยใช้โรเตอร์ขนาดใหญ่ (ML) ทดสอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที

3.3.4 การทดสอบค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Initial plasticity; P_0) ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity retention index; PRI) และค่าความแข็งที่ภาวะเร่ง (Accelerated storage hardening test; A.S.H.T.)

เตรียมตัวอย่างยางแห้งให้มีความหนา 3.2 - 3.6 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.8 (1992) จำนวน 2 ชุด ชุดละ 3 ชิ้น ดังรูปที่ 3.1 อบตัวอย่างชุดที่ 2 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทดสอบตัวอย่างทั้ง 2 ชุดด้วยเครื่อง WALLACE RAPID PLASTIMETER ยี่ห้อ H.W. WALLACE รุ่น M.K.V (ประเทศเยอรมัน) คำนวณค่าดัชนีความอ่อนตัวดังสมการที่ (3.7)

$$PRI = \frac{P_{30}}{P_0} \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ P_0 คือ ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก

P_{30} คือ ค่าความอ่อนตัวหลังอบ

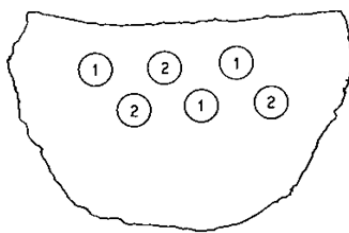
และ PRI คือ ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index)

ความแข็งที่ภาวะเร่งทดสอบตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part C.1 (1992) โดยเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดสอบดัชนีความอ่อนตัว แต่นำขึ้นทดสอบชุดที่ 2 ใส่ในขวดชั่งสารขนาด 50 มิลลิลิตร ที่มีฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ 6-8 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง คำนวณค่าความแข็งที่ภาวะเร่งดังสมการที่ (3.8)

$$\Delta P = P_H - P_0 \quad (3.8)$$

เมื่อ P_H คือ ค่าความอ่อนตัวที่ภาวะเร่ง

และ ΔP คือ ค่าความแข็งระหว่างเก็บ



รูปที่ 3.1 การตัดตัวอย่างทดสอบ

3.3.5 การทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก (Dirt Content)

ทดสอบปริมาณสิ่งสกปรกตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.4 (1992) โดยเตรียมตัวอย่างยางแห้งประมาณ 10 กรัม ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำมันสน 250 มิลลิลิตร และสารเคมีเร่งการละลายยางไซลิลเมอร์แคปแทน (Xylylmercaptan) 1 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส จนยางละลาย จากนั้นกรองสารละลายด้วยตัวกรองความละเอียด 325 เมช นำตัวกรองไปอบที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้ตัวกรองเย็นแล้วชั่งตัวกรอง วิธีคำนวณปริมาณสิ่งสกปรกที่ทดสอบได้ดังสมการที่ (3.9)

$$\text{ร้อยละปริมาณสิ่งสกปรก} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.9)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักยางแห้ง

และ B คือ น้ำหนักสิ่งสกปรกจากการกรอง

3.3.6 การทดสอบปริมาณสิ่งระเหย (Volatile Matter Content; VM)

ทดสอบปริมาณสิ่งระเหยตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.5 (1992) โดยเตรียมตัวอย่างยางแห้งประมาณ 10 กรัม บดตัวอย่างให้เป็นแผ่นบาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง นำตัวอย่างออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน วิธีคำนวณปริมาณสิ่งระเหยที่ทดสอบได้ดังสมการที่ (3.10)

$$\text{ร้อยละปริมาณสิ่งระเหย} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.10)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

และ B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

3.3.7 การทดสอบปริมาณเถ้า (Ash Content)

ทดสอบปริมาณเถ้าตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.6 (1992) โดยเตรียมตัวอย่างแห้งประมาณ 5 กรัม ห่อตัวอย่างด้วยกระดาษกรองใส่ในถ้วยทนความร้อน นำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 ± 20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว นำตัวอย่างออกจากเตาเผาทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน วิธีคำนวณปริมาณเถ้าที่ทดสอบได้ดังสมการที่ (3.11)

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.11)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักเถ้า

และ B คือ น้ำหนักตัวอย่าง

3.3.8 การทดสอบปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content)

ทดสอบปริมาณไนโตรเจนตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part B.7 (1992) โดยเตรียมตัวอย่างแห้งประมาณ 0.1 กรัม เติมสารเร่งปฏิกิริยาซีลีเนียมและกรดกำมะถันเข้มข้น จากนั้นนำไปย่อย และกลั่นด้วยชุดกลั่น micro-kjeldahl นำสารที่กลั่นได้มาไตเตรทกับสารละลายกรดกำมะถันเข้มข้น 0.01 นอร์มอล วิธีคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่ทดสอบได้ดังสมการที่ (3.12)

$$\text{ร้อยละปริมาณไนโตรเจน} = \frac{V \times N \times 0.014}{W} \times 100 \quad (3.12)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรสารละลายกรดกำมะถันที่ใช้ในการไตเตรท

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดกำมะถัน

และ W คือ น้ำหนักตัวอย่างแห้ง

3.3.9 การทดสอบปริมาณเจล (Gel Content)

การทดสอบปริมาณเจลตามมาตรฐาน ISO17278:2013 (E) ทำได้โดยนำตัวอย่าง ยาง กรัม แซ่ไนโทลูอิน 0.130 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-20 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความเร็ว 8,000 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แยกส่วนที่เป็นของเหลวออกจากเจล และตกตะกอนเจลด้วยอะซิโตน จากนั้นนำเจลใส่จานแก้ว และอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ วิธีคำนวณปริมาณเจลได้จากสมการที่ (3.13)

$$\text{ร้อยละปริมาณเจล} = \frac{B}{A} \times 100 \quad (3.13)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักยางแห้งเริ่มต้น

และ B คือ น้ำหนักเจลหลังอบ

3.3.10 การทดสอบการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิคเจลเพอร์มิเอชันโครมาโทกราฟี (Gel Permeation Chromatography; GPC)

ซึ่งตัวอย่างน้ำหนัก 0.005 กรัม ละลายด้วยเตตระไฮโดรฟิวแรนเกรดจีพีซี และปรับ ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บในที่มืดเป็นเวลา 72 ชั่วโมง กรองด้วยแผ่นกรองไนลอนที่มี รูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gel Permeation Chromatometer รุ่น Waters e2695 (ประเทศอังกฤษ) ดีเทคเตอร์ชนิด Refractive Index โดยใช้ตัวอย่าง ปริมาตร 50 ไมโครลิตร อัตราการไหล (Flow rate) 1 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 35 องศา เซลเซียส

วิเคราะห์ผลทดสอบโดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานพอลิสไตรีนความเข้มข้นดังนี้

พอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุล 30 - 500, 000	ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ต่อปริมาตร
พอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุล 5,000 - 600,000	ความเข้มข้นร้อยละ 0.10 ต่อปริมาตร
พอลิสไตรีนน้ำหนักโมเลกุล 50,000 - 4,000,000	ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 ต่อปริมาตร

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของน้ำยางสด

ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการทดลองได้มาจากยางพันธุ์ RRIM 600 อายุต้นยาง 16-20 ปี แหล่งปลูกยางจากจังหวัดฉะเชิงเทรา ลักษณะพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาด มีความลาดชันประมาณ 5 องศา สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 60 เมตร โดยน้ำยางสดมีสมบัติทางกายภาพและเคมี สรุปได้ดังตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำยางสดมีปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC) เฉลี่ยร้อยละ 38 ต่อน้ำหนัก และปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC) เฉลี่ยร้อยละ 36 ต่อน้ำหนัก ซึ่งปริมาณเนื้อยางแห้งจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำและปริมาณสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับน้ำยางก่อนการผลิตเป็นยางแห้ง และมีปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยางเฉลี่ยร้อยละ 1.5 ต่อน้ำหนัก ไม่พบปริมาณความเป็นต่างในน้ำยางสด เนื่องจากน้ำยางสดที่ใช้ในการผลิตยางควรมีปริมาณแอมโมเนียไม่เกิน 0.1 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง [12] แอมโมเนียจะส่งผลต่อปริมาณกรดที่ใช้ในการจับตัว และทำให้ยางแข็งและมีสีคล้ำขึ้น ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA) เฉลี่ย 0.01 หน่วย ซึ่งมีปริมาณต่ำกว่า 0.05 หน่วย แสดงว่าน้ำยางสดนั้นเพิ่งถูกกรดจากต้นยางหรือมีการเก็บรักษาสภาพไว้อย่างดี [10] ส่งผลให้น้ำยางที่นำมาใช้ในการทดลองเหมาะสำหรับการผลิตยางแห้ง และพบปริมาณแมกนีเซียมเฉลี่ย 239 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

4.2 สมบัติยางแห้งที่ผ่านกระบวนการเตรียมยางแห้งทั้ง 5 กระบวนการ

4.2.1 ยางแห้งไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา (DR)

ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติยางแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยา พบว่ายางที่ได้มีค่า A.S.H.T. เกิน 8 หน่วย แสดงถึงการเกิดความแข็งในยางธรรมชาติ เนื่องจากยางแห้งชนิดนี้มีส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยาง จึงเกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลยางเป็นโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง และร่างแหดังแสดงในรูปที่ 4.1 [30] ส่งผลให้ยางแห้งที่ผลิตได้มีความหนืดสูง สมบัติ MV , P_0 และ PRI จึงมีค่าสูงกว่ายางแห้งที่ผ่านการทำปฏิกิริยา

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำยางสด

สมบัติ	ผลการทดสอบ*
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC)	ร้อยละ 38 ± 2.0 ต่อน้ำหนัก
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC)	ร้อยละ 36 ± 2.0 ต่อน้ำหนัก
ปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non-Rubber)	ร้อยละ 1.5 ± 0.4 ต่อน้ำหนัก
ปริมาณความเป็นด่าง (NH ₃)	ไม่พบ
ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA)	0.0104 ± 0.01 หน่วย
ปริมาณแมกนีเซียม (Mg)	239 ± 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

* ผลการทดสอบเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่างน้ำยางสดจำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

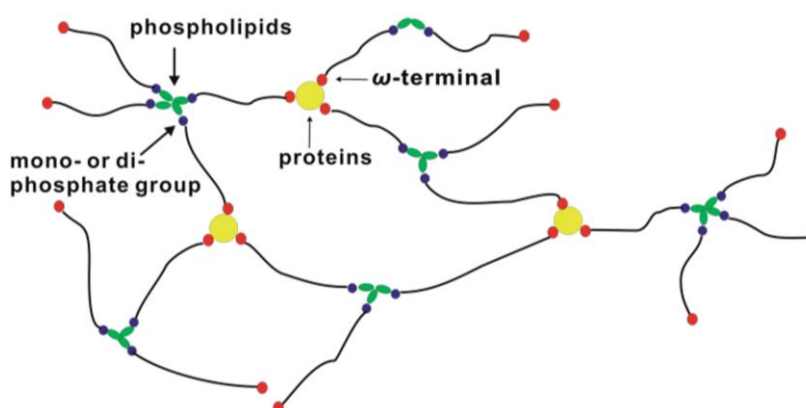
ตารางที่ 4.2 สมบัติของยางแห้งไม่ทำปฏิกิริยาและยางแห้งเติมสารควบคุมความเหนียว

ผลการทดสอบ	DR	DR-H	เกณฑ์กำหนด
ความเหนียว (หน่วย)	75.0 ± 8.0	62.3 ± 2.1	60.0 ± 5.0 ¹
ความอ่อนตัวเริ่มแรก (หน่วย)	43.0 ± 4.0	32.5 ± 2.5	ไม่ต่ำกว่า 30.0 ²
ดัชนีความอ่อนตัว (หน่วย)	90.0 ± 10.0	70.5 ± 2.3	ไม่ต่ำกว่า 60.0 ¹
ความแข็งที่ภาวะแรง (หน่วย)	37.0 ± 5.0	1.0 ± 2.0	ไม่เกิน 8.0 ³

¹อ้างอิงเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E)

²อ้างอิงเกณฑ์ยอมรับของผู้บริโภค

³อ้างอิงเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part C.1(1992)



รูปที่ 4.1 โครงสร้างร่างแหของยางธรรมชาติไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา

4.2.2 ยางแห้งเติมสารควบคุมความหนืด (DR-H)

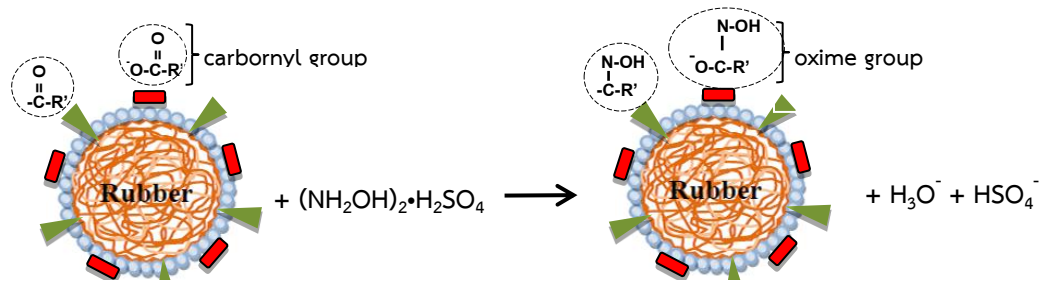
ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติยางแห้งเติมสารควบคุมความหนืด พบว่ายางแห้งชนิด DR-H มีค่า MV, P_0 , PRI และ A.S.H.T. ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากสารควบคุมความหนืด (HNS) ที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของส่วนที่ไม่ใช่ยางเกิดเป็นสารประกอบของหมู่ oxime แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งสารกลุ่มนี้ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับโมเลกุลยาง ส่งผลให้ยางแห้งชนิด DR-H มีสมบัติผ่านเกณฑ์กำหนดยางความหนืดคงที่

