



การพัฒนาแผ่นกาวติดผิวหนังจากยางธรรมชาติ  
**Development of Pressure Sensitive Adhesive Patch from Natural Rubber**

อาคม สอสม  
**Arkorn Sorsom**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Science in Polymer Science and Technology  
Prince of Songkla University**

**2553**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

ชื่อวิทยานิพนธ์      การพัฒนาแผ่นกาวติดผิวหนังจากยางธรรมชาติ  
ผู้เขียน                นายอาคม สอสม  
สาขาวิชา              วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....  
(ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบัญญัติษฐ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ  
(ดร.วิรัช ทวีปรีดา)

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นาคะสรรค์)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นาคะสรรค์)

.....กรรมการ  
(ดร.วนิดา จันทร์วิบูล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแผ่นกาวติดผิวหนังจากยางธรรมชาติ
ผู้เขียน	นายอาคม สอสม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ปีการศึกษา	2552

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมและศึกษาสมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่ไวต่อแรงกดเพื่อประยุกต์ใช้ติดผิวหนังจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านกระบวนการซาปอนนิฟิเคชัน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เพื่อลดปริมาณโปรตีน ยางที่ได้จะมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 0.09 โดยน้ำหนัก ยางธรรมชาติโปรตีนต่ำจะถูกบดย่อยด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 60 นาที ทำให้ได้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 150,000 กรัมต่อโมล เมื่อผสมแป้งที่มีสมบัติเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดต่างๆ ได้แก่ กวักัม แซนแทนกัม และอะควาเจล โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการดึงลอก สมบัติการคืบ และการดูดซับ พบว่ายางที่มีการผสมแป้งในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติการดึงลอกออกมีแนวโน้มลดลง ขณะที่สมบัติการคืบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การผสมกวักัม แซนแทนกัม และอะควาเจล ที่ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ในยางจะให้ค่าความต้านทานต่อการดึงลอกออก 8.6 และ 5 นิวตันตามลำดับ และค่าการดูดซับน้ำ 0.58 2.81 และ 0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบกับ แผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่ไวต่อแรงกดทางการค้า พบว่าการผสมแซนแทนกัม ในยางจะให้ผลการทดสอบที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด สอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และกล้องส่องแรงอะตอม ที่แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ระหว่างแซนแทนกัมกับยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล เช่นเดียวกันกับผลการศึกษาโครงสร้างระดับโมเลกุลด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี

**Thesis Title**                   Development of Pressure Sensitive Adhesive Patch from Natural Rubber

**Author**                           Mr.Arkom Sorsom

**Major Program**               Polymer Science and Technology

**Academic Year**               2009

## **ABSTRACT**

In this research, hydrocolloid pressure sensitive adhesive (PSA) for skin patch application was prepared and characterized from low protein natural rubber. The low protein natural rubber was prepared using saponification process by reacted with sodium hydroxide for 7 hours. The obtained rubber contains nitrogen 0.09 % by wt. The rubber was masticated using 2-rolls mill at 150°C for 60 minutes resulted in the molecular weight of rubber decreased to 150,000 g/mol. The rubber was mixed with hydrocolloid starch by varying the concentration and type of hydrocolloid starch such as guar gum, xanthan gum, and aqua gel. The results were found that peel strength of the mixture was decreased with increasing the hydrocolloids composition while the shear holding power was increased. The peel strength of the rubber mixing with 80% by wt. of guar gum, xanthan gum, and aqua gel were 8, 6, and 5 N, respectively and the water adsorption were 0.58, 2.81, and 0.53 g/cm<sup>3</sup>, respectively. The skin patch prepared from low protein natural rubber mixing with xanthan gum was found that the properties are very closed to the commercial skin patch because of the compatibility between the rubber and xanthan gum. The compatibility between the rubber and starch was confirmed using the morphology of skin patch which was studied by using scanning electron microscopy (SEM) and atomic force microscopy (AFM) and molecular structure using infrared spectroscopy.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.วิรัช ทวีปรีดา ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ รองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นาคะสรรค์ ซึ่งเป็นกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ ดร.วนิดา จันทร์วิบูล ที่ให้คำแนะนำแนวทางวิจัย การเขียนและแก้ไขวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ ไชยบัญญัติษฐ์ เป็นประธานกรรมการ การสอบวิทยานิพนธ์ ที่รับเป็นกรรมการสอบและที่กรุณาให้ความร่วมมือในการตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ ทุกท่านที่ได้สั่งสอน วิชาความรู้ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่าน ที่ความร่วมมือและช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สัญญาเลขที่ TGIST 01-51-059 สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) ที่ให้ทุนสนับสนุนสำหรับหลักสูตรปริญญาโทเป็นระยะเวลา 2 ปี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้อนุเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ สถานวิจัยความเป็นเลิศด้านเทคโนโลยียางพารา (Center of Excellence in Natural Rubber Technology, CoE-NR) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ที่ช่วยให้คำปรึกษาและสนับสนุนในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนงานวิจัยประสบผลสำเร็จด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท ฉลองอุตสาหกรรมน้ำยางชั้น จำกัด และองค์การสวนยางฝ้ายโรงงาน 1 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ยางวัตถุดิบในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์ใดๆ อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจ และขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา และครูบา อาจารย์ ทุกๆ ท่าน ที่ให้การสนับสนุนเป็นกำลังใจ และให้การอบรมสั่งสอนแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

อาคม สอสม

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(11)
รายการรูป	(13)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(17)
1. บทนำ	
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยาง	4
2.2 ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR)	4
2.3 น้ำยางธรรมชาติ	6
2.3.1 สมบัติและลักษณะของน้ำยางธรรมชาติ	6
2.3.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	6
2.3.2.1 ส่วนของเนื้อยางแห้งและอนุภาคยาง	8
2.3.2.2 โปรตีนในน้ำยาง	9
2.3.2.3 ไขมัน	10
2.3.2.4 อนุภาคเฟรย์-วิสลิง	10
2.3.2.5 ซี-เซรัม	11
2.3.2.6 โปรตีน	11
2.3.2.7 คาร์โบไฮเดรต	11
2.3.2.8 สารประกอบอินทรีย์	12
2.3.2.9 ลูทอยด์	12

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลยางธรรมชาติ	13
2.4.1 โครงสร้างทางเคมีของไอโซพรีน	13
2.4.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ	15
2.5 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ	16
2.6 การรักษาสภาพน้ำยาง	18
2.7 การผลิตยางแท่ง	20
2.8 อาการแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติ	23
2.9 การลดปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติ	24
2.10 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ	25
2.11 วิธีลดน้ำหนักโมเลกุลในยางธรรมชาติ	26
2.12 ยางสังเคราะห์	34
2.12.1 ยางพอลิไอโซพรีน	35
2.13 สารไฮโดรคอลลอยด์	35
2.14 กาวชนิดที่ไวต่อแรงกด (pressure sensitive adhesive, PSA)	37
2.14.1 ทฤษฎีการยึดติดของกาว	38
2.14.2 การผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาติ	39
2.15 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง และคล้ายคลึงกับงานที่ทำ	41
2.15.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติ	41
2.15.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ	42
2.15.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับการเตรียมกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด	42
2.15.4 การตรวจสอบสิทธิบัตรการผลิตแผ่นติดผิวหนัง	44





## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 การทดสอบสมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด	59
3.3.5.1 การทดสอบสมบัติการดึงลอกออก	59
3.3.5.2 การทดสอบการคืบ	60
3.3.5.3 การทดสอบสมบัติความสามารถการดูดซับน้ำ	61
3.3.5.4 การวิเคราะห์สัณฐานทางวิทยา ด้วยเครื่อง SEM	61
3.3.5.5 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลทางเคมี ด้วยเครื่อง FT-IR	61
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การผลิตและปรับปรุงคุณภาพยางแท่งคุณภาพ ในระดับอุตสาหกรรม	62
4.1.1 อิทธิพลของกระบวนการผลิตยางแท่งคุณภาพสูง ในระดับอุตสาหกรรม	62
4.1.2 อิทธิพลการปรับปรุงยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ด้วยการทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อปริมาณไนโตรเจนในยาง	63
4.2 การเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ด้วยเทคนิคการบด	65
4.2.1 อิทธิพลของคุณภาพยางธรรมชาติ ต่อการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด	65
4.2.2 อิทธิพลประเภทของยาง ต่อการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด	72
4.3 การเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด	77
4.3.1 วิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์	75
4.3.2 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อสมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้ยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ	79
4.3.3 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อสมบัติแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้ยางสังเคราะห์	93

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5. สรุปผลการทดลอง	
5.1 กระบวนการผลิตยางแท่งคุณภาพสูง ในระดับอุตสาหกรรม และการใช้สภาวะ การทำชอปอนนิฟิเคชัน ต่อการลดปริมาณไนโตรเจน	106
5.2 สมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์	106
5.3 สมบัติการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ	106
5.4 สมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด	107
5.5 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป	108
บรรณานุกรม	108
ภาคผนวก	114
ก การทดสอบสมบัติของแผ่นกาว Pressure-sensitive adhesive	115
ข ข้อมูลการวิเคราะห์	120
ค ข้อมูลการทดลอง	127
การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	130
ประวัติผู้เขียน	135

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	7
2.2	ข้อกำหนดมาตรฐานยางแห่งประเทศไทย	21
2.3	การใช้ยางดิบชนิดต่าง ๆ เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยาง	22
3.1	สารเคมีที่ใช้เตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)	58
3.2	สารเคมีที่ใช้เตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน	58
4.1	แสดงสมบัติพื้นฐานของยางธรรมชาติคุณภาพสูงที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม	62
4.2	แสดงปริมาณของไนโตรเจนที่มีอยู่ในยางหลังจากทำการแช่ใน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	64
4.3	ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการบด ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง(2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ	65
4.4	น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด	67
4.5	ลักษณะทางกายภาพของยางที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบด สองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ	72
4.6	น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด	74
4.7	สมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์	77
4.8	สมบัติการดึงลอกออก (peel force) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำผสมปริมาณของ สารไฮโดรคอลลอยด์ระดับต่างๆ	81
4.9	สมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ ปริมาณระดับต่างๆ	82

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
4.10 สมบัติการดูดซับน้ำ (water uptake) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆสมบัติการดูดซับน้ำ ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดไวต่อแรงกด	88
4.11 สมบัติการดึงลอกออก (peel force) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ	94
4.12 สมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ	95
4.13 สมบัติการดูดซับน้ำ (water uptake) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ	100

## รายการรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางธรรมชาติจากการปั่นแยกด้วยความเร็วสูง	8
2.2	ลักษณะอนุภาคยาง (rubber particle) และส่วนประกอบต่างๆในยางธรรมชาติ	9
2.3	แสดงโครงสร้างของไขมันชนิด $\alpha$ -Lacithin	10
2.4	สูตรโครงสร้างของควิบาซีทอล (quebrachitol)	12
2.5	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	13
2.6	โครงสร้างของไอโซพรีนในแบบต่างๆ	14
2.7	โครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ	15
2.8	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติจากน้ำยางข้น	16
2.9	การแปรรูปยางดิบของไทย	19
2.10	กรรมวิธีการผลิตยางแท่ง	20
2.11	การเกิดการแพ้แบบ type I และ type IV	23
2.12	การลดปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติโดยใช้ยูเรีย	24
2.13	กลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะบดยาง	27
2.14	ลักษณะการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ด้วยพลังงานแสง	28
2.15	แสดงปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้รังสี UV ร่วมกับไนโตรเบนซีน	28
2.16	แสดงปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติ ด้วยฟีนิลไฮดราซีน	30
2.17	สูตรโครงสร้างของยางสังเคราะห์พอลิไอโซพรีน	35
2.18	แผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ (pressure-sensitive adhesive) ที่มีจำหน่ายทั่วไป	38
3.1	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกัวกัม (guar gum)	46
3.2	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแซนแทนกัม (xanthan gum)	47
3.3	สูตรโครงสร้างโมเลกุลของอาควาเจล (Aqua gel)	47
3.4	เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (IR Thermometer)	48
3.5	ลักษณะของตู้อบอากาศร้อน	49
3.6	เครื่องบดยางสองลูกกลิ้งขนาดเล็ก	49
3.7	เครื่องบดยางสองลูกกลิ้งขนาดกลาง	50

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.8	เครื่องวัดน้ำหนักโมเลกุล (gel permeation chromatography, GPC)	50
3.9	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (tensile machine)	51
3.10	เครื่องเซนตริฟิวจ์ ยี่ห้อ SORVAL รุ่น GLC-2	51
3.11	เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 2 ตำแหน่ง	52
3.12	เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	52
3.13	แสดงกระบวนการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ด้วยเทคนิคการบด	55
3.14	แสดงขั้นตอนการเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด	57
3.15	เครื่องทดสอบการดึงลอกแบบ 180° peel (LLOYD Tensile tester)	59
3.16	ลักษณะการทดสอบสมบัติการคืบ (shear holding power)	60
4.1	ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการบดด้วย เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ	66
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ	68
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ	69
4.4	ความสัมพันธ์ของค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight- Distribution) ของยาง STR XL-SAP ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ	70
4.5	ความสัมพันธ์ของค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight- distribution) ของยาง WPC-SAP ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ	71
4.6	ลักษณะทางกายภาพของยางสังเคราะห์ไอโซพรีนที่ผ่านการบด ด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ	73
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ	74
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\bar{M}_n$ ) ของยาง ธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ	75

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	ความสัมพันธ์ของค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight-distribution) ของยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ	76
4.10	แสดงแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน ของสารไฮโดรคอลลอยด์ ด้วยเทคนิค FT-IR	78
4.11	ลักษณะของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)	80
4.12	แสดงคุณสมบัติการดึงลอกออก (peel) ของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)	81
4.13	แสดงคุณสมบัติการคืบ (shear holding power) ของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)	83
4.14	แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ guar gum 80% โดยน้ำหนัก	84
4.15	แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ aqua gel 80% โดยน้ำหนัก	85
4.16	แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ xanthan gum 80% โดยน้ำหนัก	86
4.17	แสดงลักษณะการดูดซับน้ำของกาวยางไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)	87
4.18	แสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)	88
4.19	แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์กับยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP) โดยการวิเคราะห์ SEM กำลังขยาย 200 เท่า	89
4.20	แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์กับยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP) โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM	91
4.21	ลักษณะของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน	93

## รายการรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.22	แสดงคุณสมบัติการดึงลอกออก (peel) ของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน	94
4.23	แสดงคุณสมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน	96
4.24	แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ guar gum 80% โดยน้ำหนัก	97
4.25	แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ aqua gel 80% โดยน้ำหนัก	98
4.26	แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาวยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ xanthan gum 80% โดยน้ำหนัก	99
4.27	แสดงลักษณะการดูดซับน้ำของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน	100
4.28	แสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน	101
4.29	แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่ผสมกับยางสังเคราะห์ไอโซพรีน โดยการวิเคราะห์ด้วย SEM กำลังขยาย 200 เท่า	102
4.30	แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์กับยางสังเคราะห์ไอโซพรีน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM	104



## สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

ตัวย่อ	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย
ADS	Air Dried Sheet	ยางแผ่นผึ่งแห้ง
°		
Å	Angstrom	อังสตรอม
°C	Degree Celsius	องศาเซลเซียส
DPNR	Deproteinized natural rubber	ยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ
g/cm <sup>2</sup>	Grams per square centimeter	กรัมต่อตารางเซนติเมตร
g/cm <sup>3</sup>	Grams per cubic centimeter	กรัมต่อลูกกาศก์เซนติเมตร
IgE	Immunoglobulin E	ภูมิต้านทานชนิด อี
$\overline{M}_n$	Number average molecular weight	น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน
$\overline{M}_w$	Weight average molecular weight	น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก
MPa	Mega pascal	เมกะ พาสคาล
N	Newton	นิวตัน
NR	Natural rubber	ยางธรรมชาติ
pH	Potential of Hydrogen	ศักยภาพของไฮโดรเจน [H <sup>+</sup> ]
phr	part per hundred rubber	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
PSA	Pressure-sensitive adhesive	กาวชนิดที่ไวต่อแรงกด
RSS	Rib Smoked Sheet	ยางแผ่นรมควัน
SEM	Scanning Electron Microscopy	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด
SR	Synthetic rubber	ยางสังเคราะห์
STR	Standard Thai Rubber	มาตรฐานยางแห่งประเทศไทย
T <sub>g</sub>	Glass transition temperature	อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะ คล้ายแก้ว
VFA	Volatile fatty acid	กรดไขมันที่ระเหยได้
%	Percent	เปอร์เซ็นต์
µm	Micrometer	ไมโครเมตร