4.2.3 ยางแห้งจากกระบวนการสะปอนนิฟิเคชัน (DR-S)

จากการศึกษาชนิดของเบส อุณหภูมิ ระยะเวลา และความเข้มข้นของเบสในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

4.2.3.1 ผลของชนิดเบสในการทำปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาชนิดของเบสในการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันโดยใช้เบส KOH (DR-S1), NaOH (DR-S9) และ NaOCH_3 (DR-S20) ที่ความเข้มข้น 2 %w/v เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่ายางแห้งที่ได้จากการใช้เบส KOH ในการทำปฏิกิริยามีค่า P_0 และ PRI ผ่านเกณฑ์กำหนด แต่เนื่องจากเบสชนิดนี้ส่งผลให้น้ำยางมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง (13.5-13.7) อีกทั้งเมื่อ KOH ทำปฏิกิริยากับไขมันเกิดเป็นเกลือของโพแทสเซียมซึ่งมีสมบัติเป็นสารรักษาความคงตัวของสารแขวนลอย (Colloid stabilizer) ส่งผลให้น้ำยางสดซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในซีรัมมีความเสถียรมาก ทำให้ยากต่อการจับตัวเป็นก้อนยาง จึงจำเป็นต้องใช้กรดความเข้มข้นสูง (10 %v/v Formic acid) ในการจับตัว [9] ยางแห้งที่ได้จึงมีค่า MV และ A.S.H.T. สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยเฉพาะค่า A.S.H.T. ที่เป็นสมบัติที่แสดงถึงการเกิดความแข็งแรงเหนียวในยางธรรมชาติ ดังนั้นเบสชนิดนี้จึงไม่เหมาะสมในการผลิตยางความหนืดคงที่ แต่ยางแห้งที่ใช้เบสชนิด NaOH และ NaOCH_3 นั้นจะเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันกับหมู่คาร์บอนิลของส่วนที่ไม่ใช่ยางและเกิดเป็นเกลือโซเดียม (Carboxylate salt) ที่สามารถละลายในน้ำและถูกกำจัดออกได้ดังรูปที่ 4.3 เมื่อหมู่คาร์บอนิลถูกกำจัดออกจึงลดการเกิดพันธะเชื่อมโยงโมเลกุลยาง ส่งผลให้ยางแห้งที่ได้มีค่า A.S.H.T. ผ่านเกณฑ์กำหนด ในขณะที่สมบัติอื่น เช่น MV, P_0 และ PRI ไม่ผ่านเกณฑ์

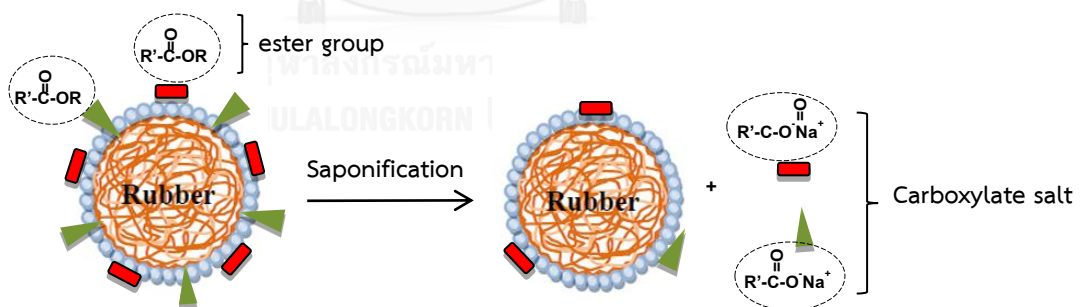


$R' = \text{H}$ for aldehyde group, $R' = \text{OR}$ for ester group, $R' = \text{alkyl}$ for ketone group, $R' = \text{amine}$ for protein

รูปที่ 4.2 ปฏิกิริยาระหว่างสารควบคุมความหนืด HNS กับยางธรรมชาติ

4.2.3.2 ผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ภายใต้ความเข้มข้นเบสชนิด NaOH และ NaOCH_3 2% w/v เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง (DR-S2, DR-S3, DR-S9, DR-S13, DR-S14 และ DR-S20) พบว่าการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันเกิดได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เนื่องจากยางแห้งที่ได้มีค่า A.S.H.T. ผ่านเกณฑ์กำหนด แต่อย่างไรก็ตามยางแห้งแสดงสมบัติ MV, P_0 และ PRI ต่ำกว่าเกณฑ์กำหนด อาจเป็นผลมาจากความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 กระบวนการสะปอนนิฟิเคชันในยางธรรมชาติ



รูปที่ 4.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางธรรมชาติ

ตารางที่ 4.3 สมบัติของยางแห้งจากกระบวนการสaponification ที่ภาวะต่าง ๆ

Sample Code	Reagent	Rxn. Temp. (°C)	Rxn. time (hr)	Reagent conc. (% w/v)	MV (unit) ¹	P ₀ (unit) ²	PRI (%) ³	A.S.H.T. (unit) ⁴
DR-S1	KOH	70	3	2.0	78.0 ± 1.9	41.5 ± 1.5	81.93 ± 4.0	25.0 ± 7.3
DR-S2	NaOH	30	3	2.0	74.0 ± 2.2	34.5 ± 0.7	75.36 ± 5.1	31.5 ± 5.2
DR-S3	NaOH	50	3	2.0	71.0 ± 1.7	37.0 ± 1.0	67.57 ± 5.2	29.0 ± 6.0
DR-S4	NaOH	70	1	2.0	51.0 ± 10.3	29.0 ± 12.5	58.62 ± 15.7	1.0 ± 6.5
DR-S5	NaOH	70	2	2.0	46.5 ± 6.9	30.0 ± 7.5	50.00 ± 5.4	1.0 ± 4.3
DR-S6	NaOH	70	3	0.5	70.0 ± 3.2	32.0 ± 2.8	68.75 ± 7.2	5.5 ± 2.7
DR-S7	NaOH	70	3	1.0	62.3 ± 4.1	30.0 ± 1.5	63.33 ± 7.1	3.5 ± 3.5
DR-S8	NaOH	70	3	1.5	59.4 ± 2.9	32.5 ± 2.0	65.63 ± 6.7	1.0 ± 1.5
DR-S9	NaOH	70	3	2.0	43.5 ± 2.1	28.5 ± 0.5	54.39 ± 5.8	3.5 ± 2.5
DR-S10	NaOH	70	4	2.0	*	*	*	*
DR-S11	NaOH	70	5	2.0	*	*	*	*
DR-S12	NaOH	70	12	2.0	*	*	*	*

¹ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ 5 ± 60

² เกณฑ์กำหนดสำหรับยางแห้ง คือ ไม่ต่ำกว่า 30

³ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ ไม่ต่ำกว่า 60

⁴ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part C.1(1992) คือ ไม่เกิน หนึ่ง 8

*ไม่ผ่านการจับตัวเป็นยางและผลิตเป็นยางแห้งได้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) สมบัติของยางแห้งจากกระบวนการสaponification ที่สถานะต่าง ๆ

Sample Code	Reagent	Rxn. Temp. (°C)	Rxn. time (hr)	Reagent conc. (% w/v)	MV (unit) ¹	P ₀ (unit) ²	PRI (%) ³	A.S.H.T. (unit) ⁴
DR-S13	NaOCH ₃	30	3	2.0	74.0 ± 2.0	35.0 ± 1.7	74.29 ± 6.3	29.0 ± 11.2
DR-S14	NaOCH ₃	50	3	2.0	71.5 ± 1.2	35.5 ± 1.4	66.20 ± 5.7	31.5 ± 10.0
DR-S15	NaOCH ₃	70	1	2.0	51.0 ± 12.0	28.0 ± 1.5	57.14 ± 18.0	6.0 ± 9.5
DR-S16	NaOCH ₃	70	2	2.0	46.0 ± 8.8	27.0 ± 4.4	57.41 ± 10.2	5.0 ± 5.0
DR-S17	NaOCH ₃	70	3	0.5	69.5 ± 1.8	33.0 ± 1.0	71.21 ± 7.5	6.0 ± 1.8
DR-S18	NaOCH ₃	70	3	1.0	62.1 ± 2.5	31.0 ± 2.1	64.52 ± 6.1	3.0 ± 2.0
DR-S19	NaOCH ₃	70	3	1.5	59.0 ± 3.1	31.0 ± 3.0	62.90 ± 6.2	4.0 ± 3.9
DR-S20	NaOCH ₃	70	3	2.0	43.5 ± 1.3	28.0 ± 1.6	53.57 ± 5.5	5.5 ± 3.5
DR-S21	NaOCH ₃	70	4	2.0	*	*	*	*
DR-S22	NaOCH ₃	70	5	2.0	*	*	*	*
DR-S23	NaOCH ₃	70	12	2.0	*	*	*	*

¹ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ 5 ± 60

² เกณฑ์กำหนดสำหรับยางแห้ง คือ ไม่ต่ำกว่า 30

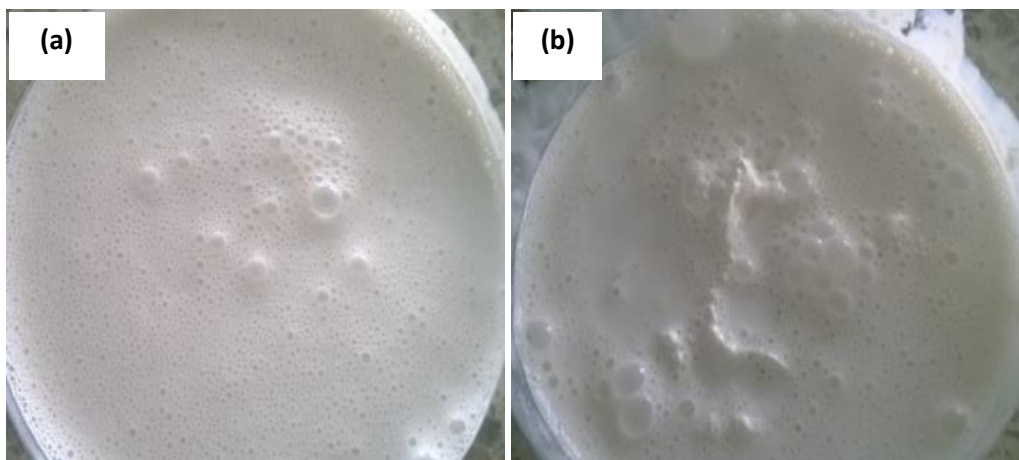
³ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ ไม่ต่ำกว่า 60

⁴ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน SNI bulletin No.7 part C.1(1992) คือ ไม่เกิน หน่วยงาน 8

*ไม่สามารถวัดจำนวนและผลิตเป็นยางแห้งได้

4.2.3.3 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ภายใต้ความเข้มข้นเบสชนิด NaOH และ NaOCH₃ 2% w/v ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (DR-S4, DR-S5, DR-S9, DR-S10, DR-S11, DR-S12, DR-S15, DR-S16, DR-S20, DR-S21, DR-S22 และ DR-S23) พบว่าน้ำยางสดเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กเมื่อทำปฏิกิริยาที่ 4 และ 5 ชั่วโมง และจับตัวเป็นก้อนจนไม่สามารถผลิตเป็นยางแห้งได้เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 12 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เนื่องจากน้ำยางสดที่ใช้ในการทดลองไม่ได้เติมสารรักษาสภาพจึงเกิดการจับตัวแข็งตามธรรมชาติภายในเวลา 4 – 24 ชั่วโมง สาเหตุเกิดจากการปล่อยประจุไฟฟ้าบวกจากส่วนของบีเซรัม และการเกิดกรดจากแบคทีเรียในน้ำยาง ซึ่งประจุบวกนี้จะจับกับประจุลบรอบอนุภาคยางจนเกิดการจับตัวเป็นก้อนยางขึ้น [31] ดังนั้นเวลาที่ 4, 5 และ 12 ชั่วโมง จึงไม่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ต่อมาเมื่อพิจารณาเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 1 – 3 ชั่วโมง (DR-S4, DR-S5, DR-S9, DR-S15, DR-S16 และ DR-S20) พบว่ายางแห้งมีค่า MV ลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสันนิษฐานได้ว่าโมเลกุลยางในส่วนที่มีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่งหรือร่างแหนั้นมีปริมาณลดลงตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้สายโซ่ยางเคลื่อนตัวได้ง่าย จึงทนต่อแรงบิดได้น้อยลงเมื่อทำการทดสอบด้วยเครื่อง Mooney Viscosity แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในส่วนของความเป็นพลาสติกที่ชัดเจน (Plasticity) จึงไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสมบัติ P₀, PRI และ A.S.H.T. แต่สังเกตการแปรปรวนของทั้งสมบัติ MV, P₀, PRI และ A.S.H.T. ได้อย่างชัดเจนที่เวลาการเกิดปฏิกิริยาที่ 1-2 ชั่วโมง เนื่องจากที่เวลาดังกล่าว ยังไม่เกิดการทำให้ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ ต่างจากการทำปฏิกิริยาที่ 3 ชั่วโมง ซึ่งแสดงค่าความแปรปรวนที่น้อยลงอย่างชัดเจนทั้งในกรณีที่ใช้เบสชนิด NaOH และ NaOCH₃ ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา คือที่ 3 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 ลักษณะของน้ำยางสดผ่านการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ณ เวลา (a) 4-5 ชั่วโมง (b) 12 ชั่วโมง