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำตั้งเรื่อง

ยางธรรมชาติจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยในปี 2552 นี้ ประเทศไทยมีผลผลิตยางพารา 3.0-3.2 ล้านตัน โดยส่งออกในรูปของยางแท่งมากที่สุด ถึงร้อยละ 40, ยางแผ่นรมควัน ร้อยละ 30 , น้ำยางข้น ร้อยละ 20 และส่วนที่เหลือเป็นผลผลิตยางประเภทอื่นๆ (ที่มา: <http://www.live-rubber.com>) ส่วนผลผลิตยางที่ใช้ภายในประเทศมีเพียง 4 แสนตัน คิดเป็นร้อยละ 12 ของผลผลิตทั้งหมด เพื่อผลิตยางยืดและถุงมือยางรวมไม่เกินร้อยละ 35 ส่วนที่เหลือใช้ในการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์, ยางรัดของรองเท้า และกาวยางเป็นต้น อย่างไรก็ตามประเทศไทยกลับต้องนำเข้าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติจากต่างประเทศในมูลค่าที่สูงกว่ามูลค่าการส่งออกหลายเท่าตัว ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการยังไม่มีมาตรการสนับสนุนอย่างจริงจังทั้งทางด้านการศึกษาค้นคว้าและวิจัยภายในประเทศ และงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังขาดความต่อเนื่องไม่มีการนำไปผลิตทดแทนการนำเข้าสินค้าประเภทต่างๆ

ปัจจุบันได้มีการใช้วัสดุประเภทยางในการเตรียมวัสดุทางการแพทย์หลากหลายชนิด เนื่องจากมีความยืดหยุ่นและมีความเหนียว แต่การนำยางธรรมชาติไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ที่มีการใช้งานต้องสัมผัสกับส่วนต่างๆ ของร่างกาย พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติส่วนใหญ่ เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย สายยางยืด จุกนม สายสวนปัสสาวะ และยางฟองน้ำ เป็นต้น สามารถก่อให้เกิดการแพ้ต่อผู้ใช้ เช่น การแพ้สารเคมีหรือโปรตีนที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ การแพ้ที่ได้รับการพูดถึงมากที่สุด คือ การแพ้โปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ส่วนใหญ่ ใช้ยางสังเคราะห์ในการผลิต เช่น ยางซิลิโคน (silicon rubber), พอลิไอโซบิวทิลีน (polyisobutylene) และพอลิอะคริเลท (polyacrylate)

งานวิจัยนี้จึงมีความสนใจพัฒนายางธรรมชาติและหาแนวทางแก้ไขเพื่อใช้ยางธรรมชาติผลิตวัสดุทางการแพทย์ คือแผ่นติดผิวหนัง เพื่อทดแทนการใช้ยางสังเคราะห์ที่มีราคาสูง โดยจะทำการลดโปรตีนในยางที่ทำให้เกิดการแพ้ เพิ่มความเหนียวของยางธรรมชาติโดยการลดน้ำหนักโมเลกุล และปรับปรุงสมบัติโดยการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งจะทำให้ได้ยางที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นติดผิวหนัง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการผลิตยางแท่ง ต่อคุณภาพและค่าปริมาณไนโตรเจนของยางธรรมชาติ
2. เพื่อศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติโปรตีนต่ำด้วยการทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อค่าปริมาณของไนโตรเจนในยางธรรมชาติ
3. เพื่อศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติน้ำหนักโมเลกุลต่ำในรูปของยางแท่งโปรตีนต่ำด้วยวิธีทางกลและความร้อน
4. เพื่อศึกษาสมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid)
5. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive) จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ซึ่งแปรชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่างๆ
6. เพื่อศึกษาสมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive) ที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ เปรียบเทียบกับแผ่นติดผิวหนังชนิดที่ไวต่อแรงกดทางการค้า
7. วิเคราะห์ผลของโครงการและรายงานความก้าวหน้า

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการเตรียมยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่มีระดับปริมาณไนโตรเจนต่ำ โดยการนำยางดิบ คือ ยาง STR XL และ ยาง white crepe มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
2. ทำการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์ไอโซพรีนด้วยเทคนิคการบด (mastication)
3. ทำการเตรียมแผ่นกาวยางไฮโดรคอลลอยด์ที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive) ด้วยยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ โดยใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ คือ แซนแทนกัม (xanthan gum), กัวกัม (guar gum) และ อาควาเจล (aqua gel)
4. ตรวจสอบสมบัติพื้นฐานตามลักษณะการใช้งานของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกดที่เตรียมได้ ได้แก่ แรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel strength), การคืบ (shear holding power) และ การดูดซับน้ำ (water uptake) เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกดทางการค้าชนิดทวารเทียม (ostomy)

5. ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานทางวิทยาของแผ่นกาวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) และกล้องส่องแรงอะตอม (atomic force microscopy, AFM) เพื่อศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับสารไฮโดรคอลลอยด์

6. ศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกดที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นต้นแบบของการพัฒนาการผลิตแผ่นกาวยึดติดผิวหนัง ที่สามารถดูดซับของเหลวได้ จากยางธรรมชาติเพื่อทดแทนการนำเข้าของผลิตภัณฑ์

2. ทำให้ทราบถึงกระบวนการ กลไกและแนวโน้มการเตรียมยางธรรมชาติน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

3. ทำให้ทราบถึงกระบวนการเตรียมแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive) ที่ผสมชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ระดับต่าง ๆ

4. ทำให้ทราบแนวโน้มของสมบัติแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive) ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

5. เป็นองค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งด้านการแพทย์ เพื่อที่จะนำไปสู่การคิดค้นและพัฒนาการนำยางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้งานด้านการแพทย์มากขึ้น

6. ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับยางพารา และเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกร

7. ช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับผู้ป่วยที่ต้องการรักษา อันเนื่องมาจากบาดแผล

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยาง

ความรู้เรื่องยางอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ การผลิตยางดิบ (raw rubber) และการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง (rubber product) ในส่วนของยางดิบนั้น สามารถแบ่งยางดิบออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ยางดิบที่ได้มาจากต้นพืชเรียกว่ายางธรรมชาติ (natural rubber, NR) และยางดิบที่ได้จากการสังเคราะห์โดยกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) เรียกว่ายางสังเคราะห์ (synthetic rubber, SR) ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์อาจอยู่ในรูปของยางแห้ง (dry rubber) หรือน้ำยาง (latex) ก็ได้ สำหรับในส่วนของ การผลิตผลิตภัณฑ์จากยางนั้น โดยทั่วไปสามารถแบ่งผลิตภัณฑ์ยางออกได้เป็น 2 กลุ่มตามลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบที่เป็นยางแห้งและกลุ่มผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบที่เป็นน้ำยาง

ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ต่างก็มีสมบัติเด่นที่แตกต่างกัน เช่น ยางธรรมชาติมีสมบัติเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีสมบัติความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ที่สูงมากโดยที่ไม่ต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรง อันเป็นสมบัติที่จำเป็นในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือ และถุงยางอนามัย เป็นต้น ส่วนยางสังเคราะห์นั้นมีความหลากหลายชนิด ซึ่งยางสังเคราะห์แต่ละชนิดก็จะมีสมบัติเด่นที่แตกต่างกันไป เช่น ยางบิวตาไดอีน (BR) ที่มีสมบัติเด่นในด้านความต้านทานต่อการขีดถูหรือยางไนไตรล์ (NBR) ที่มีสมบัติเด่นในด้านความทนทานต่อน้ำมัน เป็นต้น

#### 2.2 ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR)

ยางพาราได้จากต้นยางพันธุ์ *Hevea brasiliensis* ปัจจุบันรู้จักในนามยางธรรมชาติ (natural rubber, NR) มีถิ่นกำเนิดแถบอเมริกาใต้ จนกระทั่งถูกนำมาแพร่พันธุ์ต่อทางทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเริ่มจากศรีลังกา มาเลเซีย ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการปลูกต้นยาง *Hevea* มาจนถึงปัจจุบันนี้ และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน อาจนับเป็นพืชชนิดเดียวที่ให้ยางธรรมชาติซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตวัสดุสำเร็จรูปยาง

กัตตาเปอซา และบาลาตา (gutta-percha and balata) เป็นวัตถุดิบที่ได้จากต้นไม้ในตระกูล sapotaceae มีลักษณะคล้ายยางพารา เนื่องจากเป็นทรานไอโซเมอร์ของพอลิไอโซพรีน ในมาเลเซียและอินโดนีเซียเก็บเกี่ยววัตถุดิบนี้จากต้น palaguium, isonandra และ payana วัตถุดิบจากกัตตาเปอซา และบาลาตาแตกต่างจากยางจากต้นยางพารา คือมีปริมาณเรซิน สูง ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่มีลักษณะการทำให้คงรูปเช่นกรณีของยางพารา และยังมีความเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 70 - 100°C จากแข็งกระด้างไปเป็นลักษณะคล้ายพลาสติก

วายุยูเล (guayule) เป็นยางอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้ในเชิงพาณิชย์ มีลักษณะเป็นพืชล้มลุกที่มีลักษณะเป็นพุ่มไม้เตี้ยๆ ยางชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดตามธรรมชาติอยู่ในพื้นที่กึ่งแห้งแล้งในแถบทางตอนเหนือของประเทศเม็กซิโก และทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา ให้สารเรซินที่มีลักษณะคล้ายยาง มีส่วนประกอบของสารไฮโดคาร์บอน (hydrocarbon) ประมาณ 70% โดยน้ำหนัก เรซิน 20% โดยน้ำหนัก และส่วนของสารที่ไม่ละลายในเบนซีน (benzene-insoluble) ประมาณ 10% โดยน้ำหนัก ในทางเคมียางจากวายุยูเลเป็น ซิส-พอลิไอโซพรีน (cis-polyisoprene) และเนื่องจากมีส่วนของเรซินสูง จึงทำให้เหนียว (tacky) และคล้ายพลาสติกมาก สลายตัวได้ง่าย การทำให้คงรูปช้า และให้สถานการณ์คงรูปต่ำกว่ากรณีของยางพารา โดยที่ยางวายุยูเลมีความอ่อนตัวเริ่มต้น (plasticity) สูงมาก จึงได้มีความพยายามที่จะใช้เป็นยางเทอร์โมพลาสติก

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ ชนิดหนึ่งที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากและมีสมบัติเด่นหลายประการที่วัสดุอื่น ไม่สามารถเทียบเคียงได้ โดยเฉพาะความยืดหยุ่น (elasticity) นั่นคือ เมื่อมีแรงดึง ยางที่คงรูปแล้วจะสามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิมและเมื่อปล่อยแรงออก ยางก็จะสามารถกลับคืนสู่รูปร่างและความยาวเดิมได้ นอกจากนี้ ยางยังมีสมบัติเด่นอื่นๆ อีกด้วย เช่น มีความเหนียว (toughness) และมีความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) สูง สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ดี เป็นต้น ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของยาง ได้แก่ ความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่น เช่น โลหะและสิ่งทอ (เส้นใย ผ้าใบ ฯลฯ) การเชื่อมติดยางกับวัสดุเหล่านี้ทำให้ยางมีความแข็งแรงสูงขึ้น จึงสามารถนำยางไปใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น

แม้ว่ายางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความชื้น เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความชื้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่างๆ ดังกล่าว

## 2.3 น้ำยางธรรมชาติ

### 2.3.1 สมบัติและลักษณะของน้ำยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ *Hevea brasiliensis* หรือที่เรียกกันว่า “ยางพารา” น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีมโดยมีอนุภาคยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ (colloidal) เป็นสารละลายที่ประกอบด้วยส่วนของสารพอลิเมอร์ที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลาง ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของสารแขวนลอย (dispersephase) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคยางมีรูปร่างกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 - 5 ไมครอน และส่วนของสารที่เป็นตัวกลาง (dispersion medium) เรียกโดยทั่วๆ ไปว่า ส่วนที่เป็นเซรุ่ม (เสาวนีย์, 2541) น้ำยางสดมีสภาพเป็นคอลลอยด์ ชนิดไฮโดรโซล (hydrosol) คือมีสารที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ แต่มีความพิเศษกว่าไฮโดรโซล มีความก้ำกึ่งระหว่างความเป็นไฮโดรฟิลิก (hydrophilic : เกิดเป็นสารละลายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย) และมีความก้ำกึ่งระหว่างความเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) เป็นลักษณะที่ไม่ยอมรวมกับน้ำ และเกิดเป็นสารละลายได้ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย แต่โดยภาพรวมลักษณะไฮโดรโฟบิกจะเด่นกว่าความเป็นไฮโดรฟิลิก ความหนาแน่น 0.975 - 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร ความเป็นกรด - ด่าง (pH) ประมาณ 6.5 - 7.0 โดยทั่วไปปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติอาจแปรปรวนตั้งแต่ 25 - 45% โดยน้ำหนัก แต่โดยเฉลี่ยความหนืดของน้ำยางมีค่าประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (น้ำบริสุทธิ์มีความหนืด 1 เซนติพอยส์) และอาจมีค่าแปรปรวน ขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีดยาง เป็นต้น

### 2.3.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ เป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ เมื่อกรีดยจากต้นยางจะมีปริมาณของเนื้อยางแห้งประมาณ 25 - 45% โดยน้ำหนัก ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดกับปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดประมาณ 3% โดยน้ำหนัก ส่วนปริมาณสารที่ไม่ใช่ยางมีประมาณ 5% โดยน้ำหนัก ซึ่งในปริมาณนี้เป็นสารจำพวกโปรตีนที่ละลายน้ำได้ ประมาณครึ่งหนึ่ง และปริมาณ 1 ใน 4 ดูดซับที่ผิวอนุภาคยาง ส่วนที่เหลืออยู่ในรูปของสารลูทอยด์ (Lotoid) ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (Blackley, 1997)

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนัก
ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	27-48
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC)	25-45
สารพวกโปรตีน (Proteinaceous substances)	1-1.5
สารพวกเรซิน (Resinous substances)	1-1.25
ขี้เถ้า (Ash)	สูงถึง 1
น้ำตาล (Sugars)	1
น้ำ (Water)	ส่วนที่เหลือจนครบ

โดยทั่วไปส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ กระจายอยู่ใน 2 ส่วนใหญ่ ของน้ำยาง ดังนี้

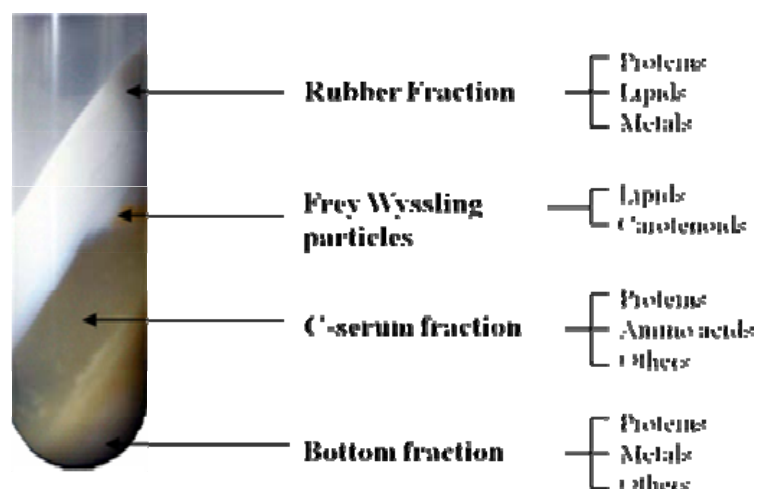
1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง ประกอบด้วย
 

อนุภาคยาง โปรตีน และไขมัน ประมาณ	35	% โดยน้ำหนัก
----------------------------------	----	--------------
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง
 

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ หรือเซรัม	65	% โดยน้ำหนัก
2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ	55	% โดยน้ำหนัก
	10	% โดยน้ำหนัก

เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ที่ความเร็วต่อรอบสูงสามารถแยกส่วนประกอบในน้ำยางออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูป 2.1 ชั้นบนเป็นชั้นเนื้อยาง (rubber fraction) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคยางเป็นหลัก ชั้นกลางเป็นสารละลายค่อนข้างใส เรียกว่า ซี-เซรัม (C-serum) และชั้นล่างเป็นส่วนของอนุภาคลูทอยด์ ซึ่งเมื่อทำให้เมมเบรนที่หุ้มรอบอนุภาคลูทอยด์แตกออกได้ บี-เซรัม (B-serum) นอกจากนี้แล้วยังมีชั้นของอนุภาคเฟรย์-วิสลิง (frey wyssling) มีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างชั้นเนื้อยาง (rubber fraction) กับชั้นซี-เซรัม (C-serum)

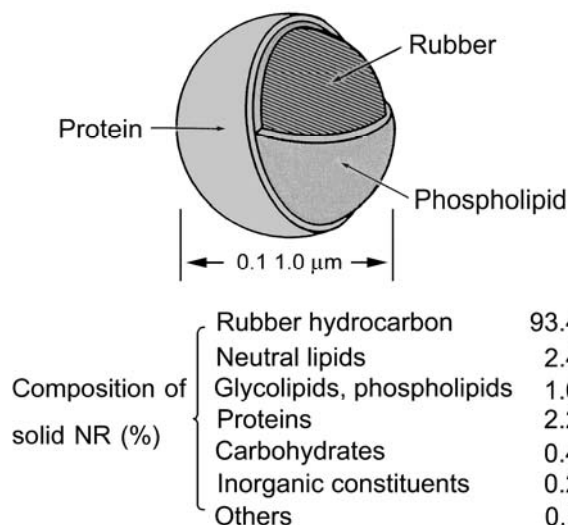




รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางธรรมชาติจากการปั่นแยกด้วยความเร็วสูง (Cockbain, 1963)

### 2.3.2.1 ส่วนของเนื้อยางแห้งและอนุภาคยาง

น้ำยางธรรมชาติเป็นคอลลอยด์ของอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในชั้นน้ำที่ได้จากต้นยาง *Hevea brasiliensis* อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนอยู่ชั้นนอกสุด ถัดเข้ามาคือชั้นของไขมัน โดยปกตินุภาคยางแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อทางเคมีว่า "ไอโซพรีน" ซึ่งมีโครงสร้างเป็น ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) เกือบทั้งหมด อนุภาคยางมีลักษณะค่อนข้างกลม ขนาดอนุภาคแตกต่างกันออกไป แต่โดยเฉลี่ยประมาณ 1.03  $\mu\text{m}$  เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงพบว่า อนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่และแยกตัวออกจากชั้นน้ำขึ้นมาอยู่ด้านบน ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กปะปนอยู่กับหางน้ำยาง นอกเหนือจากอนุภาคยางแล้วยังมีส่วนอื่นๆ ที่เรียกว่า ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber) ได้แก่ โปรตีน น้ำตาล ไขมัน ฟอสโฟไลปิด และไอออนของโลหะ ในปริมาณ 6 - 8% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งเห็นได้ชัดว่าแตกต่างจากยางสังเคราะห์ซึ่งไม่มี non-rubber เหล่านี้



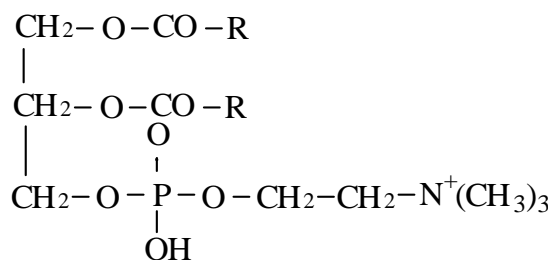
รูปที่ 2.2 ลักษณะอนุภาคยาง (rubber particle) และส่วนประกอบต่างๆในยางธรรมชาติ (Cockbain, 1963)

### 2.3.2.2 โปรตีนในน้ำยาง

ส่วนของพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ที่ผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 % ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 % จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25 % จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนที่อยู่ในชั้นน้ำส่วนใหญ่เป็นชนิด แอลฟาไกลูบูลิน และฮีวิน ( $\alpha$ -globulin และ heveein) ส่วนนอกสุดของอนุภาคยางมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณ 1 % ของอนุภาคยาง ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดแอลฟาไกลูบูลิน ซึ่งไม่ละลายในน้ำกลั่น แต่ละลายในกรด ต่างและเกลือ มีค่า Isoelectric point ที่ pH = 4.8 ดังนั้นอนุภาคยางจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว ณ pH ที่ทำให้แอลฟาไกลูบูลินละลายได้น้อยที่สุด สำหรับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยางซึ่งเป็นโปรตีนพวกฮีวิน สามารถละลายน้ำได้ มีค่า Isoelectric point ที่ pH = 4.5 จะป้องกันอนุภาคยางมารวมตัวกัน เมื่อมีการสูญเสียสภาพของน้ำยาง เช่น การเติมแอลกอฮอล์หรือกรดอะซิติก เป็นต้น อนุภาคยางจะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน เรียก Coagulum แยกออกจากส่วนของเซรุ่ม โปรตีนบนผิวอนุภาคยางนี้ มีส่วนประกอบของกำมะถัน (crystalline disulphide linkage) อยู่ประมาณ 5 % ดังนั้นขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ จะเกิดการบุดเนา โดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน (mercaptan) ทำให้มีกลิ่นเหม็น

### 2.3.2.3 ไขมัน

ไขมันซึ่งเป็นชั้นอยู่ระหว่างอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด  $\alpha$ -Lacithin ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนอนุภาคยาง



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของไขมันชนิด  $\alpha$ -Lacithin

R ในสูตรโครงสร้างคือ Heptadecyl ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}$ ) หรือ Heptadenyl ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}$ )

น้ำยางในสภาวะที่เป็นต่าง เช่น มีแอมโมเนียอยู่ประมาณ 0.6 % โดยน้ำหนัก ขึ้นไป ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดที่มีโมเลกุลยาว (long chain fatty acid) ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรมากขึ้น แต่กรณีที่มีแอมโมเนียปริมาณน้อย (ประมาณ 0.2% โดยน้ำหนัก) การไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นน้อย การเพิ่มความเสถียรของน้ำยางจึงจำเป็นต้องเพิ่มสบู่ หรือสารอื่นที่ช่วยในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มลงไป

### 2.3.2.4 อนุภาคเฟรย์-วิสลิง

เฟรย์-วิสลิง (frey-wyssling) มีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ระหว่างชั้นเนื้อยาง (rubber fraction) กับชั้นซี-เซรัม (C-serum) อนุภาคเฟรย์-วิสลิงเป็นสารที่ไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า ลักษณะของอนุภาคเป็นไขมันโดยส่วนใหญ่ มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก และประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ ซึ่งทำให้น้ำยางมีสีเหลืองเข้ม อนุภาคเฟรย์-วิสลิงไม่สามารถคงสภาพอยู่ได้ในน้ำยางชั้นที่เก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรัม

### 2.3.2.5 ซี-เซรัม (C-serum)

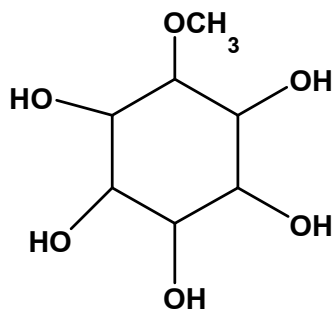
ในชั้นซี-เซรัมนี้ ประมาณ 44 - 55% โดยน้ำหนัก เป็นส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางที่ละลายอยู่ในชั้นของของเหลวในน้ำยางธรรมชาติ ประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต (น้ำตาล) เอนไซม์ และเกลือของสารอนินทรีย์ เป็นต้น

### 2.3.2.6 โปรตีน

ในน้ำยางธรรมชาติจะประกอบด้วยโปรตีน (proteins) ทั้งหมดประมาณ 1 - 1.5% โดยน้ำหนัก โดยโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25% โดยน้ำหนัก ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50% โดยน้ำหนัก จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25% โดยน้ำหนัก จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนที่อยู่ในน้ำยางโดยส่วนใหญ่มี 2 ชนิด คือ แอลฟาโกลบูลิน ( $\alpha$ -globulin) และฮีวิน (hevein) ซึ่งส่วนที่อยู่นอกสุดของอนุภาคยาง โปรตีนที่พบมากที่สุดคือน้ำยางสดส่วนใหญ่เป็นชนิดแอลฟาโกลบูลิน ( $\alpha$ -globulin) ซึ่งมีคุณสมบัติของสารตรงผิวของโมเลกุลมีความว่องไว (surface active) ไม่ละลายในน้ำ แต่จะละลายในกรด ต่าง และเกลือ มีค่าของจุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ที่ pH 4.8 ดังนั้นอนุภาคยางจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วที่ pH ของแอลฟาโกลบูลินละลายน้อยที่สุด สำหรับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยางซึ่งเป็นโปรตีนพวกฮีวิน สามารถละลายน้ำได้ มีค่า isoelectric point ที่ pH 4.5 จะป้องกันไม่ให้อนุภาคยางมารวมกัน เมื่อมีการสูญเสียน้ำ

### 2.3.2.7 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรต (carbohydrates) เป็นสารจำพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางสด ประมาณ 1% โดยน้ำหนัก น้ำตาลโดยส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบาชิทอล (quebrachitol) ซึ่งมีโครงสร้างตั้งในรูปที่ 2.4 นอกจากนี้ยังมีน้ำตาลชนิด กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส อีกปริมาณเล็กน้อย น้ำตาลเหล่านี้ถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายให้กรดโมเลกุลเล็กๆ ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวกันเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย เรียกว่า volatile fatty acid ประกอบด้วย กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพลีไอนิก เป็นต้น



L-quebrachitol

รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของควิบาซิทอล (quebrachitol)

### 2.3.2.8 สารประกอบอินทรีย์

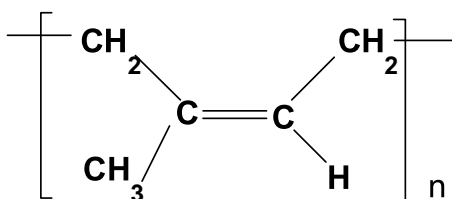
ในชั้นเซรัมของน้ำยางสดมีความเข้มข้นของปริมาณไอออนของเกลืออนินทรีย์ประมาณ 0.5% โดยน้ำหนัก ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วเกือบครึ่งหนึ่งประกอบด้วย โปแทสเซียม ไอออน ประมาณ 0.12 - 0.25% โดยน้ำหนัก และ ฟอสเฟสไอออน ประมาณ 0.25% โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือเป็นพวกแมกนีเซียม คอปเปอร์ เหล็ก โซเดียม และแคลเซียม เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว ไอออนเหล่านี้ยังมีผลต่อสมบัติการลดลงของความแข็งของยางเมื่อทดลองกำจัดปริมาณไอออนด้วยเทคนิคไดอะไลซิส (dialysis) โดยเฉพาะแคทไอออนจำพวก  $Mg^{2+}$  และ  $Ca^{2+}$  ที่อยู่ในน้ำยาง ซึ่งอาจทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงแบบพันธะอิออนิกได้

### 2.3.2.9 ลูทอยด์

ลูทอยด์ (lutioids) ประกอบไปด้วยอนุภาคของสารที่ไม่ใช่ยางเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะอยู่ในส่วนล่างสุด (bottom fraction) มีลักษณะเป็นอนุภาคค่อนข้างกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-5  $\mu m$  ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยางเป็นอย่างมากหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางนี้ จะมีทั้งสารละลายและสารแขวนลอย เมื่อทำให้แตกออกจะเรียกว่า บี-เซรัม (B-serum) ซึ่งส่วนใหญ่จะประกอบด้วย กรด เกลือแร่ โปรตีน น้ำตาล และสารพอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ โดยปกติปริมาณของลูทอยด์มีผลต่อประสิทธิภาพของความหนืด และสมบัติของคอลลอยด์ของน้ำยางสดเป็นอย่างมาก เมื่ออนุภาคลูทอยด์แตกออก ของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวกและไอออนของโลหะจะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกัน และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำยางเสียสภาพ

## 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลยางธรรมชาติ

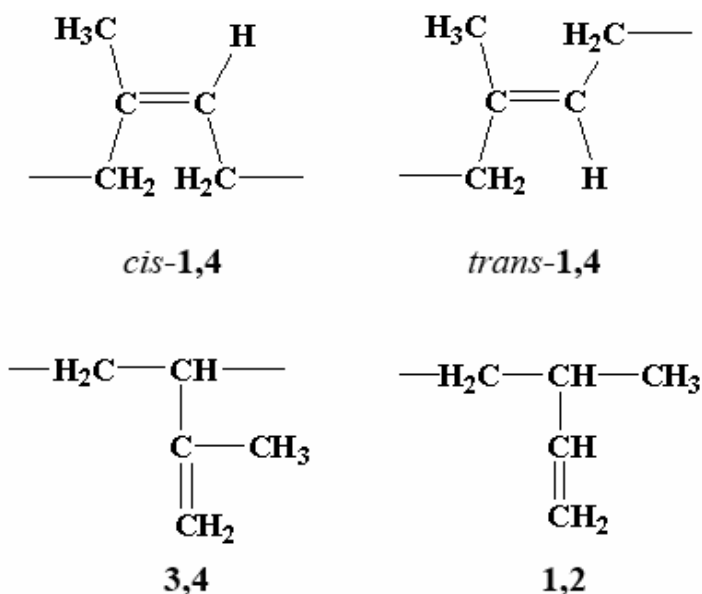
ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene) กล่าวคือ โมเลกุลยาง 1 โมเลกุลประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) มาต่อกันเป็นสายเส้นตรง (linear chain) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 กรัมต่อโมล และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติมีลักษณะทางกระบวนการแปรรูปที่ดีเลิศ (excellent process behaviour) อย่างไรก็ตามในยางธรรมชาตินอกจากจะมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแล้ว ยังมีสิ่งเจือปนอื่นๆ ประมาณ 5% โดยน้ำหนัก ได้แก่ โปรตีน เถ้า สารที่สกัดด้วยอะซิโตน (acetone extractable) และความชื้น ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ  $20^{\circ}C$  และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ประมาณ  $-72^{\circ}C$  หมายความว่าหากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า  $-72^{\circ}C$  สมบัติของยางธรรมชาติเปลี่ยนจากที่เคยมีความยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (Blackley, 1997)