4.2.3.4 ผลของความเข้มข้นเบสในการทำปฏิกิริยา

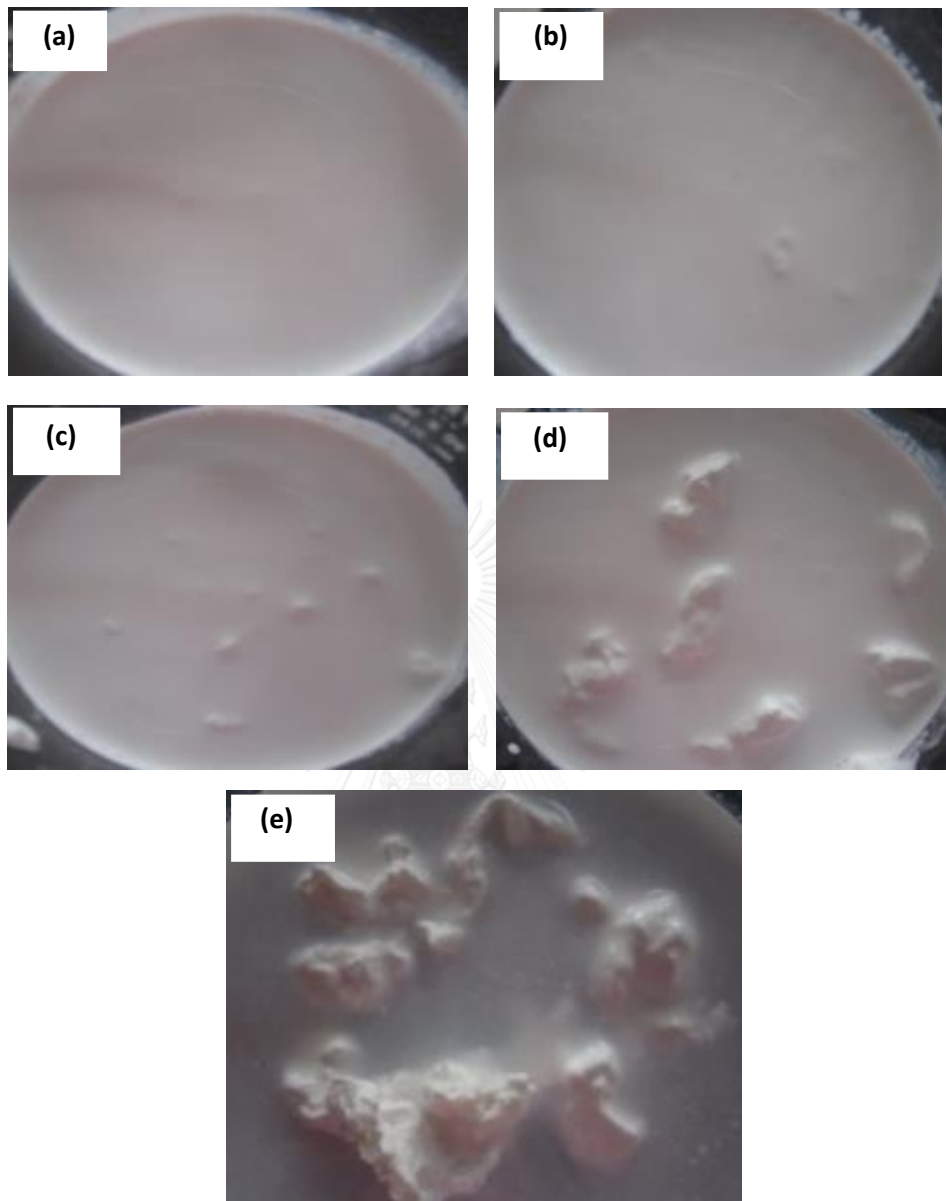
จากการศึกษาความเข้มข้นของเบสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ภายใต้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (DR-S6, DR-S7, DR-S8, DR-S9, DR-S17, DR-S18, DR-S19 และ DR-S20) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเบสทั้ง 2 ชนิด ยางแห้งที่ได้มีค่า MV, P_0 , PRI และ A.S.H.T. ลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นเบสส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกำจัดหมู่เอสเทอร์ของส่วนที่ไม่ใช่ยางและการลดปริมาณการเกิดเจลในโมเลกุลยางแห้งดีขึ้น [31] แต่อย่างไรก็ตาม ภายใต้ภาวะการเกิดกระบวนการสะปอนนิฟิเคชัน ยางแห้งที่ได้ยังมีสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน การใช้อุณหภูมิสูงถึง 70 องศาเซลเซียสไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรม การลดอุณหภูมิการทำปฏิกิริยา จำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันนานขึ้น ส่งผลให้น้ำยางสดจับตัวเป็นก้อน อีกทั้งการใช้เบสในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้ต้องใช้กรดในการจับตัวน้ำยางเพิ่มขึ้น จึงสิ้นเปลืองทั้งพลังงานและสารเคมี ดังนั้นกระบวนการสะปอนนิฟิเคชันในงานวิจัยนี้จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ได้จริงในภาคอุตสาหกรรม

4.2.4 ยางแห้งจากกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว (DR-W)

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตยางแห้งด้วยกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว ได้แก่ จำนวนซ้ำในการปั่นเหวี่ยง ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว และความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

4.2.4.1 ผลของจำนวนซ้ำของการปั่นเหวี่ยง

จากผลการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสดจำนวน 1-5 รอบ รอบละ 1 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส SDS 2 %w/v ความเร็วรอบ 19,000 rpm อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (DR-W1, DR-W2, DR-W6, DR-W11 และ DR-W12) สังเกตว่าน้ำยางสดที่ผ่านการปั่นเหวี่ยง 1-3 รอบ ไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (a) - (c) แต่การปั่นเหวี่ยงที่จำนวนรอบมากกว่า 4 รอบ น้ำยางจะจับตัวกันเป็นก้อนเหนียว ไม่สามารถเจือจางด้วยน้ำและผลิตเป็นยางแห้งได้ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (d) - (e) สมบัติของยางแห้งที่ได้ดังตารางที่ 4.4 พบว่าเทคนิคการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวให้ยางแห้งมีสมบัติ A.S.H.T. ผ่านเกณฑ์กำหนดเมื่อทำการปั่นเหวี่ยง 3 รอบ เนื่องจากการเพิ่มจำนวนรอบในการปั่นเหวี่ยงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดเจล ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Mekkiengkrui [32] ที่พบว่าการเพิ่มจำนวนซ้ำในการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสดส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1-3 รอบแรก และมีค่าคงที่ที่ทำการปั่นเหวี่ยง 3 รอบ รูปที่ 4.7 แสดงกลไกการกำจัดโปรตีนบนโมเลกุลของยางธรรมชาติ พบว่าโปรตีนที่เกาะอยู่บนผิวอนุภาคยาง ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ จะถูกจับตัวด้วยสารลดแรงตึงผิวและถูกกำจัดออกมาพร้อมกับเซรัมเมื่อผ่านการปั่นเหวี่ยง โดยกระบวนการทั้งหมดนี้ไม่ส่งผลต่อการทำลายอนุภาคยาง น้ำหนักโมเลกุลยางไม่เปลี่ยนแปลง และมีสมบัติ P_0 และ PRI ผ่านเกณฑ์กำหนด แต่มีค่า MV สูงกว่าเกณฑ์กำหนดเล็กน้อย



รูปที่ 4.6 น้ํายางสดที่ผ่านการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 19,000 รอบต่อนาที เป็นจำนวน (a) 1 (b) 2 (c) 3 (d) 4 และ (e) 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 สมบัติของยางแห้งจากการประมวลผลด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ภาวะต่าง ๆ

Sample Code	Reagent conc. (% w/v)	Re-centrifuge (time)	Speed (rpm)	MV (unit) ¹	P ₀ (unit) ²	PRI (%) ³	A.S.H.T. (unit) ⁴
DR-W1	2.0	1	19,000	66.5 ± 4.5	40.5 ± 3.5	85.5 ± 3.5	10.5 ± 6.5
DR-W2	2.0	2	19,000	65.0 ± 4.0	41.0 ± 2.0	87.0 ± 4.0	5.0 ± 4.0
DR-W3	0.5	3	19,000	70.5 ± 6.7	37.5 ± 4.0	80.00 ± 8.0	10.0 ± 5.5
DR-W4	1.0	3	19,000	69.3 ± 5.4	38.0 ± 3.5	83.88 ± 6.5	5.0 ± 6.0
DR-W5	1.5	3	19,000	70.8 ± 5.2	39.5 ± 3.5	84.15 ± 7.0	4.5 ± 5.0
DR-W6	2.0	3	8,000	72.5 ± 4.3	41.0 ± 2.5	85.37 ± 7.3	4.0 ± 2.5
DR-W7	2.0	3	10,000	71.8 ± 3.9	40.5 ± 3.3	82.72 ± 5.6	2.5 ± 2.7
DR-W8	2.0	3	13,000	73.4 ± 2.7	43.0 ± 2.7	81.40 ± 6.2	3.0 ± 2.9
DR-W9	2.0	3	15,000	74.5 ± 4.1	38.0 ± 3.2	82.11 ± 5.7	2.5 ± 2.2
DR-W10	2.0	3	19,000	67.5 ± 3.0	40.5 ± 2.5	85.50 ± 5.5	1.5 ± 1.0
DR-W11	2.0	4	19,000	- *	- *	- *	- *
DR-W12	2.0	5	19,000	- *	- *	- *	- *

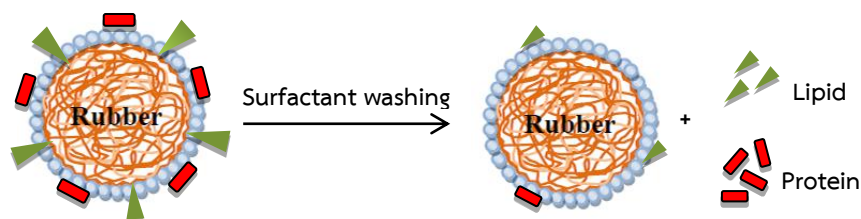
¹ เกล็ดที่ทำหตามตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ 5 ± 60

² เกล็ดที่ทำหตามสำหรับยางแห้ง คือ ไม่ต่ำกว่า 30

³ เกล็ดที่ทำหตามตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ ไม่ต่ำกว่า 60

⁴ เกล็ดที่ทำหตามตามมาตรฐาน SMR bulletin No. 7 part C.1(1992) คือ ไม่เกิน หน่วย 8

* ไม่สามารถจับตัวกันยางและผลิตเป็นยางแห้งได้



รูปที่ 4.7 กระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว

4.2.4.2 ผลของความเข้มข้นสารลดแรงตึงผิว

จากการศึกษาความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ 0.5-2.0 %w/v ภายใต้ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความเร็ว 19,000 rpm โดยปั่นซ้ำ 3 รอบ (DR-W3, DR-W4, DR-W5 และ DR-W10) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวส่งผลให้ ยางแห้งที่ได้มีค่า A.S.H.T. ลดลง เนื่องจากความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นทำให้สารลดแรงตึงผิว รวมกันเป็นกลุ่มที่เรียกว่า ไมเซลล์ สามารถจับกับโปรตีนได้ดีขึ้น [33] แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับโมเลกุลยาง การใช้ความเข้มข้นที่ 2 %w/v ยางแห้งที่ได้จะมีค่า A.S.H.T. ลดลง (0.5-2.5 unit) จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้น 2 %w/v เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับ เทคนิคการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว

4.2.4.3 ผลของความความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยง

เนื่องจากการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 19,000 rpm จำเป็นต้องใช้เครื่อง Ultracentrifuge ซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทดลองลดความเร็วรอบการปั่นเหวี่ยง จาก 19,000 rpm ลงมาที่ 15,000, 13,000, 10,000 และ 8,000 rpm ภายใต้ความเข้มข้นของ SDS 2% w/v อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยปั่นซ้ำ 3 รอบ (DR-W6, DR-W7, DR-W8, DR-W9 และ DR-W10) พบว่าที่ความเร็วรอบสูงกว่า 8,000 rpm จะให้ค่า A.S.H.T. ลดลงและมีแนวโน้มคงที่ ซึ่งสันนิษฐานว่าการใช้ความเร็วที่ 8,000 rpm มีผลกำจัดเฉพาะโปรตีนบริเวณรอบอนุภาคยาง แต่เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 10,000 rpm ขึ้นไปจะสามารถกำจัดโปรตีนในส่วนเสริมที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 14 kD ได้ (Tubanterng., 1998) นอกจากนี้ยางแห้งที่ได้มีสมบัติ P_0 และ A.S.H.T. ผ่านเกณฑ์

กำหนด แต่ยังมีค่า MV สูงกว่าเกณฑ์กำหนดเล็กน้อย เมื่อนำยางดังกล่าวไปบดด้วยเครื่องบดที่ความเร็ว 31 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10- 60 วินาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 พบว่า เมื่อใช้เวลาในการบดยางที่ 60 วินาที ยางแห้งที่ได้มีค่า MV, P₀, PRI และ A.S.H.T. ผ่านเกณฑ์กำหนด

ดังนั้นผู้วิจัยเลือกยางแห้งจากกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้สารละลาย SDS ความเข้มข้น 2% w/v ปั่นที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จำนวน 3 ซ้ำ (DR-W7) จากนั้นนำยางที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดที่ความเร็ว 31 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที

จากการทดลองข้างต้นในการเตรียมยางแห้งทั้ง 4 วิธี ผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกยางแห้งที่ผ่านเกณฑ์กำหนดของยางความหนืดคงที่ตามมาตรฐาน ISO 2000:2014(E) ได้แก่ ยางแห้งเติมสารควบคุมความหนืด (DR-H) และยางแห้งจากกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว (DR-W7) ไปศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเปรียบเทียบกับยางแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยา (DR) ต่อไป