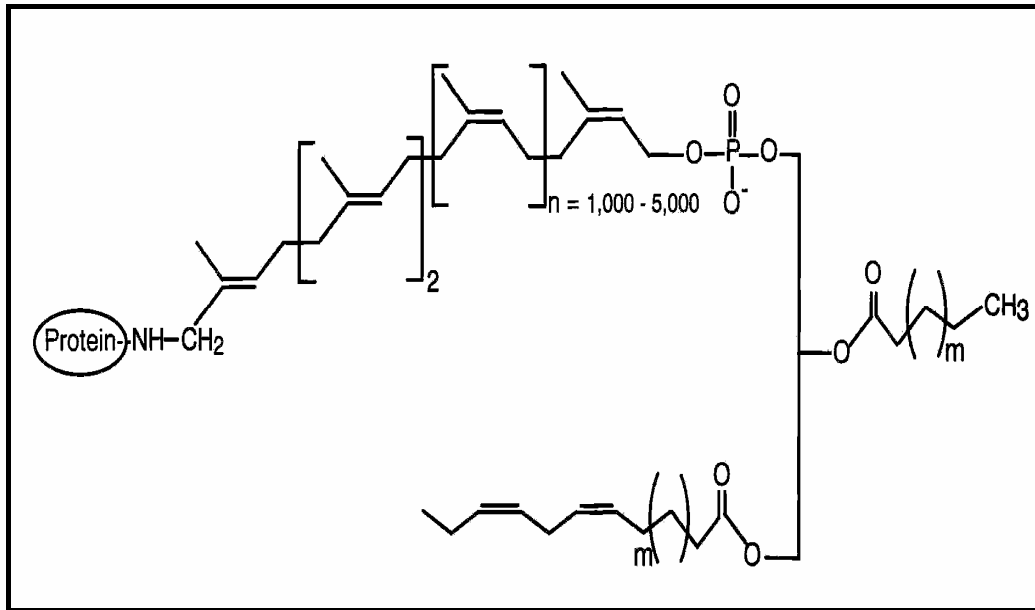
### 2.4.1 โครงสร้างทางเคมีของไอโซพรีน

ในปี ค.ศ. 1956 ได้มีการผลิตยางไอโซพรีนสังเคราะห์ขึ้นเป็นครั้งแรก โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของซีเกลอร์ (Ziegler catalyst) ซึ่งเตรียมได้จาก ทิทาเนียมเตตระคลอไรด์ ไตรเอทิลอลูมิเนียม (titanium tetrachloride triethylaluminium) โครงสร้างของยางที่ได้ใกล้เคียงกันกับยางธรรมชาติมาก โดยมีโครงสร้างแบบซิส 1,4 (*cis*-1,4 configuration) มากถึง 98 - 99% และมีโครงสร้างแบบทราน 1,4 (*trans* 1,4 configuration) ปนอยู่ 0.0 - 0.7% และมีโครงสร้างแบบ 3,4 หรือ 1,2 (3,4 or 1,2 configuration) ปนอยู่ 0.3 - 1.0% (Carman., 1969 and Chen., 1966) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงการจัดเรียงตัวของไอโซพรีนในรูปแบบต่างๆ อย่างไรก็ตามพบว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติ เช่น ความแข็งแรง ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด ความทนต่อการขีดถู และความทนทานต่อการเสียดสีภาพที่อุณหภูมิสูง (Schoenberg et al., 1979) แต่ยางไอโซพรีนสังเคราะห์ก็มีสมบัติบางอย่างที่เด่น



รูปที่ 2.6 โครงสร้างของไอโซพรีนในแบบต่างๆ (Tanaka et al., 2001)

แม้จะพบว่ายางธรรมชาติ (*Hevea brasiliensis*) ประกอบด้วยไอโซพรีนที่มีโครงสร้างแบบทรานส์ (*trans*-isoprene) 2 หน่วยต่อโมเลกุล แต่ก็ไม่สามารถวิเคราะห์หมู่ไดเมทิลอัลลิล (dimethylallyl group) และ หมู่สิ้นสุดไฮดรอกซิล (hydroxyl terminal group) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากกลไกการสังเคราะห์โมเลกุลยาง อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อพิสูจน์ที่แน่ชัด (Eng et al., 1997) ยางธรรมชาติถูกสันนิษฐานว่ามีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.7 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 เป็นต้นมา ได้มีการค้นพบว่าในยางธรรมชาติ (*Hevea rubber*) ประกอบด้วยสายโซ่ยาวของหมู่กรดไขมันซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอสเทอร์ของไลปิดกับโมเลกุลยาง ซึ่งคาดว่าจะจะเป็น ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) (Ichikawa et al., 1993) สันนิษฐานว่าหมู่กรดไขมันเหล่านี้น่าจะเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติทางกายภาพที่โดดเด่น โดยทำให้สายโซ่ของพอลิไอโซพรีนเกิดการตกผลึกได้รวดเร็วขึ้น (Nishiyama et al., 1998) นอกจากนี้ยังเชื่อว่า หมู่สิ้นสุดที่ปลายสายโซ่โมเลกุลยางทั้ง 2 หมู่ มีความสำคัญต่อการเกิดจุดเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลในยางธรรมชาติ ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์มีความแตกต่างกัน

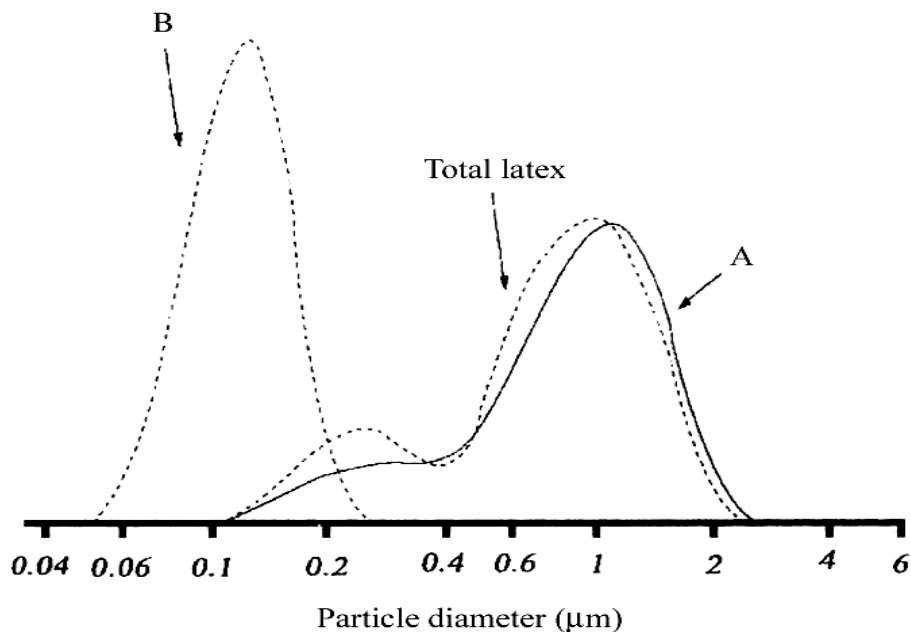


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของโมเลกุลยางธรรมชาติ (Eng et al., 1994)

#### 2.4.2 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ

ขนาดของอนุภาคยางธรรมชาติในชั้นครีม (cream phase) หรือชั้นของเนื้อยาง (rubber faction) มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1-3.0  $\mu\text{m}$  โดยเฉลี่ยแล้วอนุภาคยางจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.03  $\mu\text{m}$  เรียกว่า อนุภาคยางขนาดใหญ่ (large rubber particle; LRP) อย่างไรก็ตามยังพบว่าขนาดของอนุภาคยางที่กระจายตัวอยู่ในชั้นของเซรัม (serum phase) มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วงประมาณ 0.05 - 0.3  $\mu\text{m}$  ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วอนุภาคยางจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.13  $\mu\text{m}$  เรียกว่า อนุภาคยางขนาดเล็ก (small rubber particle; SRP) นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติมีลักษณะคล้ายกับการกระจายตัวของอนุภาคยางขนาดใหญ่ซึ่งมาจากชั้นครีม (Sakdapipanich et al., 1999) ดังแสดงในรูปที่ 2.8





รูปที่ 2.8 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคยางธรรมชาติจากน้ำยางข้น (total latex) A: จากชั้นครีม และ B: ชั้นเซรัม (Sakdapipanich et al., 1999)

## 2.5 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

1. ความยืดหยุ่น (elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว

2. ความเหนียวติดกัน (tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

3. ความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย (~20 MPa หรือสูงกว่านั้น) การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

4. ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถแตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงกลไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

5. สมบัติพลวัต (dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

6. ความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังคงต่ำกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

7. ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (specific resistivity) สูงถึง  $10^{15}$  หรือ  $10^{16}$  โอห์ม. เซนติเมตร

8. ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้ายางเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างร่างแห 3 มิติ ในยางคงรูปจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัวในตัวทำละลายเหล่านี้เท่านั้น อย่างไรก็ตาม การบวมตัวของตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนต่อการกัดและต่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อการกรัดในตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

9. การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยืดและได้รับโอโซนนาน ๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (anti-degradants) และไข (wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

10. การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ซึ่งยางที่มีสมบัตินี้ที่ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิด คือ ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางซิลิโคน (Q)

11. Compression set ยางธรรมชาติมีค่า compression set ค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไปในขณะที่ค่า compression set ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ compression set ต่ำลดลง

12. การกระด้างกระดอน (rubber resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูง (สูงกว่ายางชนิดอื่นๆ ทั้งหมด ยกเว้น BR ) และในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัตยางชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางรถบรรทุกหรือยางล้อเครื่องบิน เพราะหากใช้ยางที่มีความร้อนสะสมสูงก็อาจทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ง่าย

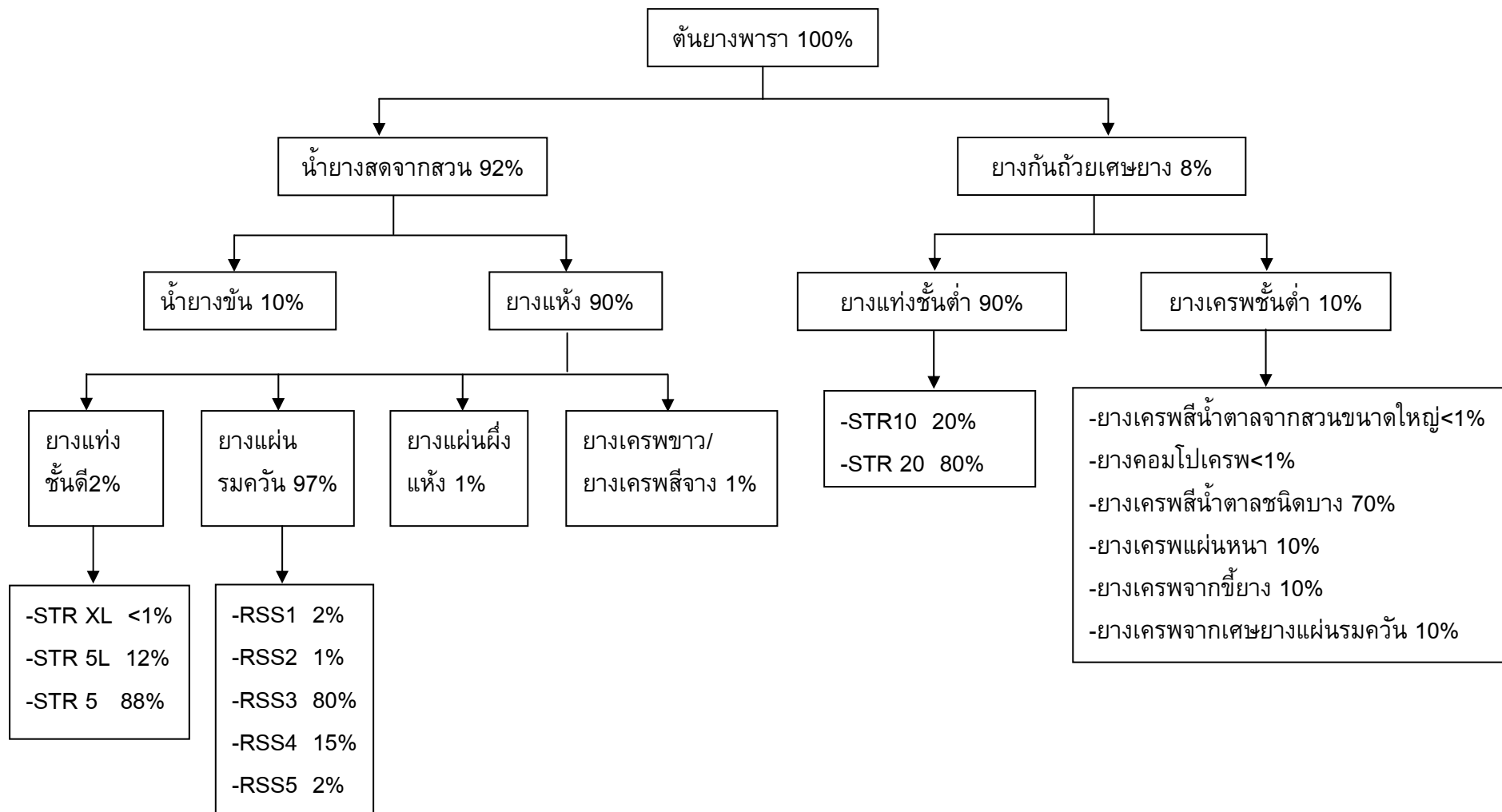
13. อุณหภูมิของการใช้งาน (service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิตั้งแต่  $-55^{\circ}\text{C}$  จนถึง  $70^{\circ}\text{C}$  อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะต้องลดลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง  $90^{\circ}\text{C}$  หรืออาจสูงถึง  $100^{\circ}\text{C}$  (ในกรณียางที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วง ๆ เท่านั้น)

## 2.6 การรักษาสภาพน้ำยาง

เมื่อได้น้ำยางสดจากต้นยาง หากไม่มีการรักษาสภาพน้ำยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะปะปนในน้ำยางและใช้สารกลุ่มน้ำตาลเป็นอาหารทำให้เกิดความเป็นกรด นั่นคือมีอนุมูลบวกเกิดขึ้นและเกิดปฏิกิริยาสะเทินกับอนุมูลลบรอบ ๆ ผิวอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเสียสภาพก่อนจะนำไปแปรรูป ดังนั้นจึงต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางโดยการเติมสารเคมี เช่น

- สารละลายแอมโมเนีย ร้อยละ 0.05 ต่อน้ำหนักน้ำยาง
- สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ ร้อยละ 0.02 - 0.05 ต่อน้ำหนักน้ำยาง

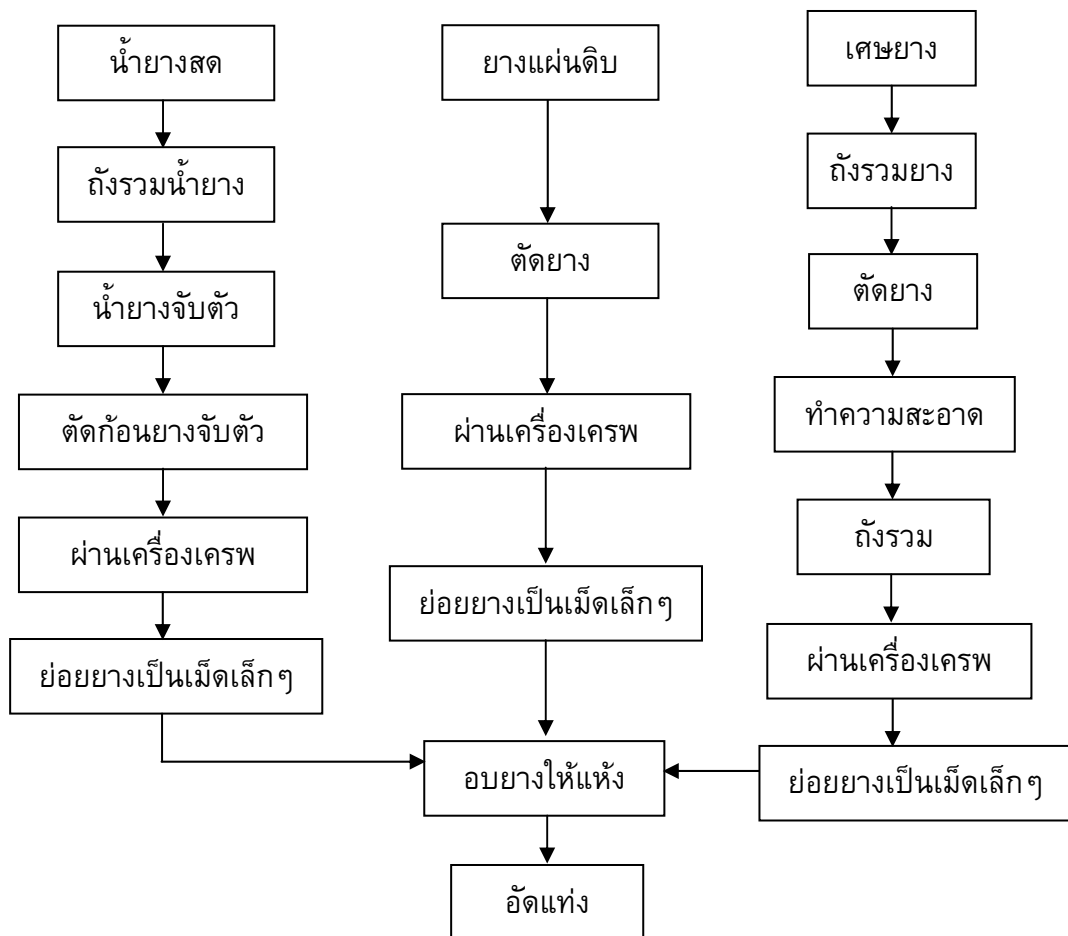
อุตสาหกรรมการแปรรูปน้ำยางสดเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ การผลิตน้ำยางข้นและการผลิตยางแท่ง ซึ่งแผนผังการแปรรูปยางชนิดต่าง ๆ จากน้ำยางสดแสดงไว้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การแปรรูปยางดิบของไทย (สถาบันวิจัยยาง, 2542)