ตารางที่ 4.5 สมบัติของยางแห้ง DR-W7 ผ่านการบดที่เวลาต่างๆ

เวลาในการ บด (วินาที)	MV (unit) ¹	P ₀ (unit) ²	PRI (%) ³	A.S.H.T. (unit) ⁴
0	71.8±3.9	40.5±3.3	82.72±5.6	2.5±2.7
15	70.3±1.0	38.0±1.0	81.17±2.44	2.7±0.8
30	69.4±0.8	35.5±0.9	79.82±2.87	1.8±0.6
45	67.9±1.3	34.0±0.5	76.99±3.13	2.2±1.0
60	63.5±1.3	32.8±0.8	75.16±2.74	1.8±0.8
75	62.7±1.4	31.3±0.6	73.92±1.23	2.2±0.8
90	60.0±3.0	29.3±0.8	73.30±4.16	2.2±1.3

¹ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ 60 ± 5

² เกณฑ์กำหนดสำหรับยางแห้ง คือ ไม่ต่ำกว่า 30

³ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ISO 2000:2014 (E) คือ ไม่ต่ำกว่า 60

⁴ เกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน SMR bulletin No.7 part C.1(1992) คือ ไม่เกิน 8 หน่วย

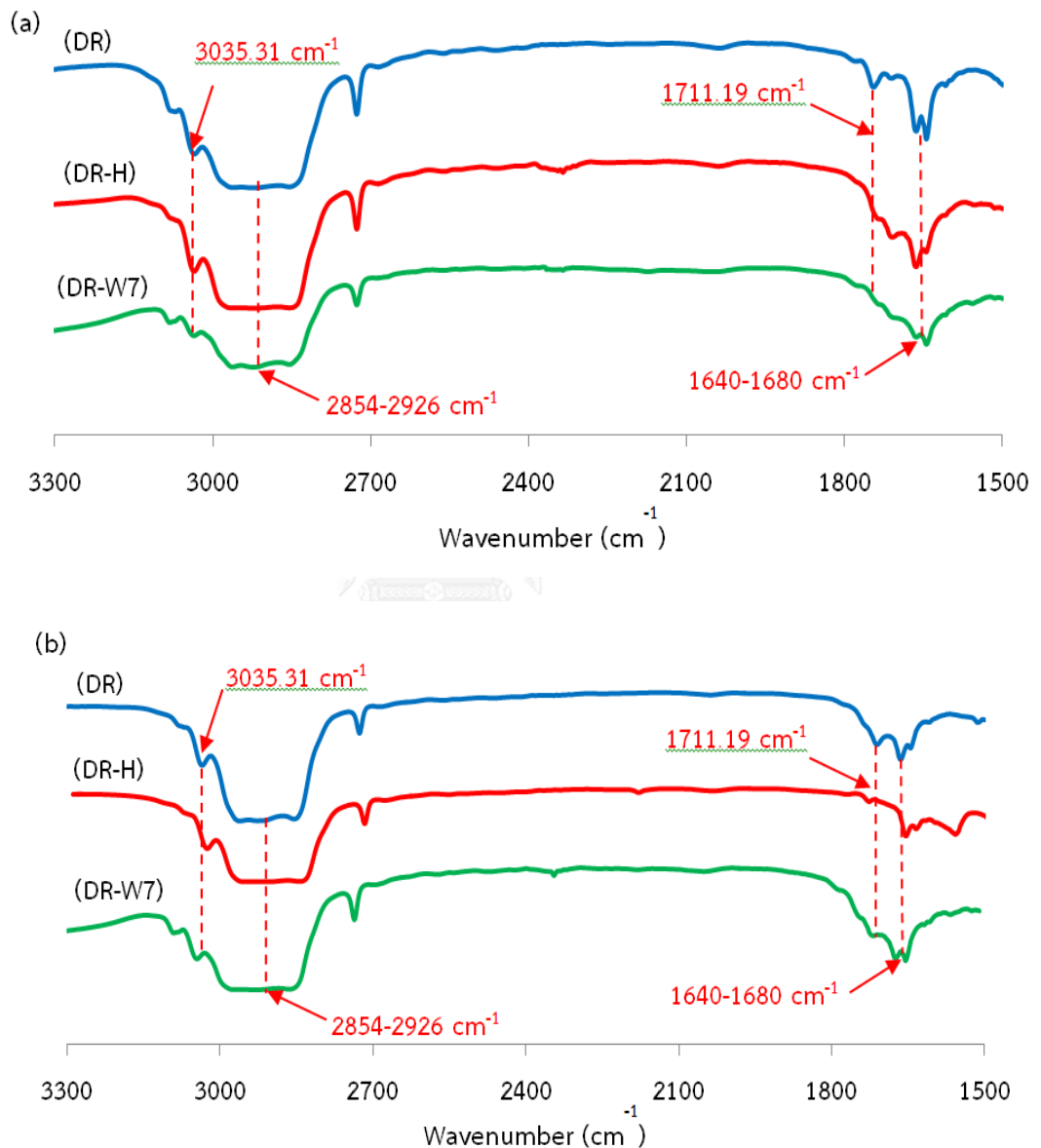
4.3 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีโดยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี

รูปที่ 4.8 (a) แสดง FT-IR สเปกตรัมของตัวอย่างยางแห้งทั้ง 3 ชนิด พบว่าตัวอย่างยางแห้งที่ได้จากน้ำยางสดไม่ทำปฏิกิริยา (DR) และยางแห้งที่ได้จากการการทำปฏิกิริยาทั้ง 2 กระบวนการ (DR-H และ DR-W) ต่างแสดงสเปกตรัมของโครงสร้างยางธรรมชาติ cis-1,4 polyisoprene ได้แก่ สเปกตรัม C-H stretching ของหมู่แอลคีน ที่ตำแหน่ง 3035.31 cm^{-1} , C-H stretching ของหมู่แอลเคนที่ตำแหน่ง $2854-2926 \text{ cm}^{-1}$ และ C=C stretching ของหมู่แอลคีนที่ตำแหน่ง $1680 - 1640 \text{ cm}^{-1}$ โครงสร้างที่แสดงความเข้มสูง (Strong band) ของหมู่คาร์บอนิล C=O stretching ที่ตำแหน่ง 1711.19 cm^{-1} ปรากฏชัดเจนในยางแห้งชนิด DR ในขณะที่ในยางแห้งอีก 2 ชนิด การปรากฏหมู่คาร์บอนิล C=O stretching ไม่ชัดเจน ซึ่งให้เห็นว่าวิธีการผลิตยางแห้งทั้ง 2 กระบวนการ มีประสิทธิภาพในการกำจัดหมู่คาร์บอนิลในส่วนที่ไม่ใช่ยางในโครงสร้างของโปรตีนและไขมัน (รูปที่ 4.9) แต่เมื่อเก็บยางแห้งไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ (รูปที่ 4.8 (b)) พบว่าความเข้มของสเปกตรัมของหมู่คาร์บอนิล (C=O stretching) ที่ตำแหน่ง 1711.19 cm^{-1} แสดงค่าเพิ่มขึ้นในตัวอย่างยางทั้ง 3 ชนิด แสดงถึงการเกิดความแข็งแรงขณะเก็บในยางทั้ง 3 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามยางแห้งที่ผ่านการทำปฏิกิริยายังแสดงความเข้มของพีดดังกล่าวที่ต่ำกว่ายางแห้งที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา เนื่องจากส่วนที่ไม่ใช่ยางในยางแห้งที่ผ่านการทำปฏิกิริยามีน้อยกว่า จึงมีลดโอกาสเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยาง

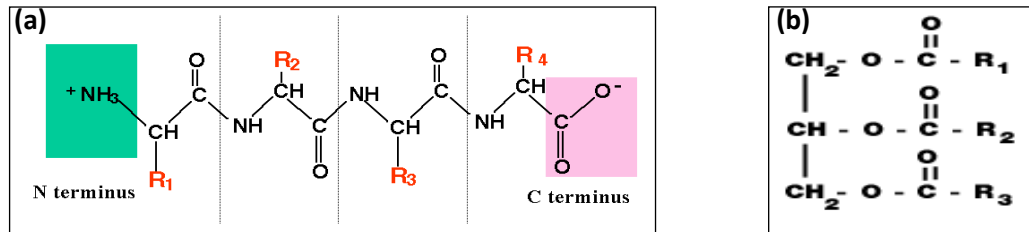
4.4 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี

รูปที่ 4.10 แสดง ^1H NMR (300 MHz) สเปกตรัมของยางแห้งที่ระยะเวลาการเก็บยาง 0 และ 12 สัปดาห์ พบว่าทั้งยางแห้งที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา (DR) และยางแห้งที่ผ่านการทำปฏิกิริยา (DR-H และ DR-W7) แสดงสเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกัน ประกอบด้วย Chemical shift ที่ตำแหน่ง $5.0 - 5.2 \text{ ppm}$ เป็นสัญญาณโปรตรอนที่ต่อกับ Vinylic carbon (ตำแหน่ง A) และ Chemical shift ที่ 2.0 และ 1.6 ppm เป็นสัญญาณโปรตรอนที่ต่อกับ Allylic carbon (ตำแหน่ง B และ C ตามลำดับ) โดยมีค่า Integrals ที่แสดงอัตราส่วนของจำนวนโปรตรอนที่ตำแหน่ง A:B:C คือ 1:4:3 ดังปรากฏในโครงสร้างของ cis-1,4-polyisoprene ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาโครงสร้างของยางธรรมชาติในงานวิจัยของ Pedro Carlos de Oliverira [34] และ Takayuki Saoto [35] พบว่าทั้งยางแห้งธรรมชาติและยางแห้งที่ผ่านการกำจัดโปรตีนต่างแสดงสเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกันดังแสดง

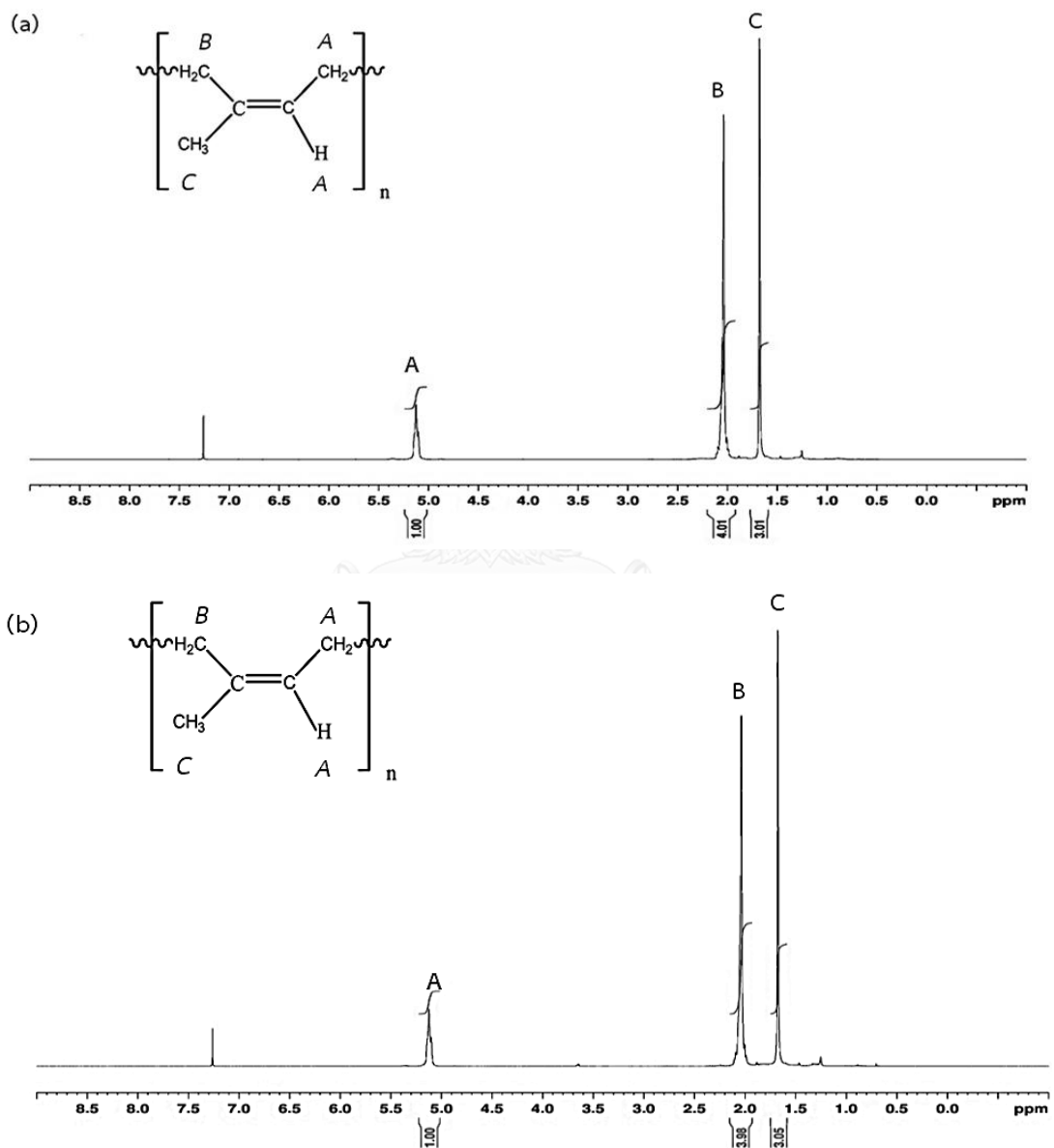
ในภาคผนวก ก. รูปที่ ก.1 ทั้งนี้เนื่องจากโปรตรอนที่ต่อกับคาร์บอนในโครงสร้างของยางธรรมชาติมีปริมาณมากกว่าโปรตรอนที่ต่อกับส่วนที่ไม่ใช่ยางเป็นอย่างมากทำให้การศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค ^1H NMR ไม่สามารถแสดงสเปคตรัมของส่วนที่ไม่ใช่ยางได้



รูปที่ 4.8 FT-IR สเปคตรัมของยางแห้ง 4 ตัวอย่าง ที่ระยะเวลาเก็บยางแห้ง (a) 0 สัปดาห์
(b) 12 สัปดาห์



รูปที่ 4.9 โครงสร้างทั่วไปของ (a) โปริตีน และ (b) ไชมัน



รูปที่ 4.10 ^1H NMR (300 MHz) สเปกตรัมของยางแท่ง 4 ตัวอย่างในตัวทำละลายดีวเทอเรทคลอโรฟอร์ม (Deuterated chloroform; CDCl_3) ที่ระยะเวลาเก็บยางแท่ง (a) 0 สัปดาห์ (b) 12 สัปดาห์

4.5 การหาปริมาณไนโตรเจน

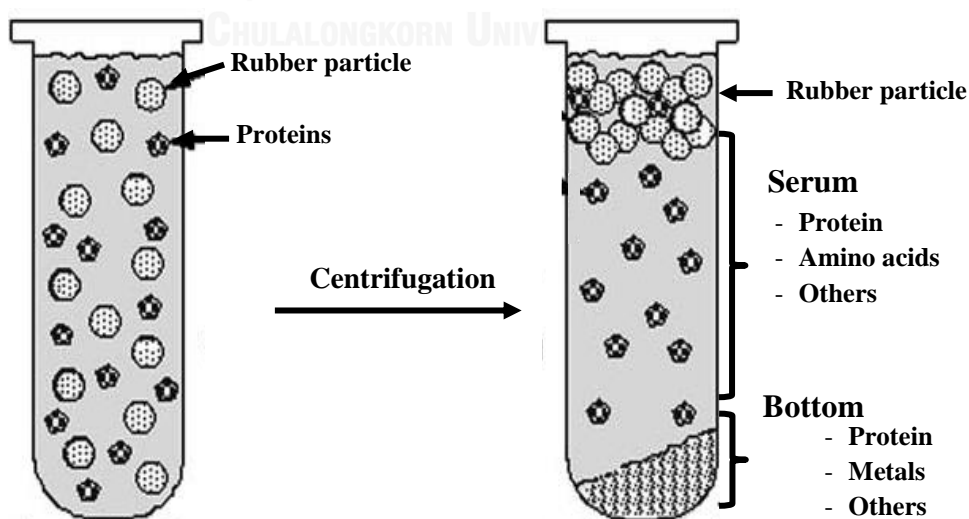
ปริมาณไนโตรเจนเป็นตัวชี้บ่งถึงปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่ายางแห้ง DR มีปริมาณไนโตรเจนสูงถึง 0.577 % ขณะที่ยางแห้ง DR-H มีปริมาณไนโตรเจนลดลงเหลือ 0.496 % และยางแห้ง DR-W7 มีปริมาณไนโตรเจนต่ำสุดที่ประมาณ 0.217 % เนื่องจากการบวนการเติมสารควบคุมความหนืด HNS มีผลในการลดความว่องไวของหมู่คาร์บอนิล ในขณะที่กระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว โปรตีนที่เกิดปฏิกิริยากับสาร SDS จะถูกแยกออกจากอนุภาคยางในขั้นตอนการปั่นเหวี่ยง อีกทั้งในขั้นตอนนี้ยังสามารถกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยางส่วนอื่นๆ ออกได้ดังแสดงในรูปที่ 4.11 [36] ส่งผลให้ยางแห้งที่ได้จากการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างยางแห้ง

Sample Code	MV (unit)	P ₀ (unit)	PRI (%)	A.S.H.T. (unit)	N ₂ (%)	Gel (%)	M _w (x10 ⁻⁶ g/mol)	PDI (M _w /M _n)
DR	75.0 ± 8.0	43.0 ± 4.0	90.0 ± 10.0	37.0 ± 5.0	0.577	14.33	2.38 ± 0.05	1.30
DR-H	62.3 ± 2.1	32.5 ± 2.5	70.5 ± 2.3	1.0 ± 2.0	0.496	6.23	1.67 ± 0.03	2.16
DR-W7	63.5 ± 1.3	32.8 ± 0.8	75.2 ± 2.74	1.8 ± 0.8	0.217	3.08	1.92 ± 0.02	1.43
Limit	60.0 ± 5.0 ¹	-	60, min ¹	8.0, max ²	0.6, max ¹	-	-	-

¹ อ้างอิงมาตรฐาน ISO2000:2014 (E) Rubber, raw natural – Guidelines for the specification of technically specified rubber (TSR)

² อ้างอิงมาตรฐาน Standard Malaysian Rubbers (SMR)



รูปที่ 4.11 กระบวนการปั่นเหวี่ยงน้ำยางสด

4.2 การหาปริมาณเจล

สาเหตุของการเกิดเจลในยางธรรมชาติเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนตรงตำแหน่งหมู่ปลายที่ต่อกับโปรตีน (ω - terminal) และพันธะไอออนิกตรงตำแหน่งหมู่ปลายที่ต่อกับไขมัน (α - terminal) เกิดเป็นโครงสร้างแบบโซ่กิ่ง หรือโครงสร้างแบบร่างแหขึ้น (ดังรูปที่ 4.1) ส่งผลให้ยางมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (ค่า MV และ P_0 เพิ่มขึ้น) ซึ่งปริมาณเจลหาได้จากการนำไปทดสอบการละลายในโทลูอีน แสดงดังตารางที่ 4.6 พบว่ายางแห้งที่ไม่ผ่านปฏิกิริยามีปริมาณเจลสูงถึง 14.33 % ในขณะที่ยางแห้งที่ผ่านการเติมสารควบคุมความหนืด และกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว มีปริมาณเจลลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากทั้ง 2 กระบวนการนี้สามารถกำจัดไขมันและโปรตีนซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดเจลได้ (ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.7)

4.3 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลและดัชนีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล

ตารางที่ 4.6 แสดง M_w และ PDI ของตัวอย่างยางแห้ง 3 ชนิด พบว่ายางแห้ง DR มี M_w สูงที่สุดคือที่ 2.38×10^6 กรัมต่อโมล เนื่องจากโมเลกุลยางซึ่งมีขนาดยาวและมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันเป็นร่างแหนั้นไม่ถูกทำลาย ต่างจากยางแห้งชนิด DR-W7 ที่โครงสร้างถูกตัดด้วยแรงกลจากการบดยาง ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงอยู่ที่ 1.92×10^6 กรัมต่อโมล และยางแห้ง DR-H ที่โมเลกุลยางบางส่วนถูกทำลายด้วยสาร HNS ซึ่งมีหมู่ซัลเฟตที่มีสมบัติเป็นกรด ส่งผลให้โมเลกุลยางเกิดการเสื่อมสภาพ สายโซ่ยางบางส่วนแตก จึงมีค่า M_w ลดลงต่ำสุดที่ 1.67 กรัมต่อโมล รวมทั้งยางที่ผ่านการทำปฏิกิริยาทั้ง DR-H และ DR-W7 ยังมีค่า PDI สูงขึ้น บ่งบอกถึงความไม่สม่ำเสมอของสายโซ่ยางในยางแห้งดังกล่าว

4.4 ผลการทดสอบยางแห้งความหนืดคงที่ตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 2000: 2014 (E)

ตารางที่ 4.7 แสดงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของยางแห้งทั้ง 3 ชนิด พบว่ายางแห้งมีปริมาณสิ่งสกปรกเพียงร้อยละ 0.007 เนื่องจากยางแห้งทั้ง 3 ชนิด ผลิตจากน้ำยางสดซึ่งกรองเศษวัสดุต่างๆออกไป ซึ่งสิ่งสกปรกจะมีผลต่อความแข็งแรง ความทนต่อการสึกกร่อน และความทนทานต่อการเกิดรอยแตกของผลิตภัณฑ์ยาง ในส่วนของปริมาณเถ้าพบเพียงร้อยละ 0.21 เนื่องจากยางแห้งที่ผลิตไม่มีส่วนผสมของสารอนินทรีย์หรือสารตัวเติม นอกจากนี้การอบยางเป็นเวลานานถึง 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.7 ปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า และปริมาณสิ่งระเหยในตัวอย่างยางแห้ง

Sample Code	Dirt content (% by mass)	Ash content (% by mass)	Volatile matter content (% by mass)
DR	0.007 ± 0.000	0.21 ± 0.01	0.37 ± 0.01
DR-H	0.006 ± 0.000	0.21 ± 0.00	0.37 ± 0.02
DR-W7	0.007 ± 0.002	0.20 ± 0.01	0.34 ± 0.01
Limit*	0.05, max	0.5, max	0.8, max

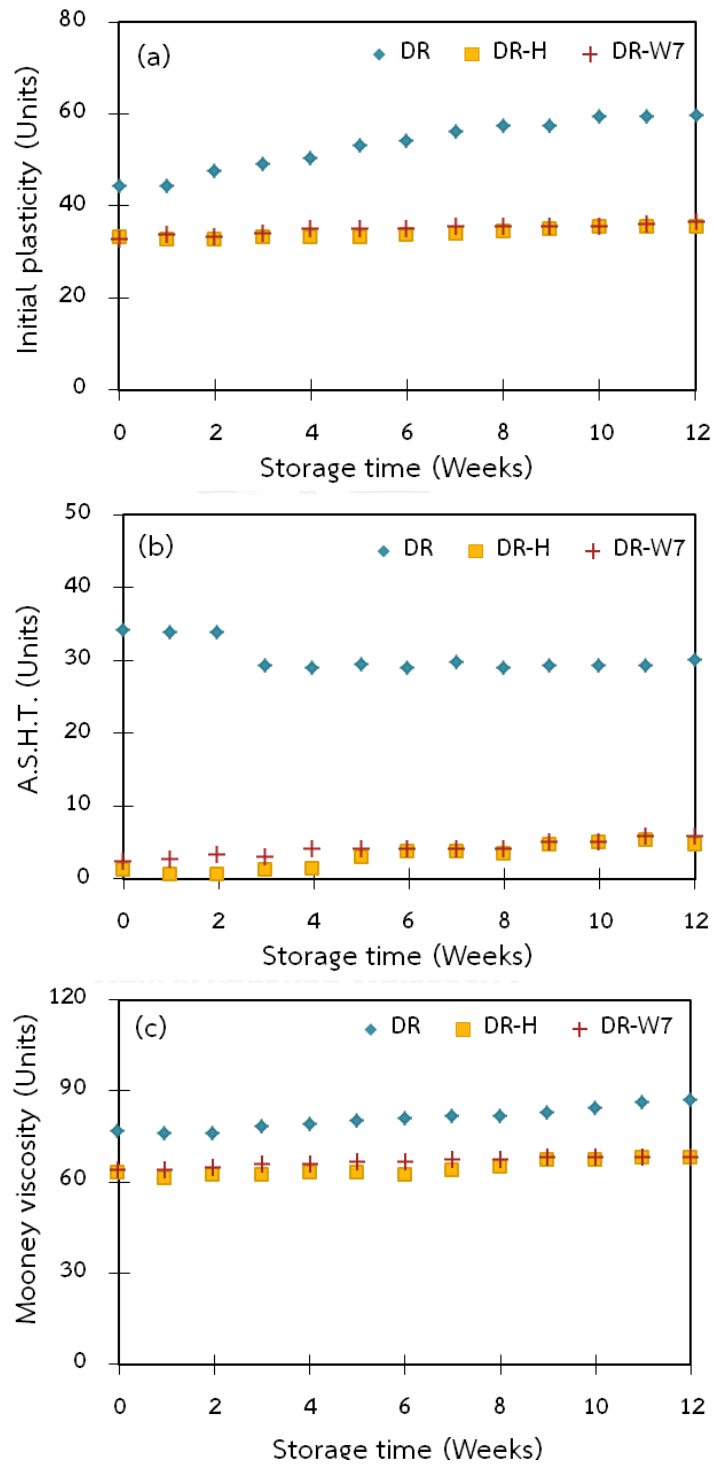
* อ้างอิงมาตรฐาน ISO2000:2014 (E) Rubber, raw natural – Guidelines for the specification of technically specified rubber (TSR)

สามารถช่วยกำจัดความชื้นในยางได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้ยางแห้ง DR, DR-H, และ DR-W7 มีปริมาณสิ่งระเหยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.34 - 0.37 แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างยางแห้งทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณสิ่งสกปรก ปริมาณเถ้า และปริมาณสิ่งระเหยต่ำกว่าร้อยละ 0.05, 0.5 และ 0.8 ซึ่งผ่านเกณฑ์กำหนดของยางแห้งตามมาตรฐาน ISO 2000: 2014 (E)