## 2.7 การผลิตยางแท่ง

ประเทศไทยเริ่มผลิตยางแท่งครั้งแรกเมื่อปี 2511 โดยมีชื่อเรียกว่ายางแท่ง ที ที อาร์ (TTR – Thai Tested Rubber) เพื่อให้สอดคล้องกับภาวะอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง และสอดคล้องกับการเรียกชื่อยางแท่งตามสากล จึงได้แก้ไขและปรับปรุงวิธีปฏิบัติของการบรรจุหีบห่อ การควบคุมคุณภาพขีดจำกัดของสมบัติยางแท่งบางประการ ได้ตัดชั้นยางบางชั้น เพิ่มชั้นยาง CV (constant viscosity) และเปลี่ยนชื่อเรียกเป็นยางแท่ง เอส ที อาร์ (STR – Standard Thai Rubber) โดยกำหนดให้ประกอบด้วยชั้นยาง 8 ชั้น ได้แก่ STR XL, STR 5L, STR 5, STR 5 CV, STR 10, STR 10 CV, STR 20 และ STR 20 CV วัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางแท่งใช้ได้ทั้งน้ำยางสดที่ต้องทำให้จับตัวก่อน และยางแห้งที่จับตัวแล้ว เช่นยางแผ่นดิบ ยางก้อนถ้วย เศษยางกันถ้วย และเศษยางอื่นๆ ขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตคือ ตัดย่อยยางดิบให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว ล้าง อบให้แห้งและอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 33.3 กิโลกรัม กรรมวิธีการผลิตยางแท่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.10 และข้อกำหนดมาตรฐานยางแท่งไทยแสดงไว้ในตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.10 กรรมวิธีการผลิตยางแท่ง (สถาบันวิจัยยาง, 2542)

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดมาตรฐานยางแท่งไทย (สถาบันวิจัยยาง, 2542)

สมบัติ/ชั้นยางแท่ง	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 5 CV**	STR 10	STR 10 CV**	STR 20	STR 20 CV**
	น้ำยาง		น้ำยาง/ยางแผ่น		ยางก้อน/ยางแผ่น			
ปริมาณสิ่งสกปรก, % ไม่เกิน	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
ปริมาณเถ้า, % ไม่เกิน	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
ปริมาณไนโตรเจน (N), % ไม่เกิน	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
ปริมาณสิ่งระเหย, % ไม่เกิน*	0.80	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
ความอ่อนตัวเริ่มแรก, ไม่ต่ำกว่า	35.00	35.00	30.00	-	30.00	-	30.00	-
ดัชนีความอ่อนตัว, ไม่ต่ำกว่า	60.00	60.00	60.00	60.00	50.00	50.00	40.00	40.00
สี วัดด้วยโลวิบอนด์, ไม่เกิน	4.00	6.00	-	-	-	-	-	-
แถบสี	ฟ้า	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	ตัวอักษรขาว บนพื้นเขียว อ่อน	น้ำตาล	ตัวอักษรขาว บนพื้นน้ำตาล	แดง	ตัวอักษรขาว บนพื้นแดง

\* ขีดจำกัดของผู้ผลิตไม่เกิน 0.50%

\*\* ขีดจำกัดของผู้ผลิตคือ STR 5 CV มีค่าความหนืด 70(+7,-5), 60(+7,-5), 50(+7,-5), 40(+7,-5)

STR 10 CV มีค่าความหนืด 60(+7,-5)

STR 20 CV มีค่าความหนืด 65(+7,-5)

หมายเหตุ : กราฟแสดงลักษณะยางคงรูปโดยใช้สูตรยาง ASC 1 หรือสูตรยางของผู้ซื้อ/ผู้ผลิต จัดให้ตามความต้องการ

ตารางที่ 2.3 การใช้ยางดิบชนิดต่าง ๆ เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยาง (สถาบันวิจัยยาง, 2542)

ชนิด	การใช้งาน	หมายเหตุ
STR XL, STR 5L, ADS, RSS 1	ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์, เกษีชรกรรม การสัมผัสอาหารผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่งเติมสีสัน เส้นด้ายยางยืดแบบเหลี่ยมกาวยาง เทปติดพื้นรองเท้าและส่วนประกอบเป็นต้น	เป็นยางที่มีความสะอาดมีสีจาง โดยเฉพาะยาง STRXL และSTR 5L, RSS ค่อนข้างแข็งมาก ค่าความหนืดสูง
STR 20, RSS 2, 3, 4, 5	ผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ ยางล้อดอกกรวมทั้งผลิตภัณฑ์ยางอะไหล่ยางใช้ในงานวิศวกรรม และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เป็นต้น	เป็นยางสีคล้ำ ส่วนใหญ่ใช้สารตัวเติมเขม่าดำ เพื่อเสริมความแข็งแรง
ยางสกี	ใช้ผสมกับยางชนิดอื่น ๆ สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ระบุข้อจำกัด เช่น ยางปูพื้น ยางล้อรถเข็น ยางกันกระแทก เป็นต้น	ใช้ผสมกับยางอื่นเพื่อลดต้นทุน มีสีอ่อนและมี non rubber มากกว่ายางปกติ จึงสามารถใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางสีจาง หรือต้องการแต่งเติมสี นอกจากนี้ยังมีข้อได้เปรียบในการเกิดคงรูปได้เร็วแต่มีสมบัติทางกายภาพต่ำ
น้ำยางข้น	ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัยห้วนสำหรับทารก เป็นต้นผลิตภัณฑ์ตีฟอง เช่น ที่นอน หมอน ตุ๊กตาฟองน้ำ เป็นต้นผลิตภัณฑ์หล่อแบบ เช่น ตุ๊กตายาง หุ่นการศึกษา เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายยืดแบบกลม เช่น ท่อยาง กาวน้ำยาง เป็นต้น	สามารถออกสูตรสารเคมีผสมน้ำยางให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวและแข็งแรงมาก โดยไม่เติมสารเสริมความแข็งแรง

หมายเหตุ STR : Standard Thai Rubber (ยางแท่ง)

ADS : Air Dried Sheet (ยางแผ่นผึ่งแห้ง)

RSS : Ribbed Smoked Sheet (ยางแผ่นรมควัน)

ยางสกี : ยางที่ผลิตจากหางน้ำยางซึ่งเป็นผลพลอยได้ของกระบวนการผลิตน้ำยางข้น

## 2.8 อาการแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติ

โปรตีนกับอาการภูมิแพ้ (สวிரการ, 2538) โปรตีนที่มีอยู่ในยางบางชนิดก่อให้เกิดอาการแพ้ผิวหนัง โดยจะเกิดการอักเสบตรงบริเวณที่สัมผัสกับยาง ซึ่งอาการภูมิแพ้นี้อาจเกิดขึ้นจากการแพ้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ยาง ได้แก่ สารตัวเร่ง สารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง อาการภูมิแพ้โปรตีนในยางธรรมชาติ (พิมพา, 2541) สามารถแบ่งออกเป็นการแพ้แบบสัมผัสที่แสดงอาการอย่างช้าๆ (type IV) และการแพ้แบบฉับพลัน (type I) คือ

ก) ชนิด **type IV** หรือ การแพ้แบบสัมผัสที่แสดงอาการอย่างช้าๆ (type IV allergic contact dermatitis or delayed hypersensitivity) เกิดขึ้นจากที่ร่างกายสัมผัสกับสารซึ่งก่อให้เกิดการแพ้กับผิวหนัง แล้วทำให้ร่างกายเกิดอาการแพ้ขึ้นภายใน 4-6 ชั่วโมง อาการแพ้แบบนี้ไม่เป็นอันตรายมากนักลักษณะอาการ คือ จะรู้สึกคันหรือเกิดผื่นแพ้ทางผิวหนัง อาจเกิดการแพ้เนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ในยางรวมทั้งสารเคมีที่ใส่เข้าไปในยางด้วย

ข) ชนิด **type I** หรือ การแพ้แบบฉับพลัน (type I. immediate hypersensitivity)



รูปที่ 2.11 การเกิดการแพ้แบบ type I และ type IV (ชญาภา, 2550)

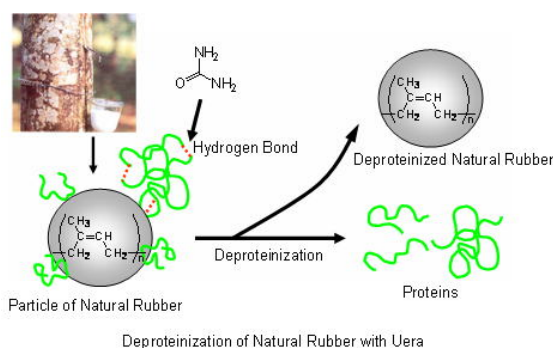
เป็นการแพ้ที่เกิดจากภูมิคุ้มกันของร่างกาย (IgE, Immunoglobulin E) จะเกิดปฏิกิริยาตอบสนองภายใน 30 นาที ถึง 60 นาที โดยร่างกายจะมีอาการเริ่มต้น อาจเกิดขึ้นในเวลาอันสั้นเพียง 1 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง เป็นอาการแพ้ที่ร้ายแรง ซึ่งอาจจะทำให้ระบบหายใจหยุดทำงาน โดยอาการจะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายสัมผัสหรือได้รับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยาง ซึ่งจะไปกระตุ้นร่างกายให้สร้างภูมิคุ้มกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่อร่างกาย ร่างกายจึงหลั่งสารเคมีต่างๆ ออกมา เช่น สารฮีสตามีน ซึ่งสารเหล่านี้ก่อให้เกิดอาการภูมิแพ้ต่างๆ เช่น อาการอักเสบ คัน น้ำมูกไหล ถ้ารุนแรงมากก็จะทำให้เกิดอาการหืดหอบหายใจลำบาก ช็อค หรือ อาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้



## 2.9 การลดปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติ

โปรตีนในน้ำยางสามารถทำให้มีปริมาณต่ำลงได้ 2 วิธี คือ แบบดันลอปและแบบไฟร์สโตน

ก) วิธีการแบบดันลอป (dunlop process) โดยใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน แล้วกำจัดออกในระหว่างกระบวนการผลิต (Chin et al., 1974) เอนไซม์ที่เหมาะสมสำหรับการขจัดโปรตีนจากน้ำยาง เช่น proteolytic โดยเอนไซม์นี้จะมีประสิทธิภาพสูงสุดในสภาวะที่ pH เป็นต่างได้แก่ alkalase, opticlean, KP-3939, Novo SP88 (Roberts, 1988)



รูปที่ 2.12 การลดปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติโดยใช้ยูเรีย

(ที่มา : <http://www.greentech.nagaokaut.ac.jp>)

ข) วิธีการแบบไฟร์สโตน (firestone process) เป็นการปรับปรุงคุณภาพยางแห้ง โดยนำยางสกิมที่จับตัวและรีดเป็นแผ่นแล้ว มาแช่ในสารละลาย NaOH หรือ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  แล้วนำไปแช่ในน้ำเพื่อล้างโปรตีนและด่างที่ติดผิวออก ในปัจจุบันได้มีการนำเอากระบวนการนี้มาใช้เตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำจากน้ำยางสด (Ong., 1974)

## 2.10 การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ

การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วต้องพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์และการใช้สารเคมีในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติที่ทำมาแล้วแบ่งตามระดับของน้ำหนักโมเลกุล ออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับที่ต่ำ โดยทำให้น้ำหนักโมเลกุล ( $\overline{M}_w$ ) อยู่ในระดับ 400,000 – 1,000,000 กรัมต่อโมล เพื่อลดความหนืดของยางดิบ และขจัดส่วนที่แข็งที่มีอยู่ในยาง (Gel) ซึ่งทำได้ง่ายในโรงงานทั่วไป โดยการใส่สารเคมีลงไปในรูปแบบน้ำยางหรือยางแห้งเพื่อทำลายโซ่ของโมเลกุลยางให้สั้นลง โดยที่ความหนืดของยางไม่มีการเปลี่ยนแปลง สารที่ใส่ลงในยางจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาที่ทำให้ความแข็งของยางระหว่างการเก็บเพิ่มขึ้น

2. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับกลาง โดยทำให้น้ำหนักโมเลกุล ( $\overline{M}_w$ ) อยู่ในระดับ 150,000 – 400,000 กรัมต่อโมล ยางที่ได้จะนิ่ม และมีสมบัติการติดที่ดี ซึ่งจะใช้ยางประเภทนี้ในงานหลักคือ โรงงานทำกาวยาง (latex adhesive) ข้อจำกัดของการทำวิธีนี้คือ สารที่ใช้จะต้องไม่มีการทำปฏิกิริยาในภายหลัง ทั้งนี้เพื่อจะรักษาระดับของน้ำหนักโมเลกุลของยางไม่ให้ลดลงกว่าที่กำหนด เพื่อให้การใช้งานได้ประโยชน์สูงสุด

3. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับสูง ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวางหรือที่เรียกว่า ยางเหลว (liquid rubber) โดยจะทำให้น้ำหนักโมเลกุล ( $\overline{M}_w$ ) อยู่ในระดับต่ำกว่า 150,000 กรัมต่อโมล

4. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับพิเศษโดยจะทำให้น้ำหนักโมเลกุล ( $\overline{M}_w$ ) อยู่ในระดับต่ำกว่า 500 กรัมต่อโมล วิธีที่เคยทำมาแล้วคือการทำ pyrolytic ยางที่ได้เป็นที่น่าสนใจทางด้านเคมีแต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ

วิธีที่เคยถูกเสนอว่ามีการทดลองใช้ในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางมาแล้ว คือ 3 ประเภทแรกซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกัน คือการตัดสายโซ่โมเลกุลของยางดิบโดยใช้สาร peptizer ซึ่งเป็นการออกซิเดชันยาง โดยการใช้สาร hydrogen peroxide หรือ organic hydroperoxide แต่พบว่าการใช้ออกซิเจนหรือ oxygen จะช่วยลดต้นทุนได้มากกว่า และสารที่ใช้ร่วมกันที่ใช้กันมาก คือ aromatic thiol แต่สารที่เคยถูกใช้มาแล้วเป็นพวก zinc thiolate , thiocarbonyl compound, sulphinic acid และ phenylhydrazine โดยทั่วไปการเลือกใช้สารดังกล่าวจะขึ้นกับระดับของการทำลายสายโซ่และต้นทุนในการทำ

## 2.11 วิธีลดน้ำหนักโมเลกุลในยางธรรมชาติแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

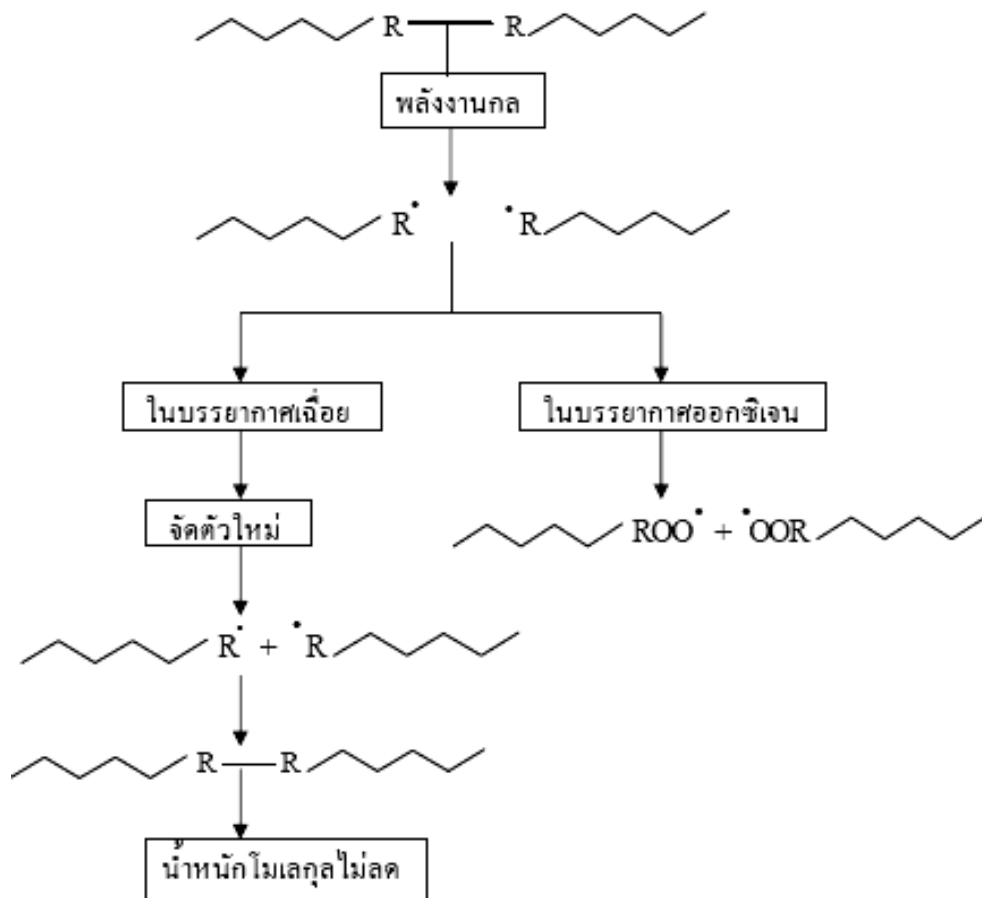
2.11.1 การดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ (depolymerization of natural rubber) การดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ ที่มีการทำมาแล้วเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การทำยางเหลว ซึ่งจะมีค่าการติด (adhesive) ที่สูงและมีความว่องไวต่อการเชื่อมโยง (crosslinking) มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การทำกาว (pressure-sensitive adhesive) วัสดุกันรั่วซึม (sealing material) ยางที่ใช้ในการประสาน และใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ (plasticizer) ในการปรับปรุงการแปรรูปของยางแห้งในการทำยางรถยนต์

วิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปของยางแห้งหรือน้ำยาง โดยทั่วไปจะใช้สารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) และสารรีดิวซ์ (reducing agent) สารที่ใช้เป็นตัวออกซิไดซ์เป็นพวก อากาศ ออกซิเจนและเปอร์ออกไซด์ (peroxide) ส่วนสารที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์เป็นพวก metal nitrite หรือ metal chloride ซึ่งสารดังกล่าวนอกจากจะเหมาะกับยางธรรมชาติแล้วยังเหมาะกับน้ำยางอิมัลชันน้ำยางธรรมชาติอีกด้วย โดยอาจเตรียมได้ตามระดับของการลดน้ำหนักโมเลกุล เช่น การทำยางเหลว หรือการทำกาวยาง

ในการดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติโดยทำในรูปของของเหลว พบว่าจะมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลที่แคบ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีและกลิ่นของยาง รวมทั้งลดการแพ้ อันเป็นผลเนื่องจากโปรตีน กระบวนการทำโดยใช้เติมสารประกอบคาร์บอนิล (carbonyl compound) ในน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางโปรตีนต่ำเพื่อให้เกิด air oxidation แล้วทำให้เกิดสารอนุมูล หรือการเติมสารประกอบคาร์บอนิล

โดยทั่วไปการดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ ทำได้หลายวิธี ดังนี้

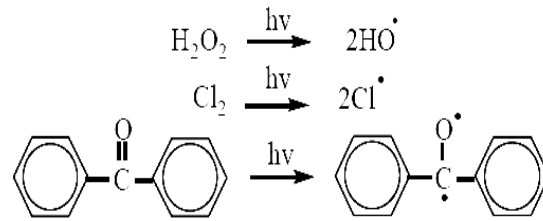
1. การบดยาง เป็นวิธีเร่งการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยการทำลายสายโซ่ของโมเลกุล ด้วยวิธีทางกลและความร้อน ซึ่งจะใช้เครื่องผสมแบบเปิด (mixing roller mill) หรือเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer) แล้วเติมสารย่อยยาง เช่นการใช้สารประกอบอินทรีย์ทำให้น้ำยางนุ่มขึ้นแม้จะเติมในปริมาณเพียงเล็กน้อยและยังช่วยลดระยะเวลาในการบด ดังนั้นจึงเรียกสารดังกล่าวว่าสารเร่งการบดยาง (mastication accelerator) และการใช้ mercaptan มีผลในการป้องกัน การรวมกันใหม่ของโมเลกุลยางที่ขาดออกจากกันได้ ซึ่งวิธีดังกล่าวจะได้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำแต่จะมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างและยากต่อการควบคุม กลไกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวิธีการบด (เสาวนีย์, 2547) สามารถเขียนได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กลไกของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นขณะบดยาง (เสาวนีย์, 2547)

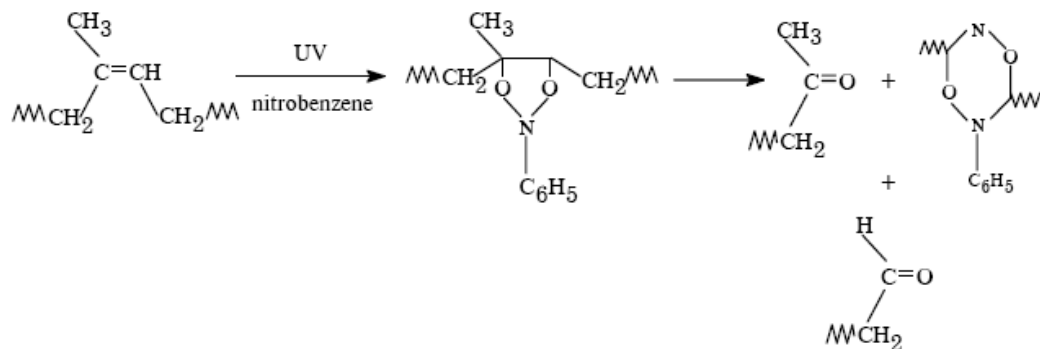
2. pyrolysis จะอาศัยการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่สูง ดังนั้นสามารถเกิดได้ทั้งการทำลายสายโซ่ และการเชื่อมโยง หรือการกลับมารวมกันใหม่ได้ ทำให้ยากต่อการควบคุม น้ำหนักโมเลกุล

3. photolysis เป็นวิธีการทำลายโซ่โมเลกุลที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น ใช้แสงอุตราไวโอเล็ต (ultraviolet light) วิธีนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเสียไปของเปอร์ออกไซด์หรือส่วนของคีโตนที่ปลายสายโซ่ ซึ่งผลจากการทำลายสายโซ่มีผลทำให้การเกิดการทำลายสายโซ่เกิดได้อย่างสมบูรณ์แต่การที่มีความว่องไวที่สูงทำให้การควบคุมน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลยังทำได้ยาก



รูปที่ 2.14 ลักษณะการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ด้วยพลังงานแสง (Tanaka et al., 1999)

ยางธรรมชาติสามารถถูกลดน้ำหนักโมเลกุลโดยการตัดย่อยสายโซ่ด้วยปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล เป็นการตัดสายโซ่โมเลกุลโดยใช้พลังงานแสง เช่น แสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับสารเคมีต่างๆ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีน และเบนโซฟีโนน ซึ่งสามารถแตกเป็นอนุมูลอิสระได้ วิธีนี้ได้หมุ่คิโตนที่ปลายสายโซ่ ซึ่งผลจากการตัดสายโซ่โมเลกุลสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีความว่องไวสูงทำให้การควบคุมน้ำหนักโมเลกุล การกระจายน้ำหนักโมเลกุลทำได้ยาก และเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน ทำให้โครงสร้างของยางเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากซิส (*cis*-1,4-structure) ไปเป็นทรานส์ (*trans*-1,4-structure) (Tanaka et al., 1999) ตัวอย่างปฏิกิริยาตัดสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไนโตรเบนซีน แสดงปฏิกิริยาดังนี้

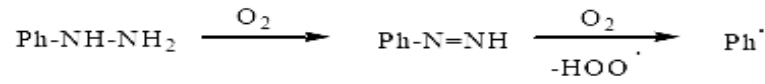


รูปที่ 2.15 แสดงปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติโดยใช้รังสี UV ร่วมกับไนโตรเบนซีน (Hashim et al., 2002)

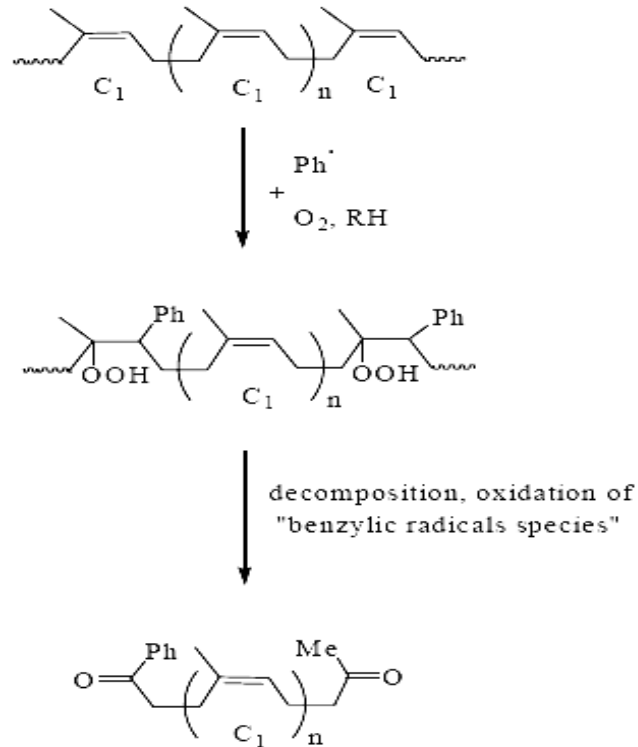
4. การสลายตัวโดยกระบวนการทางเคมี (chemical decomposition) ได้แก่ การสลายตัวโดยโอโซน (ozone degradation) และการสลายตัวโดยการออกซิไดซ์ (oxidative degradation) สำหรับการสลายตัวโดยการออกซิไดซ์จะใช้สารออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) หรือฟีนิลไฮดราซีน (phenylhydrazine) หรือโดย Metal ionic catalyst ส่วนการเสื่อมสลายด้วยโอโซน (ozone degradation) จะใช้เฉพาะในการวิเคราะห์ทางอุตสาหกรรมเท่านั้น ซึ่งไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากต้องควบคุมปฏิกิริยาให้เกิดที่อุณหภูมิต่ำ ไม่เช่นนั้นจะเกิดโอโซนไนด์ (ozonide) ในปริมาณที่มากซึ่งเป็นอันตรายได้

5. การใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการเตรียมยางธรรมชาติเหลว ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) เช่น กรดพาราเมทิลเบนซีนซัลฟินิก (p-methyl-benzene sulfinic acid) ฟีนิลไฮดราซีน (phenylhydrazine) โซเดียมคลอไรท์ (sodium chlorite) โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite) และใช้สารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) ในกรณีที่ใช้ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับแก๊สออกซิเจนในการตัดสลายสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติแสดงดังปฏิกิริยา ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยฟีนิลไฮดราซีนถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนและเกิดเป็นอนุมูลอิสระของฟีนิลไฮดราซีน ( $\text{Ph}\cdot$ ) จากนั้น  $\text{Ph}\cdot$  ทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของยางธรรมชาติทำให้เกิดการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์ จากนั้นเปอร์ออกไซด์เข้าไปจับกับตำแหน่งพันธะคู่ ในโมเลกุลของยางธรรมชาติ เมื่อผ่านขั้นตอนการตัดสลายสายโซ่ ทำให้ได้หมู่ปลายเป็นหมู่เมทิลคีโตน และฟีนิลคีโตน แสดงปฏิกิริยาดังนี้

Oxidation of phenylhydrazine :



Depolymerization by Ph<sup>·</sup> radical :



รูปที่ 2.16 แสดงปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ด้วยฟีนิลไฮดรารซีน (Hashim et al., 2002)

การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปของน้ำยาง มีข้อดีคือ จะเกิดปฏิกิริยาในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และระดับของน้ำหนักโมเลกุลที่ได้กว้างและสามารถควบคุมได้ กระบวนการสามารถทำได้โดยการปรับ pH ของน้ำยางให้มีค่าที่เหมาะสมโดยใช้สบู่ (surfactant) ซึ่งใช้ร่วมกับสารออกซิไดซ์และสารรีดิวซ์ เป็นระบบรีดอกซ์ (redox)

สารออกซิไดซ์จะเป็นสารพวกประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide) และอนุพันธ์ เช่น อัลคิล (alkyl), ไซโคลอัลคิล (cycloalkyl) และ อะราคิล ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (aralkyl hydroperoxide) หรือสารประกอบเปอร์ออกไซด์อนินทรีย์ เช่น เปอร์บอเรต (perborate), เปอร์คาร์บอเนต (percarbonates), เปอร์คลอเรต (perchlorate) และ เปอร์ซัลเฟต (persulphate)

สารรีดิวซ์จะเป็นพวก alkali, alkaline earth, metal nitrite, ammonium nitrite, alkyl nitrite เช่น amyl nitrite, sodium chloride, potassium chloride สาร hydrogen peroxide, sodium chloride และ potassium chloride มีข้อดีคือ สามารถละลายน้ำได้ทำให้กำจัดได้ง่าย ใช้งานง่าย และราคาถูก น้ำยางที่ใช้อยู่ในรูปของ olefinic polymer latex หรือ dispersion ซึ่งจะใช้ประโยชน์ได้ในน้ำยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง น้ำยางธรรมชาติที่ใช้ได้อาจเป็นน้ำยางสด น้ำยางข้น และน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (pre-vulcanized lattices) รวมถึงน้ำยางอีพอกซิไดซ์ (epoxidized natural rubber lattices) พบว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับกรดฟอร์มิกโดยวิธีนี้จะใช้ได้ น้ำหนักโมเลกุล ( $\bar{M}_w$ ) ในช่วง 400,000 – 1,000,000 กรัมต่อโมล ซึ่งจะให้ผลดีในการใช้ในน้ำยางสดและยางแห้ง สำหรับในยางที่มีการลดน้ำหนักโมเลกุลที่สูงจะใช้ประโยชน์ในการทำกาวยาง (latex adhesive) หรือยางเหลว (pourable rubber) ซึ่งเหมาะในการทำในรูปของน้ำยางข้น ลำดับของการลดน้ำหนักโมเลกุลต้องมีการปรับ pH ก่อนการเติมสารเคมีอื่นๆ พบว่าประสิทธิภาพของสารที่ไม่ค่อยจะว่องไวที่ใช้ในการลดน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมอยู่ที่ pH ประมาณ 9 – 11 ถ้าสารที่มีความว่องไวก็ควรทำที่ pH ต่ำๆ เพื่อหลีกเลี่ยงการสลายตัวมากเกินไปของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปเป็นไฮดรอกซิล (hydrogen ion) ที่เพิ่มขึ้น (ที่ pH ต่ำๆ) อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณของ hydrogen ion สูงๆ จำเป็นจะต้องใช้ cationic stabilizer หรือต้องใช้ non – ionic stabilizer ในปริมาณมากในการรักษาสภาพคอลลอยด์ของน้ำยาง

วิธีการปรับ pH ของน้ำยางอาจทำได้ยาก โดยทั่วไปค่า pH ของน้ำยางข้นมีค่า 9-11 เพราะมีการรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียหรือต่าง การกำจัดแอมโมเนียทำได้โดยการให้อากาศหรือก๊าซเฉื่อย เช่น ก๊าซไนโตรเจนผ่านในน้ำยาง หรือการเติมฟอร์มัลดีไฮด์เพื่อทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย หรือการทำให้เป็นกลางโดยการเติมกรดฟอร์มิก หรืออาจใช้คาร์บอนไดออกไซด์ผ่านได้เช่นเดียวกัน ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของน้ำยางเปลี่ยน และยังช่วยให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) อีกด้วย การรักษาสภาพของน้ำยางโดยใช้สบู่ ซึ่งการดูดซับจะเกิดได้ที่ pH ต่ำกว่า 8 โดยการเติมสาร surfactant ที่เหมาะสมเพื่อให้มีสภาพเป็นคอลลอยด์