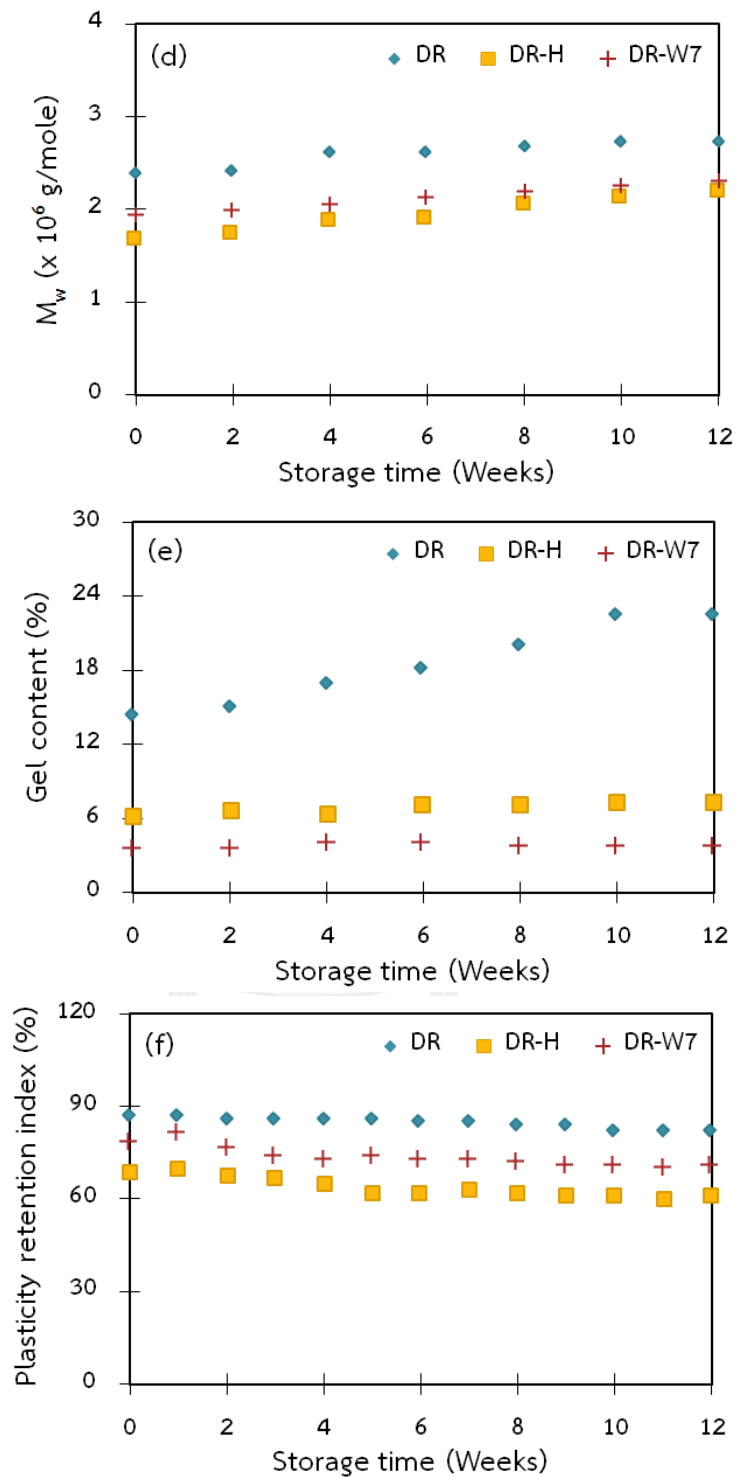
4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติของยางแห้งตามระยะเวลาการเก็บเป็นเวลา 12 สัปดาห์

การศึกษากการเปลี่ยนแปลงสมบัติของยางแห้งเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่ายางแห้ง DR มีค่า P_0 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4 สัปดาห์แรก (รูปที่ 4.12 (a)) ส่งผลให้ค่า A.H.S.T. ซึ่งคำนวณจากผลต่างระหว่างค่าความอ่อนตัวเริ่มแรกกับค่าความอ่อนตัวที่ภาวะแรง ($\Delta P = P_H - P_0$) มีค่าลดลง (รูปที่ 4.12 (b)) ในขณะที่ยางแห้งที่ผ่านกระบวนการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยางทั้ง 2 กระบวนการ ได้แก่ ยางแห้ง DR-H และ DR-W7 แสดงการเปลี่ยนแปลงสมบัติ P_0 และ A.H.S.T. เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางแห้ง DR สมบัติ MV , M_w และปริมาณเจล (รูปที่ 4.12 (c), (d) และ (e) ตามลำดับ) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในยางแห้ง DR แต่พบการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในยางแห้ง DR-H และ DR-W7 แสดงให้เห็นว่ายางแห้งที่ไม่ผ่านการทำปฏิกิริยามีความหนืดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสร้างส่วนที่เป็นเจลมากขึ้น ดังนั้นการป้องกันการเกิดเจลในยางธรรมชาติโดยอาศัยวิธีกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยางผ่านกระบวนการเติมสารควบคุมความหนืด และกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว จึงสามารถควบคุมความหนืดในยางธรรมชาติได้ แต่เมื่อส่วนที่ไม่ใช่ยางซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชันในยางธรรมชาติถูกกำจัดออก ส่งผลให้ยางแห้งที่ผ่านการทำปฏิกิริยาทั้ง 2 กระบวนการมีค่า PRI ลดลงมากกว่ายางแห้ง DR โดยลดลงประมาณ 8-10 หน่วย (รูปที่ 4.12 (f))

จากการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการกำจัดเจลในงานวิจัยนี้ให้ผลการทดลองเทียบเคียงกับการใช้สาร HNS ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บยางแห้งกับ (a) ความอ่อนตัวเริ่มแรก (b) ความแข็งที่ภาวะเร่ง (c) ความหนืดมูนนี่ (d) น้ำหนักโมเลกุล (e) ปริมาณเจล และ (f) ดัชนีความอ่อนตัว



รูปที่ 4.12 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเก็บยางแห้งกับ (a) ความอ่อนตัวเริ่มแรก (b) ความแข็งที่ภาวะแรง (c) ความหนืดมูนี (d) น้ำหนักโมเลกุล (e) ปริมาณเจล และ (f) ดัชนีความอ่อนตัว

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากกระบวนการผลิตยางแห้งทั้ง 4 กระบวนการ ได้แก่ ยางแห้งไม่ผ่านการทำปฏิกิริยา (DR) ยางแห้งจากกระบวนการเติมสารควบคุมความหนืด (DR-H) ยางแห้งจากกระบวนการสะปอนนิฟิเคชัน (DR-S) และยางแห้งจากกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิว (DR-W) พบว่ายางแห้ง DR แสดงค่า A.S.H.T. และ MV เกินเกณฑ์กำหนดของยางความหนืดคงที่ตามมาตรฐาน SMR และ ISO 2000:2014 (E) เนื่องจากยางชนิดนี้มีส่วนที่ไม่ใช่ยางอยู่เป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดเจลซึ่งเป็นสาเหตุของความแข็งในยางธรรมชาติ นอกจากนี้กระบวนการสะปอนนิฟิเคชันไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ใภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากยางแห้งที่ได้มีค่า PRI ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาสูง ดังนั้นกระบวนการผลิตยางแห้งที่เหมาะสม ได้แก่ DR-H และ DR-W7 โดยยางแห้งจากทั้ง 2 กระบวนการมีปริมาณโปรตีน หมู่คาร์บอนิล และปริมาณเจลลดลง อีกทั้งมีสมบัติ A.S.H.T., P_o, PRI, MV, Nitrogen content Dirt content, Ash content และ VM content ผ่านเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน SMR และ ISO 2000:2014 (E) จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าการกำจัดส่วนที่ไม่ใช่ยางออกนั้นสามารถลดความแข็งในยางธรรมชาติได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าส่วนที่ไม่ใช่ยางสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชันในยางธรรมชาติได้ ส่งผลให้ค่า PRI ในยางที่ผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาลดลงเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ แต่สมบัติความหนืด ปริมาณเจล และความแข็งในยางมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับยางแห้งที่ไม่ผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยา ดังนั้นกระบวนการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการควบคุมความหนืดในยางธรรมชาติเทียบเท่ากับกระบวนการเติมสารควบคุมความหนืดชนิดไฮดรอกซิลเอมีน นิวทรัลซัลเฟต

รายการอ้างอิง

- [1] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 2000:2014 Rubber, raw natural -- Guidelines for the specification of technically specified rubber (TSR). 2014. 1-4.
- [2] Rubber Research Institute of Malasia. RRIM Test Methods for Standard Malaysian rubbers. 1992: Malasia. 80.
- [3] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17278:2013 specifies a method for the determination of gel content for technically specified rubbers (TSR). 2013.
- [4] India, R.B. Rubber and Its Cultivation. 2003. 2-5.
- [5] Sunderasan, E. and Yeang, H.Y. Latex Allergy studies: B-serum from The Latex Bottom Fraction as a Major Source of Immunogenic Glove Protein. Journal of Natural Rubber Research 8(4) (1993): 293-298.
- [6] Nawamawat, K., Sakdapipanich, J., T., Ho, C., C., Ma, Y., Song, J., and Vancso, J., G. Surface Nanostructure of Hevea Brasiliensis Natural Rubber Latex Particles. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 390(1-3) (2011): 157-166.
- [7] บุญธรรม นิชิตุทัย. ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และคุณสมบัติ. ภาควิชาเทคโนโลยีการยาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี (2530): 100.
- [8] เสาวรจณี ช่วยจุลจิตร. เทคโนโลยียาง. Master ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- [9] Robert, A.D. Natural Rubber Science and Technology. Oxford: Oxford University Press, 1988.
- [10] วราภรณ์ ขจรไชยกุล. ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน. กรุงเทพมหานคร,: โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซีโน ดีไซน์, 2549.
- [11] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. การทดสอบมาตรฐานยางแท่ง เอส ที อาร์. กรุงเทพมหานคร. 103.
- [12] พรธษา อุดลยธรรม. ยางแท่งความหนืดคงที่. วารสารยางพารา 15(3) (2538): 163-174.
- [13] Ehabe, E., E., Nkeng, G., E., Collet, A., and Bonfils, F. Relations between High-Temperature Mastication and Mooney Viscosity Relaxation in Natural Rubber. Journal of Applied Polymer Science 113(5) (2009): 2785-2790.

- [14] Bolland, J., L. and Gee, G. Kinetic Studies in The Chemistry of Rubber and Related Material part III, Thermochemistry and Mechanism of Olefin Oxidation, Trans. Transactions of the Faraday Society 42 (1946): 244.
- [15] Sakdapipanich, J. Structural Characterization of Terminal Groups in Natural Rubber. Journal of Biosciences and Bioengineering 103(4) (2007): 287-292.
- [16] Yunyongwattanakorn, J., Sakdapipanich, J., T., Kawahara, S., Hikosaka, M., and Tanaka, Y. Effect of Gel on Crystallization Behavior of Natural Rubber after Accelerated Storage Hardening Test. Journal of Applied Polymer Science 106(1) (2007): 455-461.
- [17] Sekhar, B., C. Inhibition of Hardening in Natural Rubber. in *Natural Rubber: Biology, Cultivation and Technology*. 1961, RRIM. 512.
- [18] กรมวิทยาศาสตร์บริการ. โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ. ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ 154 (2553): 4-8.
- [19] Amdur, S. Removing Natural Laex Proteins from Dipped Rubber Goods with Fumed Silica Additives. in 156th Meeting of The Rubber Division, ACS, p. 80. Orlando, 1999.
- [20] Tangpakdee, J., Mizokoshi, M., Endo, A., and Tanaka, Y. Novel method for Preparation of Low Molecular Weight Natural Rubber Latex. Rubber Chemistry and Technology 71 (1998): 795-802.
- [21] Nawamawat, K., Sakdapipanich, J., T., and Ho, C., C. Effect of Deproteinized Methods on the Proteins and Properties of Natural Rubber Latex during Storage. Macromolecular Symposia 288(1) (2010): 95-103.
- [22] Yunyongwattanakorn, J., Tanaka, Y., Kawahara, S., Klinklai, W., and Sakdapipanich, J. Effect of Non-rubber Components on Storage Hardenig and Gel Formation of Natural Rubber During Accelerated Storage Under Various Conditions. Rubber Chemistry and Techology 76(5) (2003): 1228-1240.
- [23] LI, S, D., YU, H., P., PENG, Z., and LI, P., S. Study on Variation of Structure and Properties of Natural Rubber During Accelerated Storage. Journal of Applied Polymer Science 70 (1998): 1779-1783.
- [24] Amnuaypornsi, S., Tarachiwin, L., and Sakdapipanich, J. Character of Long-Chain Branching in Highly Purified Natural Rubber. Journal of Applied Polymer Science 115(6) (2010): 3645-3650.
- [25] Sansatsadeekul, J., Sakdapipanich, J., and Rojruthai, P. Characterization of Associated Proteins and Phospholipids In Natural Rubber Latex. Journal of Bioscience and Bioengineering 111(6) (2011): 628-34.
- [26] Amnuaypornsi, S., Sakdapipanich, J., and Tanaka, Y. Highly Purified Natural Rubber by Saponificaion of Latex: Analysis of Green and Cured Properties. Journal of Applied Polymer Science 118(6) (2010): 3524-3531.

- [27] Yungyongwattanakorn, J. and Sakdapipanich, J. Physical Property Changes in Commercial Natural Rubber during Long Term Storage. Rubber Chemistry and Technology 79(1) (2006): 72-81.
- [28] หรรษา อเนกชัย, จักรีย์ เลื่อนราม, ปวีดีเปรม ทศนกุล, and สุรศักดิ์ สุทธิสงค์. การผลิตยางแท่งเอสทีอาร์ 5 ชนิดความหนืดคงที่. รายงานผลการวิจัยยางพารา 15(3) (2541): 1-14.
- [29] อัฉริ ศรีประพันธ์. ยางธรรมชาติความคมแน่นักโมเลกุล และความหนืด ละครนำไปใช้. มหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546.
- [30] Jie, L., Siwu, J., Zhenghai, T., Tengfei, L., Baochun, L., and Guangsu, H. New Evidence Disclosed for Networking in Natural Rubber by Dielectric Relaxation Spectroscopy. The RSC Joins CrossMark 11 (2015): 2290-2299.
- [31] Jumtee, K. Recovery and Purification of Small Rubber Particles from Skim Latex. Master, Science Chulalongkorn University, 2009.
- [32] Mekkriengkrai, D., Sakdapipanich, J., and Tanaka, Y. Structural Characterization of Terminal Groups in Natural Rubber Origin of Nitrogenous Groups. Journal of Applied Polymer Science 79 (2006): 366.
- [33] Tarachiwin, L., Sakdapipanich, J., Ute, K., Kitayama, T., and Tanaka, Y. Structural Characterization of r-Terminal Group of Natural Rubber. 2. Decomposition of Branch-Points by Phospholipase and Chemical Treatments. Biomacromolecules 6 (2005): 6.
- [34] Oliveira, P., C., Oliveira, A., M., Garcia, A., Souza Barboza, J., C., Carvalho Zavaglia, C., A., and Santos, A., M. Modification of Natural Rubber: A study by ¹H NMR To assess The Degree of Graftization of poly-DMAEMA or poly-MMA onto Rubber Particles under Latex Form in The Presence of a Redox Couple Initiator. European Polymer Journal 41 (2005): 10.
- [35] Takayuki, S., Warunee, K., Yoshimasa, Y., Seiichi, K., Yoshinobu, I., and Yoshito, O. Quantitative Analysis for Reaction Between Epoxidized Natural Rubber and Poly (L-Lactide) Through ¹H-NMR Spectroscopy. Journal of Applied Polymer Science 115 (2009): 7.
- [36] Frank, W., P. and Anthony, A., G. Natural Rubber Latex Protein Reduction with an Emphasis on Enzyme Treatment. Elsevier Science 3 (2002): 77-86.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 สมบัติความอ่อนตัวเริ่มแรกของตัวอย่างยางแห้งเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

Storage time (Weeks)	DR	DR-H	DR-W7
0	44.33 ± 2.31	33.00 ± 1.00	32.67 ± 0.76
1	44.17 ± 1.04	32.50 ± 0.50	33.50 ± 1.80
2	47.50 ± 1.50	32.67 ± 0.29	33.33 ± 2.02
3	49.17 ± 1.26	33.17 ± 0.29	34.17 ± 1.04
4	50.50 ± 0.50	33.33 ± 0.29	34.83 ± 0.29
5	53.00 ± 0.50	33.33 ± 0.29	34.83 ± 0.76
6	54.33 ± 0.29	33.83 ± 0.29	35.17 ± 0.29
7	56.17 ± 0.76	34.17 ± 0.29	35.33 ± 0.29
8	57.33 ± 0.29	34.67 ± 0.29	35.33 ± 1.26
9	57.67 ± 0.29	35.17 ± 0.29	35.33 ± 1.53
10	59.17 ± 0.29	35.33 ± 0.58	35.67 ± 0.58
11	59.50 ± 0.50	35.50 ± 1.00	36.17 ± 0.29
12	59.67 ± 0.76	35.50 ± 0.50	36.33 ± 0.58

ตารางที่ ก.2 สมบัติความแข็งที่ภาวะเร่งของตัวอย่างยางแห้งเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

Storage time (Weeks)	DR	DR-H	DR-W7
0	34.17 ± 1.04	1.00 ± 0.50	2.17 ± 1.04
1	33.83 ± 1.44	0.67 ± 0.76	2.50 ± 2.29
2	33.83 ± 3.82	0.50 ± 0.00	3.17 ± 2.25
3	29.17 ± 1.04	1.17 ± 0.76	3.00 ± 1.32
4	28.83 ± 1.26	1.50 ± 0.00	4.00 ± 2.00
5	29.50 ± 1.32	2.83 ± 0.29	4.00 ± 1.00
6	28.83 ± 1.76	3.67 ± 0.58	4.00 ± 1.00
7	29.83 ± 0.29	3.83 ± 0.29	4.00 ± 1.00
8	28.83 ± 1.61	3.50 ± 0.50	4.17 ± 2.02
9	29.17 ± 0.76	4.50 ± 0.50	5.00 ± 1.32
10	29.17 ± 1.26	4.83 ± 0.29	5.00 ± 1.00
11	29.17 ± 1.89	5.17 ± 0.76	5.83 ± 0.29
12	30.17 ± 0.29	4.67 ± 0.58	5.67 ± 0.76

ตารางที่ ก.3 สมบัติความหนืดของตัวอย่างยางแห้งเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

Storage time (Weeks)	DR	DR-H	DR-W7
0	76.27 ± 0.85	62.53 ± 0.91	63.47 ± 1.26
1	75.83 ± 2.28	60.77 ± 0.31	63.43 ± 1.19
2	75.53 ± 3.46	61.90 ± 0.40	63.93 ± 1.10
3	77.77 ± 2.49	61.77 ± 0.47	65.30 ± 0.17
4	78.33 ± 1.07	62.93 ± 0.25	65.50 ± 0.52
5	80.13 ± 1.29	62.90 ± 1.39	66.23 ± 1.14
6	80.50 ± 1.10	62.37 ± 0.85	66.30 ± 2.11
7	81.27 ± 0.85	63.67 ± 0.93	66.87 ± 1.86
8	81.27 ± 0.91	64.63 ± 0.45	67.07 ± 2.11
9	82.60 ± 0.95	66.97 ± 0.15	67.57 ± 1.48
10	83.87 ± 1.43	67.03 ± 0.91	67.43 ± 0.76
11	85.70 ± 1.25	67.43 ± 0.42	67.43 ± 3.61
12	86.97 ± 1.46	67.73 ± 0.58	67.37 ± 2.23

ตารางที่ ก.4 สมบัติดัชนีความอ่อนตัวของตัวอย่างยางแห้งเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

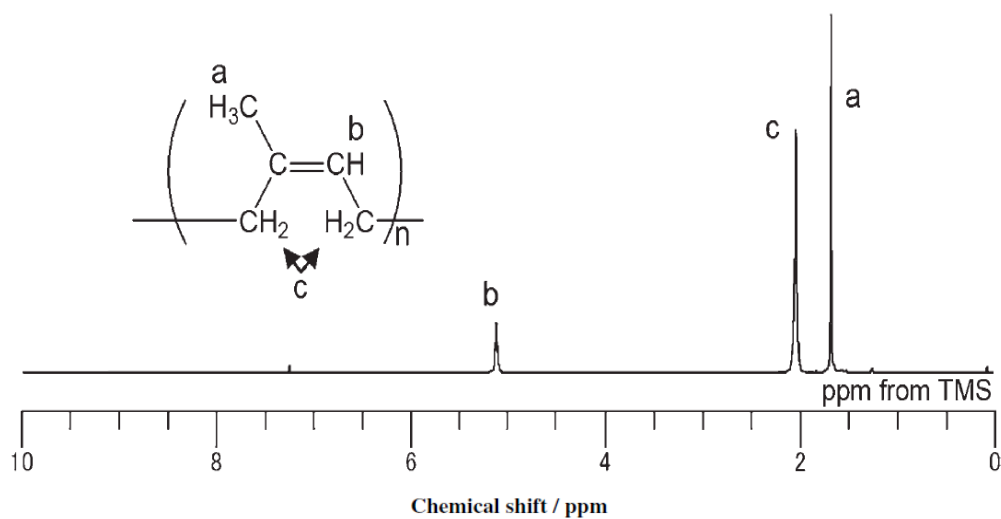
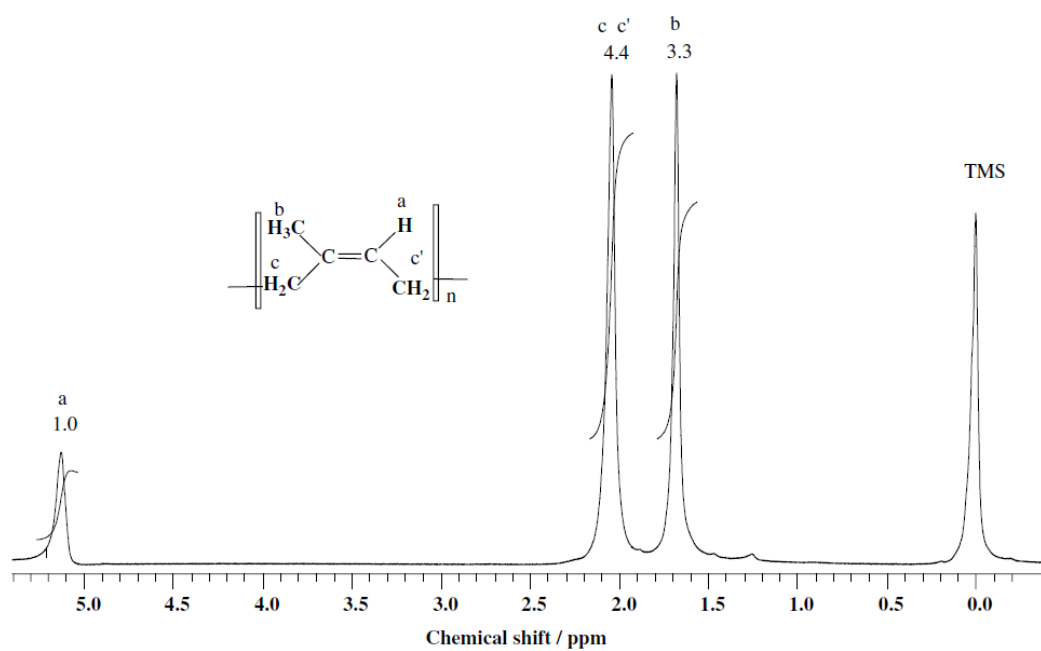
Storage time (Weeks)	DR	DR-H	DR-W7
0	86.64 ± 5.15	68.76 ± 3.68	78.29 ± 4.97
1	86.41 ± 0.32	69.27 ± 3.65	80.69 ± 4.24
2	86.02 ± 2.81	67.37 ± 3.58	75.93 ± 3.31
3	85.83 ± 3.70	66.35 ± 4.39	73.16 ± 4.02
4	85.48 ± 1.47	65.02 ± 3.54	72.69 ± 3.75
5	85.54 ± 1.35	62.02 ± 4.29	73.75 ± 2.23
6	85.28 ± 0.92	62.07 ± 2.99	72.77 ± 7.79
7	84.58 ± 1.68	62.44 ± 0.74	72.03 ± 1.48
8	83.72 ± 1.40	62.02 ± 2.29	71.04 ± 5.96
9	83.53 ± 2.27	61.16 ± 4.24	70.91 ± 2.00
10	82.25 ± 0.85	60.85 ± 0.75	70.29 ± 2.31
11	82.08 ± 1.65	60.15 ± 3.46	69.60 ± 1.60
12	82.14 ± 1.88	60.59 ± 3.19	70.82 ± 1.78

ตารางที่ ก.5 ปริมาณเจลของตัวอย่างยางแห้งเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

Storage time (Weeks)	DR	DR-H	DR-W7
0	14.33 ± 1.03	6.23 ± 0.37	3.49 ± 0.63
2	14.98 ± 0.58	6.72 ± 0.43	3.60 ± 0.57
4	16.87 ± 0.40	6.46 ± 0.24	3.95 ± 0.80
6	18.09 ± 0.23	7.03 ± 0.93	4.10 ± 0.51
8	20.03 ± 1.31	7.12 ± 0.89	3.73 ± 0.50
10	22.52 ± 1.05	7.35 ± 0.30	3.85 ± 0.39
12	22.36 ± 0.44	7.30 ± 0.69	3.77 ± 0.32

ตารางที่ ก.6 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของตัวอย่างยางแห้งเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

Storage time (Weeks)	DR	DR-H	DR-W7
0	$(2.38 \times 10^6) \pm 0.05$	$(1.67 \times 10^6) \pm 0.03$	$(1.92 \times 10^6) \pm 0.02$
2	$(2.39 \times 10^6) \pm 0.03$	$(1.72 \times 10^6) \pm 0.03$	$(1.98 \times 10^6) \pm 0.03$
4	$(2.60 \times 10^6) \pm 0.04$	$(1.86 \times 10^6) \pm 0.07$	$(2.04 \times 10^6) \pm 0.04$
6	$(2.61 \times 10^6) \pm 0.04$	$(1.88 \times 10^6) \pm 0.04$	$(2.12 \times 10^6) \pm 0.02$
8	$(2.66 \times 10^6) \pm 0.04$	$(2.04 \times 10^6) \pm 0.04$	$(2.17 \times 10^6) \pm 0.02$
10	$(2.73 \times 10^6) \pm 0.03$	$(2.13 \times 10^6) \pm 0.07$	$(2.24 \times 10^6) \pm 0.02$
12	$(2.73 \times 10^6) \pm 0.04$	$(2.17 \times 10^6) \pm 0.05$	$(2.28 \times 10^6) \pm 0.03$




รูปที่ ก.1 ^1H NMR (400 MHz) สเปกตรัมของยางแห้งในตัวทำละลายดีวเทอเรทคลอโรฟอร์ม (Deuterated chloroform; CDCl_3) (a) ยางแห้งธรรมชาติ [34] (b) ยางแห้งกำจัดโปรตีน [35]

ภาคผนวก ข

การจดสิทธิบัตร

แบบ สป/สพ/อสป/001-ก

หน้า 1 ของจำนวน 3 หน้า

 คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	สำหรับเจ้าหน้าที่	
	วันรับคำขอ	เลขที่คำขอ
	วันยื่นคำขอ	
	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ	
	ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์	
	ประเภทผลิตภัณฑ์	
<input checked="" type="checkbox"/> การประดิษฐ์ <input type="checkbox"/> การออกแบบผลิตภัณฑ์ <input type="checkbox"/> อนุสิทธิบัตร	วันประกาศโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา
ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ.2522 แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่2) พ.ศ.2535 และพระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่3) พ.ศ.2542	วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่		
1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิตอย่างธรรมชาติความหนืดคงที่ โดยวิธีกำจัดหมู่คาร์บอนิล		
2. คำขอรับสิทธิบัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์นี้เป็นคำขอสำหรับแบบผลิตภัณฑ์อย่างเดียวกันและเป็นคำขอลำดับที่ ในจำนวน คำขอ ที่ยื่นในคราวเดียวกัน		
3. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) รศ. ดร. สิริลักษณ์ พุ่มประดับ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330	3.1 สัญชาติ	ไทย
	3.2 โทรศัพท์	02-218-7518 มือถือ 086-090-2074
	3.3 โทรสาร	02-255-5831
	3.4 อีเมลล์	sirilux.p@chula.ac.th
4. สิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร <input checked="" type="checkbox"/> ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบ <input type="checkbox"/> ผู้รับโอน <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิโดยเหตุอื่น		
5. ตัวแทน (ถ้ามี) ที่อยู่ (เลขที่ ถนน จังหวัด รหัสไปรษณีย์) -	5.1 ตัวแทนเลขที่	-
	5.2 โทรศัพท์	-
	5.3 โทรสาร	-
	5.4 อีเมลล์	-
6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ และที่อยู่ (เลขที่ ถนน ประเทศ) 6.1 รศ.ดร. สิริลักษณ์ พุ่มประดับ ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 6.2 นางสาวพัชรา อินทะแสง ภาควิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330		

หมายเหตุ ในกรณีที่ไม่อำจะระบุรายละเอียดได้ครบถ้วน ให้จัดทำเป็นเอกสารแนบท้ายแบบพิมพ์นี้ โดยระบุหมายเลขกำกับข้อและหัวข้อที่แสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังกล่าวด้วย

แบบ สป/สผ/อสป/001-ก
หน้า 2 ของจำนวน 3 หน้า

6.3 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ชั้น 14 อาคาร เอส เอ็ม ทาวเวอร์ 979/17-21 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400				
7. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิม ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับคำขอรับสิทธิบัตร เลขที่ _____ วันยื่น _____ เพราะคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับคำขอเดิมเพราะ <input type="checkbox"/> คำขอเดิมมีการประดิษฐ์หลายอย่าง <input type="checkbox"/> ถูกคัดค้านเนื่องจากผู้ขอไม่มีสิทธิ <input type="checkbox"/> ขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ				
8. การยื่นคำขออนุญาตราชอาณาจักร				
	วันยื่นคำขอ	เลขที่คำขอ	ประเทศ	สัญลักษณ์จำแนกการประดิษฐ์ระหว่างประเทศ
8.1	-	-	-	-
8.2	-	-	-	-
8.3	-	-	-	-
8.4 <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ถือว่าได้ยื่นคำขอนี้ ในวันที่ได้ยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรในต่างประเทศเป็นครั้งแรก โดย <input type="checkbox"/> ได้ยื่นเอกสารหลักฐานพร้อมคำขอนี้ <input type="checkbox"/> ขอยื่นเอกสารหลักฐานหลังจากวันยื่นคำขอนี้				
9. การแสดงการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ได้แสดงการประดิษฐ์ที่หน่วยงานของรัฐเป็นผู้จัด วันแสดง _____ วันเปิดงานแสดง _____ ผู้จัด _____				
10. การประดิษฐ์เกี่ยวกับจุลชีพ				
10.1 เลขทะเบียนฝากเก็บ	10.2 วันที่ฝากเก็บ		10.3 สถาบันฝากเก็บ/ประเทศ	
11. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอยื่นเอกสารภาษาต่างประเทศก่อนในวันที่ยื่นคำขอนี้ และจะจัดยื่นคำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ที่จัดทำเป็นภาษาไทยภายใน 90 วัน นับจากวันยื่นคำขอนี้ โดยขอยื่นเป็นภาษา <input type="checkbox"/> อังกฤษ <input type="checkbox"/> ฝรั่งเศส <input type="checkbox"/> เยอรมัน <input type="checkbox"/> ญี่ปุ่น <input type="checkbox"/> อื่น ๆ				
12. ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้อธิบดีประกาศโฆษณาคำขอรับสิทธิบัตร หรือรับจดทะเบียน และประกาศโฆษณาอนุสิทธิบัตรนี้หลังจากวันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____ <input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรขอให้ใช้รูปเขียนหมายเลข _____ ในการประกาศโฆษณา				
13. คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ประกอบด้วย			14. เอกสารประกอบด้วย	
ก. แบบพิมพ์คำขอ	หน้า _____		<input checked="" type="checkbox"/> เอกสารแสดงสิทธิในการขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	
ข. รายละเอียดการประดิษฐ์ หรือคำพรรณนาแบบผลิตภัณฑ์	หน้า _____		<input type="checkbox"/> หนังสือรับรองการแสดงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์	
ค. ข้อถ้อยสิทธิ	หน้า _____		<input type="checkbox"/> หนังสือมอบอำนาจ	
ง. รูปเขียน - รูป _____ หน้า _____			<input type="checkbox"/> เอกสารรายละเอียดเกี่ยวกับจุลชีพ	
จ. ภาพแสดงแบบผลิตภัณฑ์			<input type="checkbox"/> เอกสารการขอนับวันยื่นคำขอในต่างประเทศเป็นวันยื่นคำขอในประเทศไทย	
<input type="checkbox"/> รูปเขียน รูป _____ หน้า _____			<input type="checkbox"/> เอกสารขอเปลี่ยนแปลงประเภทของสิทธิ	
<input type="checkbox"/> ภาพถ่าย รูป _____ หน้า _____			<input type="checkbox"/> เอกสารอื่น ๆ	
ฉ. บทสรุปการประดิษฐ์	หน้า _____			

แบบ สป/สพ/อสป/001-ก
หน้า 3 ของจำนวน 3 หน้า

<p>15.ข้าพเจ้าขอรับรองว่า</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ไม่เคยยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรมาก่อน</p> <p><input type="checkbox"/> การประดิษฐ์นี้ได้พัฒนาปรับปรุงมาจาก.....</p>
<p>16.ลายมือชื่อ (<input type="checkbox"/> ผู้ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร; <input type="checkbox"/> คิวแทน)</p>

หมายเหตุ บุคคลใดยื่นขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรืออนุสิทธิบัตร โดยการแสดงข้อความอันเป็นเท็จแก่พนักงานเจ้าหน้าที่ เพื่อให้ได้ไปซึ่งสิทธิบัตรหรืออนุสิทธิบัตร ต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหกเดือน หรือปรับไม่เกินห้าพันบาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

CUIPI-F-001	1 / 2		
แบบฟอร์มเปิดเผยการประดิษฐ์และแสดงความจำนงขอให้จดทะเบียนสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร (Invention Disclosure Form)			
1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ กระบวนการผลิตยางธรรมชาติความหนืดคงที่โดยวิธีกำจัดหมู่คาร์บอนิล PRODUCTION PROCESS OF CONSTANT VISCOSITY NATURAL RUBBER BY DECARBONYLATION	NO.: Receive date:		
ลักษณะโดยย่อของการประดิษฐ์ (แนบเอกสารประกอบได้) การผลิตยางความหนืดคงที่โดยกระบวนการกำจัดหมู่คาร์บอนิล เริ่มจากจับตัวน้ำยางสดด้วยกรดฟอร์มิค จากนั้นนำยางจับตัวไป แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารละลายโพแทสเซียมซัลเฟต นำยางที่ได้ไปอบจนแห้ง ยางแห้งกำจัดหมู่คาร์บอนิล ที่ได้มีสมบัติผ่านเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน SMR และ ISO 2000:2014 (E)			
2. ชื่อผู้ประดิษฐ์ / ผู้ประดิษฐ์ร่วม	สัดส่วนการประดิษฐ์/การ แบ่งปันผลประโยชน์ (%)	สังกัด / ที่อยู่	โทรศัพท์ / โทรสาร / อีเมล
1. รศ.ดร.ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ	25	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	Tel: 0-2218-7518 Fax: 0-2255-5831 sirilux.p@chula.ac.th
2. นางสาวพัชรา อินทะแสง	25	ภาควิชาปิโตรเคมีและ วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	Tel: 083-553-6777 pum.inthasang@gmail.com
3. สำนักงานกองทุนสนับสนุน การวิจัย (สกว.)	50	สำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัย (สกว.)	Tel: 02 278 8200 Fax: 02 298 0476
3. การประดิษฐ์นี้ได้รับการสนับสนุนทางการเงินจากแหล่งเงินทุนหรือร่วมวิจัยกับ องค์กร บริษัท หรือหน่วยงานใดหรือไม่ <input checked="" type="checkbox"/> ได้รับ จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) <input type="checkbox"/> ไม่ได้รับ			
4. ผลงานนี้เคยมีการตีพิมพ์ หรือเผยแพร่ผลงานมาก่อนหรือไม่ <input type="checkbox"/> มี โปรดระบุลักษณะการเผยแพร่.....เมื่อ..... <input checked="" type="checkbox"/> ไม่มี			
สถาบันทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย		Chulalongkorn University Intellectual Property Institute	

CUIPI-F-001	2 / 2								
5. ศักยภาพของเทคโนโลยีในเชิงพาณิชย์ (โปรดอธิบาย แนบเอกสารประกอบได้)									
<p>ผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีที่ใกล้เคียงที่มีอยู่แล้วในตลาด</p> <p>ปัจจุบันยังหาความหนักแน่นที่ผลิตโดยใช้วิธีการเดิมสารควบคุมความหนืดชนิดไฮดรอกซิลเอมีนนิวทริลซัลเฟต เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหม้อลดีไฮด์กับหมู่อะมิโนในโมเลกุลของยางแห้งธรรมชาติ แต่ยางแห้งที่ผลิตด้วยวิธีนี้มีสีคล้ำ อีกทั้งสารเคมีดังกล่าวหาซื้อได้ยาก จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีความเป็นพิษสูง ก่อให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรงและเกิดแผลไหม้ต่อระบบทางเดินหายใจ ผิวหนังที่สัมผัสกับสารนี้จะถูกทำลายอย่างถาวร เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานอย่างมาก</p>									
<p>ลักษณะการใช้ประโยชน์จากผลงาน (Application)</p> <p>เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตยางความหนืดคงที่ให้มีประสิทธิภาพและมีศักยภาพในการนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป</p>									
<p>จุดเด่นของผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีปัจจุบัน</p> <table border="0"> <tr> <td>1. ใช้สารเคมีที่หาได้ง่ายและต้นทุนต่ำ</td> <td>2. สามารถเตรียมได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง</td> </tr> <tr> <td>3. ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูง</td> <td>4. กระบวนการผลิตมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน</td> </tr> </table>		1. ใช้สารเคมีที่หาได้ง่ายและต้นทุนต่ำ	2. สามารถเตรียมได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง	3. ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูง	4. กระบวนการผลิตมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน				
1. ใช้สารเคมีที่หาได้ง่ายและต้นทุนต่ำ	2. สามารถเตรียมได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง								
3. ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาสูง	4. กระบวนการผลิตมีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงาน								
<p>โปรดระบุชื่อบริษัทซึ่งท่านคิดว่าน่าจะมีความสนใจในเทคโนโลยีหรือสิ่งประดิษฐ์ของท่าน</p> <table border="0"> <tr> <td>บริษัทของไทย รับเบอร์ จำกัด</td> <td>โทรศัพท์ 02-381-1391</td> </tr> <tr> <td>บริษัทเซวท์แลนดรับเบอร์ จำกัด</td> <td>โทรศัพท์ 074-342-742</td> </tr> <tr> <td>บริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางแห่งประเทศไทย จำกัด</td> <td>โทรศัพท์ 074-411-353</td> </tr> <tr> <td>บริษัทไทยรับเบอร์ เอช พี เอ็น อาร์ จำกัด</td> <td>โทรศัพท์ 02-751-7171</td> </tr> </table>		บริษัทของไทย รับเบอร์ จำกัด	โทรศัพท์ 02-381-1391	บริษัทเซวท์แลนดรับเบอร์ จำกัด	โทรศัพท์ 074-342-742	บริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางแห่งประเทศไทย จำกัด	โทรศัพท์ 074-411-353	บริษัทไทยรับเบอร์ เอช พี เอ็น อาร์ จำกัด	โทรศัพท์ 02-751-7171
บริษัทของไทย รับเบอร์ จำกัด	โทรศัพท์ 02-381-1391								
บริษัทเซวท์แลนดรับเบอร์ จำกัด	โทรศัพท์ 074-342-742								
บริษัทถาวรอุตสาหกรรมยางแห่งประเทศไทย จำกัด	โทรศัพท์ 074-411-353								
บริษัทไทยรับเบอร์ เอช พี เอ็น อาร์ จำกัด	โทรศัพท์ 02-751-7171								
6. การสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตร									
<p>6.1 Keyword ที่ใช้ในการสืบค้น Constant viscosity, Decarbonylation, Gel prevention, Storage hardening</p> <p>6.2 ผลการสืบค้นพบว่า <input type="checkbox"/> เหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว <input checked="" type="checkbox"/> ไม่เหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว</p> <p>6.3 Website ที่ใช้ในการสืบค้น <input checked="" type="checkbox"/> ประเทศไทย: www.ipthailand.org <input checked="" type="checkbox"/> สหรัฐอเมริกา : www.uspto.gov</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ญี่ปุ่น : www.jpo.go.jp <input checked="" type="checkbox"/> ยุโรป : http://ep.espacenet.com <input checked="" type="checkbox"/> อื่นๆ ระบุ.....</p> <p>(ในกรณีที่พบว่าเหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว กรุณาแนบเอกสารที่สืบค้นได้มาให้สถาบันฯ ด้วย)</p>									
7. ข้าพเจ้าขอยืนยันว่าข้อมูลดังกล่าวข้างต้นครบถ้วนและถูกต้อง									
<p>ลงนาม.....หัวหน้าโครงการ</p> <p>(รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ)</p> <p>...../...../.....</p>									
<p>กรุณาส่งแบบฟอร์มนี้กลับมายัง</p> <p>สถาบันทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p> <p>ชั้น 9 อาคารเทพทวารวดี คณะนิติศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย</p> <p>โทรศัพท์: 02-2182895-96 โทรสาร: 02-2182871</p>									
สถาบันทรัพย์สินทางปัญญาแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	Chulalongkorn University Intellectual Property Institute								

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพัชรา อินทะแสง เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2528 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนราชินีบูรณะ เมื่อ พ.ศ. 2547 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาเคมี จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2554