ตัวอย่างของสบู่ non-ionic surfactant เช่น polyethoxylated phenol และ polyethoxylated alcohol ส่วน anionic surfactant เช่น alkyl sulphate หรือ alkyl sulphonate - ตัวอย่างของสบู่ที่เป็น cationic surfactant เช่น quaternary ammonium salt ปริมาณของ surfactant ที่ใช้โดยทั่วไปจะใช้ในช่วง 0.1-3.0 phr ของน้ำยาง แต่ที่ให้ผลดีจะอยู่ที่ปริมาณ 1.0-2.0 phr

ปริมาณของสารออกซิไดซ์และสารรีดิวซ์ที่ใช้เป็นสัดส่วนกันขึ้นอยู่กับชนิดของสารระดับของการลดน้ำหนักโมเลกุลจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาของการทำปฏิกิริยา สัดส่วนโมล (molar ratio) ของสารออกซิไดซ์ต่อสารรีดิวซ์จะอยู่ในช่วง 1-5 ในกรณีที่มีการรวมตัวกันของสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ sodium nitrite จะเป็นตัวที่มีประสิทธิภาพเมื่อสัดส่วนโมลของ



“อาจจมน้ำยางซึ่งส่งผลให้มีความสะดวกต่อการใช้งานและมีความแข็งแรงปานกลาง Hydrogen peroxide จะใช้ในรูปแบบ 50% w/w ส่วนไนไตรท์ที่ใช้ในรูปแบบของสารละลายเข้มข้นในน้ำ ปริมาณน้ำที่ใช้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของ nitrite แต่บางครั้งอาจมีผลต่อการเสถียรภาพของน้ำยางได้ถ้าหากมีออกซิเจนสูง ลำดับของการเติมสารเคมีไม่จำเป็นมีลำดับที่แน่นอน แต่พบว่าถ้าหากเติมสาร peroxide ก่อนสาร nitrite จะมีผลทำให้ค่า gel ที่น้อยกว่า และจะขึ้นกับค่า pH ของน้ำยางพบว่าที่ pH เท่ากับ 7 สาร nitrite จะสลายตัวได้ดีที่สุดหลังจากที่เติม hydrogen peroxide แล้ว ปริมาณของสารออกซิไดซ์ที่ใช้ขึ้นกับระดับของการตัดสายโซ่โมเลกุลโดยทั่วไปจะใช้ในปริมาณ 0.05 – 10 phr แต่ที่ให้ผลดีที่สุดในช่วง 1 – 2 phr ของยาง ในทางเดียวกันสารรีดิวซ์ เช่น nitrite, chloride ที่ใช้จะขึ้นกับระดับของการตัดสายโซ่โมเลกุลเช่นเดียวกัน โดยทั่วไปจะใช้ในปริมาณ 0.05 – 15 phr ของยางในน้ำยาง สำหรับการเตรียมทำกาวยางจะใช้ในช่วง 0.4 – 7 phr แต่ที่ให้ผลดีในช่วง 0.8 – 5 phr ส่วนสารรีดิวซ์ตัวอื่นๆ ก็ใช้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

กระบวนการที่ใช้ในการลดน้ำหนักโมเลกุลในระดับต่างๆ ในน้ำยางสดสามารถควบคุมได้ด้วยตัวอย่างเช่น ค่าความหนืด หรือความหนึ่มจะวัดได้จากการจับตัวของน้ำยางตามเวลาของการทำปฏิกิริยา โดยจะใช้สารในปริมาณเพียงเล็กน้อยเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สั้นๆ ถ้าหากสารที่ใช้ทำงานร่วมกันจะให้ผลที่ดี โดยปริมาณของ hydrogen peroxide ที่ใช้เท่ากับ 0.2 – 2 phr และปริมาณของ nitrite เท่ากับ 0.1 -1 phr อัตราการทำลายสายโซ่โมเลกุลจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มโลหะทรานซิชัน (transition metal content) ปกติน้ำยางธรรมชาติจะมีเหล็กในปริมาณน้อยมาก โดยจะมีความแตกต่างกันในแต่ละชนิดของยาง ปริมาณของเหล็ก 30 -250 ppm ปริมาณที่ให้ผลในการทำลายสายโซ่อยู่ในช่วง 50 – 200 ppm การทำลายสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติจะเกิดภายในระยะเวลาสั้นๆ ขึ้นกับสภาวะของการทำปฏิกิริยาและความแตกต่างของน้ำยาง การทดลองในน้ำยางจะทำที่อุณหภูมิ 20 -80 °C ที่อุณหภูมิต่ำจะเกิดปฏิกิริยาได้ช้า แต่ถ้าทำที่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจมีผลทำให้น้ำยางเสถียรภาพได้ โดยทั่วไปแล้วการตัดสายโซ่โมเลกุลจะขึ้นกับปริมาณของสารที่ใช้ อุณหภูมิและเวลาของการทำปฏิกิริยา และการหยุดปฏิกิริยาก็สามารถทำได้หลายแบบ เช่น โดยการเพิ่มความเข้มข้นเป็นต่างซึ่งเป็นการทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือสลายตัว แต่จะมีผลทำให้ยางสีคล้ำ วิธีที่เหมาะสมควรปรับปริมาณควรปรับปริมาณของสารและปรับสภาวะของการทำปฏิกิริยา คือ การลดความต้องการไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก่อนที่ปฏิกิริยาจะสิ้นสุด เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด short stop หรือการใช้การแอนติออกซิแดนท์ที่ไม่เปลี่ยนสีของยาง เช่น trinonyl phosphate (Polygard)

กระบวนการดังกล่าวทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางขึ้นกับระดับของการทำลายสายโซ่โมเลกุลและน้ำหนักโมเลกุลที่ได้ ( $\overline{M}_w$ ) ของยางโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 40,000 – 1,000,000 กรัมต่อโมล ในยางแห้งจะมีค่าความนิ่ม (plasticity) ที่สูงซึ่งเป็นข้อดีในด้าน การแปรรูป เมื่อลดน้ำหนักโมเลกุล ( $\overline{M}_w$ ) ของยางเป็น 150,000 – 400,000 กรัมต่อโมล จะมีทั้งสมบัติด้าน adhesive และ adhesion ที่สูงโดยไม่ต้องมีการเติมสารที่ช่วยในการติดลงไป และยางแห้งที่มี ( $\overline{M}_w$ ) 20,000 – 150,000 กรัมต่อโมล จากการ degradation น้ำยางจะมีประโยชน์ต่อการทำยางเหลว

### 2.11.2 การทำให้ยางเสื่อมสลายพันธะในยางธรรมชาติ (degradation of natural rubber)

การทำให้ยางเสื่อมสลายพันธะในยางธรรมชาติ ในรูปของยางเหลวมีการทดลองทำลายแบบ เช่น วิธีทางกล (mechanical method) ความร้อน (thermal method) และทางเคมี (chemical method) ในสองวิธีแรก ใช้กับยางแห้ง ส่วนทางเคมีใช้ได้ทั้งกับยางแห้งและน้ำยาง หรือ เตรีมยางที่ไหลได้ง่าย (ในรูปของไหล) เช่นการที่ให้ยางกระจายในน้ำหรือที่เรียกกันว่าน้ำยาง แต่การใช้งานของน้ำยางก็ยังมีข้อจำกัดอยู่คือ ยากต่อการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น เช่นการคงรูปทั้งนี้เพราะเกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ทำให้ยากต่อการกำจัดน้ำ ทำให้ไม่ค่อยมีการใช้งานในอุตสาหกรรมมากนัก ข้อเด่นในการลดน้ำหนักโมเลกุลในโอลิโกเมอร์ คือนำไปใช้งานได้ง่ายและได้โครงสร้างที่สม่ำเสมอ ซึ่งต่างจากการสังเคราะห์ทั่วไป ปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุที่มีโครงสร้างสม่ำเสมอจะส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงที่ดี ส่วนข้อได้เปรียบอื่นๆ คือควบคุมความยาวของสายโซ่ได้โดยการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของสารเคมี ซึ่งการสังเคราะห์ทั่วไปทำได้ยาก

อย่างไรก็ตามมีการทำให้โอลิโกเมอร์ (oligomer) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำโดยการควบคุมการ depolymerized ของ hydrogen macromolecule โดยในปี 1923 ได้เริ่มมียางเหลวออกมาสู่ตลาดต่อมาได้มีการผลิตเพิ่มขึ้นอีกมากมายโดยใช้การใช้ความร้อน พลังงาน หรือการทำปฏิกิริยากับ peptizer แต่ยางเหลวที่ได้ก็ยังไม่สามารถใช้ได้กับงานหล่อ (casting) การอัดส่ง (transfer) หรือ การฉีด (injection methods) และในปี 1968 ได้มีการทำ polybutadiene โดยใช้ ozonolysis

## 2.12 ยางสังเคราะห์

ยางสังเคราะห์ไม่ได้หมายความว่าถึงยางเทียมที่มีลักษณะทางเคมีและมีสมบัติคล้ายคลึงกับยางธรรมชาติเท่านั้นแต่ยังรวมถึงยางชนิดต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเคมีอีกด้วย สาเหตุสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการริเริ่มค้นคว้าการผลิตยางสังเคราะห์จนขยายมาเป็นการผลิตเชิงการค้าอาจสรุป ได้ดังนี้

- ปัญหาการขาดแคลนยางธรรมชาติที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตอาวุธยุทธโศปกรณ์ในช่วงสงครามของบางประเทศ
- ราคาที่ไม่แน่นอนของยางธรรมชาติ
- ความต้องการยางที่มีสมบัติพิเศษบางประการ เช่น มีความทนทานต่อน้ำมัน สารเคมีและความร้อนสูง ๆ เป็นต้น

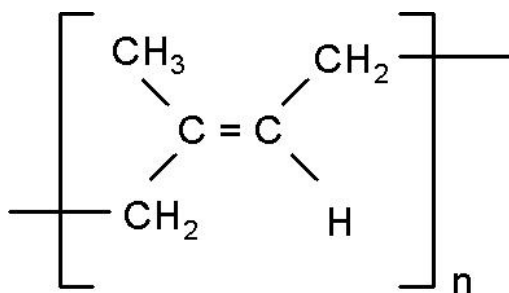
การผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการผลิตมอนอเมอร์ (monomer) ซึ่งมอนอเมอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์ยางส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

2. ขั้นตอนการนำมอนอเมอร์หลายๆ มอนอเมอร์มาต่อกันให้ได้เป็นพอลิเมอร์ ซึ่งเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ว่า “ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน” ยางสังเคราะห์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ชนิดของมอนอเมอร์ ถ้ายางสังเคราะห์ประกอบด้วยมอนอเมอร์ ชนิดเดียวกันมาเรียงต่อกันก็จะเรียกยางสังเคราะห์ที่ได้ว่า “โฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer)” ตัวอย่างของโฮโมพอลิเมอร์ ได้แก่ ยางพอลิบิวตาไดอีน (polybutadiene, BR) และยางพอลิไอโซพรีน (polyisoprene, IR) ซึ่งยางทั้งสองชนิดเกิดจากการเรียงต่อกันของบิวตาไดอีนมอนอเมอร์และไอโซพรีนมอนอเมอร์ตามลำดับ แต่ยางสังเคราะห์บางชนิดอาจประกอบด้วยมอนอเมอร์จำนวน 2 ชนิดมาเรียงต่อกัน ในกรณีนี้จะเรียกยางสังเคราะห์ที่ได้ว่า “โคพอลิเมอร์ (copolymer)” ตัวอย่างที่สำคัญของโคพอลิเมอร์ ได้แก่ ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (styrene-butadiene rubber, SBR) ซึ่งเกิดจากการเรียงต่อกันของสไตรีนมอนอเมอร์และบิวตาไดอีน หนึ่ง พอลิเมอร์บางชนิดอาจเกิดจากการเรียงต่อกันของมอนอเมอร์จำนวน 3 ชนิด เรียกพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้ว่า “เทอร์พอลิเมอร์ (terpolymer)” ตัวอย่างที่สำคัญของเทอร์พอลิเมอร์ ได้แก่ ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนมอนอเมอร์ (ethylene propylene diene monomer, EPDM)

### 2.12.1 ยางพอลิไอโซพรีน (Isoprene rubber, IR)

ยาง IR เกิดจากความพยายามที่จะสังเคราะห์ยางที่มีโครงสร้างทางเคมีและมีสมบัติเหมือนกับยางธรรมชาติ โดยในปี ค.ศ. 1954 Goodrich ได้ประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์ยาง IR จากมอนอเมอร์ของไอโซพรีน (isoprene monomer) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันชนิด Ziegler – Natta และได้ตั้งชื่อยางชนิดนี้ว่า “synthetic natural rubber” เนื่องจากยาง IR มีโครงสร้างทางเคมีเหมือนยางธรรมชาติ ยางชนิดนี้จึงมีสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกับยางธรรมชาติมากและสามารถใช้แทนยางธรรมชาติในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ นอกจากนี้ ยางชนิดนี้ยังมีหลักการผสมสารเคมีและกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ ยาง IR มีสมบัติเชิงกล เช่น ความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการฉีกขาดต่ำกว่าเล็กน้อยเพราะยาง IR มีสัดส่วนของโครงสร้างแบบ *cis*- ที่ต่ำกว่ายางธรรมชาติจึงมีแนวโน้มที่จะตกลึกได้น้อยกว่า นอกจากนี้ ยาง IR ยังมีราคาที่สูงกว่ายางธรรมชาติอีกด้วย แต่ยางชนิดนี้ ก็มีข้อดีเหนือกว่ายางธรรมชาติคือ ยางจะมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่า มีสิ่งเจือปนน้อย และยางมีสีขาวสวย (ในขณะที่ยางธรรมชาติจะมีสีเหลืองอ่อนถึงน้ำตาลเข้มเนื่องจากมีสารเบต้าแคโรทีน) บางครั้งจึงใช้ยาง IR แทนยางธรรมชาติในการผลิตยางจุกหัวนมและอุปกรณ์การแพทย์บางชนิด



รูปที่ 2.17 สูตรโครงสร้างของยางสังเคราะห์พอลิไอโซพรีน (polyisoprene) ;*trans*-1,4-polyisoprene (Blackley., 1997)

## 2.13 สารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids)

สารไฮโดรคอลลอยด์ เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช เช่น หัวบุก หรือสัตว์เช่น สารโคโตซานในเปลือกกุ้ง เปลือกปู รวมถึงจุลินทรีย์และโพลิเมอร์ดัดแปลงจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็นโมเลกุล ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) และอาจจะเป็น polyelectrolyte อื่นๆ โพลิเมอร์เหล่านี้จะแสดงหน้าที่ที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น (Phillips and Williams, 2000) เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการตกตะกอน และการแยกตัวของน้ำออกจากเนื้ออาหาร ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์นั้น จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นส่วนใหญ่ เช่น เติมน้ำในผลิตภัณฑ์นม ไอศกรีม หรือในไส้ขนมอบของเบเกอรี่ชนิดต่าง ๆ โดยจุดประสงค์หลักของการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ คือ จะทำให้อาหารมีความเหนียวหนืด นุ่ม คงรูป เป็นที่ถูกต้องใจของผู้บริโภค ส่วนผลพลอยได้ในการเติมไฮโดรคอลลอยด์ ก็คือ ทำให้อุตสาหกรรมอาหารเหล่านี้ลดการใช้ไขมันหรือแป้งลง เนื่องจากเมื่อเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ลงไป ในอาหาร จะทำให้อาหารยังคงมีความนุ่ม คงรูปมันวาว เหมือนมีแป้งหรือไขมันผสมอยู่ ดังนั้นหากลดการเติมไขมันหรือแป้งลงได้ ก็จะช่วยลดดีต่อผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคอาหารที่มีแคลอรีต่ำ

ชนิดของไฮโดรคอลลอยด์สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามแหล่งที่มา ได้แก่

1. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ (natural hydrocolloids) ซึ่งได้จากส่วนต่างๆ ของพืชได้แก่เมล็ด ยาง เช่น โลคัสบีนกันัม (locust bean gum) กัมอาราบิก (gum arabic) ราก ลำต้น เช่น แป้ง หรือได้จากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน (carrageenan) หรือได้มาจากสัตว์ เช่น ไคติน (chitin) หรือจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แซนแทนกันัม (xanthan gum)
2. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) ได้แก่อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น carboxymethyl cellulose (CMC)
3. ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ (synthetic hydrocolloids) เช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์โพลิเมอร์ (polyethylene oxide polymers)

ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีลักษณะโครงสร้างที่ต่างกันจะมีสมบัติที่แตกต่างกันดังนี้

1. โครงสร้างโพลีเมอร์แบบเชิงเส้น (linear): เมื่อละลายน้ำหรือกระจายตัวจะให้ความหนืดสูง เกิดเจลและคืนตัว (retrogradation) ใต้ง่าย เช่น อะการ์ (agar), แอลจีเนต (alginate), เซลลูโลส (cellulose) และ เพคติน (pectin) เป็นต้น
2. โครงสร้างโพลีเมอร์แบบเชิงเส้นที่มีสายกิ่งก้าน (linear with side chains): ให้ความหนืดสูง ปรกติไม่เกิดเจล แต่จะเกิดเจลได้เมื่ออยู่ร่วมกับสารประกอบอื่นในสภาวะที่เหมาะสม เช่น กวักัม (guar gum) และโลคัสบีนกันัม (locust bean gum)
3. โครงสร้างโพลีเมอร์แบบมีกิ่งก้าน (branched chains): ให้ความหนืดต่ำและคงตัวดี ไม่เกิดเจล มีความเหนียว เช่น กัมอาราบิก (gum Arabic)

## 2.14 กาวชนิดที่ไวต่อแรงกด (Pressure - Sensitive Adhesive, PSA)

การที่จะถือว่าเป็น pressure sensitive adhesive (PSA) จะต้องมีความแตกต่างๆ ดังได้ถูกนิยามโดย pressure sensitive adhesive council (PSTC) ต่อไปนี้

- มีความสามารถในการติดที่แข็งแรงมากและใช้แรงน้อยๆ ในการดึงลอกออกได้อย่างรวดเร็ว
- การติดไม่ต้องใช้แรงมากกว่าแรงดันจากปลายนิ้วมือ
- ไม่ต้องใช้การกระตุ้นจากแหล่งพลังงานอื่นๆ
- มีความสามารถมากพอที่จะยึดติดกับพื้นผิววัสดุได้
- มี cohesive strength ที่มากเพียงพอเมื่อดึงออกแล้วพื้นผิววัสดุสะอาด ไม่มีเศษของกาวค้างอยู่บนที่เกาะติด

นอกจากจะมีการกำหนดสมบัติของแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด แล้วยังมีการอธิบายคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกดด้วย อย่างแรกคือสมบัติการยึดติด (tack) หมายถึงแรงยึดเกาะบนพื้นผิวที่ต้องการใช้แรงน้อยๆ และเวลาสั้นๆ การวัดสมบัติการยึดติด (tack) ทำได้โดยการใช้แรงกดจากนิ้วซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอยู่ทั่วไป จะเห็นได้ชัดว่าวิธีนี้ไม่ได้ใช้วัดคุณภาพด้านปริมาณ อย่างไรก็ตามแผ่นกาว PSA นอกจากจะมีสมบัติการยึดติด (tack) ที่ดีแล้วยังจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอของ cohesive strength ที่สามารถยึดวัสดุสองสิ่งไว้ด้วยกันได้ สมบัติการยึดติด (tack) นั้นเป็นการแสดงความต้านทานการแยกออกของวัสดุ 2 ชนิดที่เกิดการสัมผัสกัน

ปกติแล้วแผ่นกาว PSA จะแสดงพฤติกรรมอยู่ระหว่างเป็นของแข็งและของเหลว เราจึงนิยามว่าวัสดุประเภทนี้ว่า เป็นประเภทวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) โดยจะแบ่งส่วนที่เป็นของแข็งกับของเหลว ออกจากกันโดยใช้ช่วงเวลาในการพิจารณา จะพิจารณาจากการเป็ยก ซึ่งใช้เวลานาน (เปรียบเสมือนสมบัติของของเหลว) และการลอกออก (peel) ใช้ช่วงเวลาที่สั้น (เปรียบเสมือนสมบัติของของแข็ง) ณ อุณหภูมิเดียวกันแผ่นกาว PSA นั้นจะไม่ติดบนพื้นผิวอย่างรวดเร็วเนื่องจากเนื้อวัสดุ จะแสดงพฤติกรรมเหมือนของเหลว คือจะสามารถเปลี่ยนสภาพหรือไหลได้บนพื้นผิวที่เรียบโดยจะใช้เวลาเป็นวินาทีหรือมากกว่า นอกจากนี้แผ่นกาว PSA ยังจะแสดงความต้านทานการไหลซึ่งเป็นพฤติกรรมเหมือนของแข็ง โดยจะใช้เวลาเป็นวินาทีหรือน้อยกว่า สำหรับการใช้งานของแผ่นกาว PSA มีการใช้มากกว่าแผ่นกาวชนิดอื่นๆ เนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องการเก็บ (storage) จึงไม่ต้องใช้การกระตุ้นมาก สามารถดึงกลับได้อย่างรวดเร็ว สำหรับข้อเสียของแผ่นกาว PSA ความแข็งแรงของสมบัติการลอกออก (peel) และความแข็งแรงการเฉือน (shear strength) ค่อนข้างต่ำ



**รูปที่ 2.18** แผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ (pressure-sensitive adhesive) ที่มีจำหน่ายทั่วไป (ที่มา : [www.convatec.com](http://www.convatec.com))

ซึ่งแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด (pressure-sensitive adhesive) ที่มีการจำหน่ายทางการค้าส่วนใหญ่ จะผลิตมาจากพอลิเมอร์ ได้แก่ polyisobutylenes, polyacrylates และ silicones เป็นวัสดุที่ใช้ในการเตรียมแผ่นกาว ซึ่งโดยทั่วไปมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ซึ่งได้แก่ แผ่นทวารเทียม (ostomy) แผ่นปิดแผล (dressing) เป็นต้น ซึ่งในท้องตลาดจะมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากเป็นวัสดุที่ไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง และยึดติดกับผิวหนังได้ดี และสามารถช่วยรักษาบาดแผลให้หายเร็วขึ้น เนื่องจากสามารถดูดซับความชื้น และของเหลวที่ไหลออกมาจากร่างกาย (Hock, et al., 1999)

ส่วนการทดสอบสมบัติของแผ่นกาว PSA เป็นการทดสอบขั้นสุดท้ายหลังจากผลิตแผ่นกาว PSA เพื่อให้ได้สมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน ซึ่งการไปใช้งานจะเป็นตัวกำหนดว่าต้องทดสอบสมบัติด้วยวิธีใดบ้าง การทดสอบหลักๆ มีด้วยกัน 3 วิธี คือ Tack test, Peel test, Shear test

### 2.14.1 ทฤษฎีการยึดติดของกาว

กลไกการยึดติดของกาวกับวัสดุมีด้วยกันหลายทฤษฎี ดังต่อไปนี้

1. Mechanical Interlocking เป็นแรงยึดติดเชิงกลซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการยึดติดระหว่างโมเลกุลของกาวกับวัสดุ เนื่องจากการไหลของกาวเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างบนผิวของวัสดุ หรือ มีการแพร่ผ่านลงไปใผิวของวัสดุซึ่งการยึดติดทางกลนี้เกิดขึ้นได้เมื่อผิวหน้าของวัสดุมีความขรุขระ ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างกาวและวัสดุ

2. Electrostatic Theory เป็นการยึดติดด้วยแรงทางประจุไฟฟ้า ซึ่งเป็นแรงดึงดูดจากการแยกชั้นของประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างกาวกับวัสดุ เช่นการยึดติดของพอลิเมอร์กับโลหะ โดยอิเล็กตรอนจากโลหะเคลื่อนย้ายไปยังพอลิเมอร์ เกิดเป็นประจุไฟฟ้าที่ต่างกันขึ้นที่ผิววัสดุทั้งสองชนิด adsorption mechanism เป็นการยึดติดด้วยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของกาวและวัสดุ เช่น เนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waal) แรงกระทำที่เกิดจากความเป็นกรด-ด่าง หรือ ความสามารถในการเปียกผิวของกาวบนผิวสัมผัสของวัสดุ

3. Chemisorption Theory การยึดติดที่เกิดจากพันธะเคมีของผิวสัมผัสระหว่างกาวและวัสดุ ซึ่งพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกาวและผิวสัมผัสมีด้วยกันหลายแบบ และพลังงานพันธะไม่เท่ากันส่งผลต่อความแข็งแรงในการยึดติด โดยหากพลังงานพันธะสูงแสดงว่าพันธะมีความแข็งแรงมาก

4. Diffusion Theory เป็นการยึดติดที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลแทรกผ่านรวมเข้าอยู่ด้วยกันของโมเลกุลที่อยู่ระหว่างพื้นผิวของกาวและวัสดุ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแทรกผ่านของโมเลกุลคือ เวลาที่ใช้ในการเชื่อมติด อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และความมีขี้ของโมเลกุล



### 2.14.2 การผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาติ

ในอุตสาหกรรมการผลิตเทปกาว PSA จำเป็นต้องมีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ เพื่อที่ปรับปรุงในเรื่องการละลาย และคุณสมบัติของยางธรรมชาติบางประการที่ไม่เหมาะสมในนำมาผลิตเป็นเทปกาว PSA คือ การที่ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางมีความยืดหยุ่นสูง (flexibility) การผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ยางธรรมชาติที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยการบดและยางธรรมชาติที่ไม่ได้ทำการบดพบว่ายางที่ทำการลดน้ำหนักโมเลกุลโดยการบด สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ง่ายกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการบดมาก่อน ในการใช้ยางธรรมชาติผลิตเทปกาว PSA นั้น ยางต้องมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยที่ 700,000 กรัมต่อโมล หรือน้อยกว่านั้น (Pizzi et al., 2003)

กระบวนการผลิตเทปกาว PSA จากยางธรรมชาตินั้นเริ่มแรกต้องทำการละลายยางธรรมชาติด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น โทลูอีน (toluene) เฮกเซน (hexane) หรือ เฮปเทน (heptane) จากนั้นก็จะทำการเติมส่วนประกอบอื่นๆเข้าไป เช่น แทกคิไฟเบอร์เรซิน อย่างไรก็ตามยางที่ไม่ได้ทำการบดมาก่อนนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง ซึ่งเป็นสาเหตุให้การละลายยากกว่ายางที่ผ่านการบด ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางมีความยืดหยุ่นสูง (flexibility) เมื่อนำมาทำเป็นเทปกาว PSA ทำให้ไม่มีความเหมาะสมเนื่องจากคุณสมบัตินี้ การหลีกเลี่ยงปัญหานี้ก็คือทำการลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ

สำหรับวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติปกติแล้วใช้วิธีทางกล โดยการใช้แรงดันในการบดหรือนวด เครื่องที่ใช้ทำการบด ได้แก่ เครื่อง banbury mixer เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง หรือ 2-rolls mill เป็นต้น การลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติด้วยวิธีนี้นอกจากทำให้ยางมีน้ำหนักโมเลกุลที่ลดลงแล้ว ยังทำให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเทปกาว PSA มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้เป็นตัวทำละลายได้อีกด้วย ทำให้ต้นทุนในการผลิตเทปกาว PSA นั้นต่ำลง แต่อย่างไรก็ตามการใช้แรงทางกลในการลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาตินั้น ยังต้องใช้พลังงานที่สูง จึงได้มีการพัฒนาการลดน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติโดยการใช้สารย่อยยาง (peptizing agent) เพื่อช่วยลดพลังงานที่ใช้ในการลดน้ำหนักโมเลกุลในยางธรรมชาติแบบทางกล ตัวอย่างของส่วนผสมต่างๆที่ใช้ในการเตรียมยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีดังนี้ ยางธรรมชาติที่ใช้ เช่น ribbed smoked sheet (RSS) และ pale crepe เป็นต้น ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ในการละลายยาง ได้แก่ toluene และ aliphatic hydrocarbons ส่วนสารย่อยยาง (peptizing agent) ได้แก่ disulfides, mercaptans เป็นต้น

## 2.15 การวิจัยที่เกี่ยวข้อง และคล้ายคลึงกับงานที่ทำ

### 2.15.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติ

Bloomfield และคณะ (1954) ได้ทำการศึกษาและพัฒนาคุณภาพยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางมานานกว่า 40 ปี ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงคุณภาพให้มีปริมาณโปรตีนต่ำ ทำให้ปริมาณแถ้าและไนโตรเจนในยางมีค่าต่ำลง (กิตติ, 2541) โดยการเตรียมยางธรรมชาติโปรตีนต่ำจะนำน้ำยางมาย่อยด้วยเอ็นไซม์สลายโปรตีน (proteolytic enzyme) เอ็นไซม์นี้จะย่อยสลายโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปเปปไทด์ที่สามารถละลายน้ำได้ และโปรตีนที่ย่อยสลายแล้วในน้ำยางจะถูกขจัดออกไปในระหว่างกระบวนการเซนตริฟิวจ์

Chin และคณะ (1974) ได้เตรียมยางโปรตีนต่ำโดยการใช้น้ำยางข้นเป็นสารตั้งต้น ใช้สารเพิ่มความเสถียรชนิดแอมโมเนียแนฟทีเนท (ammonium maphthenate) และเติมเอ็นไซม์ชนิดซูเปอร์เอส (superase) ลงไปเพื่อย่อยสลายโปรตีน หลังจากนั้นจับตัวเป็นก้อนยางด้วยกรดซัลฟิวริก 2% โดยน้ำหนัก แล้วหาปริมาณโปรตีน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการลดปริมาณไนโตรเจน คือ ความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางปริมาณแอมโมเนียในน้ำยาง ปริมาณแนฟทีเนท ปริมาณเอ็นไซม์ เวลาในการย่อยสลายโปรตีน และความเข้มข้นของการเจือจางน้ำยางก่อนการนำน้ำยางมาจับตัว

Ichikawa และคณะ (1993) ได้ศึกษาสมบัติของน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมโดยการใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (HA-latex) แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 10% โดยน้ำหนัก ใส่ 0.12% โซเดียมแนฟทีเนทปรับ pH เป็น 9.2 ด้วยโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต แล้วเติมเอ็นไซม์ Alcalase ลงไปย่อยสลายโปรตีนที่ อุณหภูมิ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเซนตริฟิวจ์ด้วยความเร็ว 11,000 rpm. เป็นเวลา 30 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งนำไปเจือน้ำแล้วเติมสาร surfactant ลงไปใหม่พบว่าปริมาณโปรตีนในน้ำยางลดเหลือ 0.008% โดยน้ำหนัก จากน้ำยาง HA ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ 0.56% โดยน้ำหนัก

โยธิน (2537) ได้ศึกษาการเตรียมยางโปรตีนต่ำจากน้ำยางสด โดยใช้เอ็นไซม์อัลคาเลส พบว่าประสิทธิภาพการขจัดโปรตีนออกขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำยาง เวลาการย่อย และปริมาณเอ็นไซม์ อัลคาเลส และปาเปนที่ใช้ 0.2 และ 1.2 ส่วน ตามลำดับ และระยะเวลาย่อยในการขจัดโปรตีนได้ดีที่สุดคือ ตั้งแต่ 20 ชั่วโมง และ 15 ชั่วโมงเป็นต้นไปตามลำดับ

Yunyongwattunakorn และคณะ (2008) ได้อธิบายถึงการเตรียมยางธรรมชาติให้มีความโปรตีนต่ำ ในรูปของน้ำยางสดและน้ำยางข้น HA โดยอาศัยปฏิกิริยา saponification ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาณ 1-7%w/v พบว่าการ saponification น้ำยางสดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการวิเคราะห์ด้วย FIT Kit method พบว่าน้ำยางปราศจาก allergic protein

### 2.15.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ

Tillekeratne และคณะ (1977) ได้ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar energy) ในการดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ โดยการเติม ไนโตรเบนซีน และสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชัน (transition metal complex)

Rehn Pautrat (1974) อธิบายถึงความเข้าใจพื้นฐานในการใช้ระบบรีดอกซ์ (redox couple) และสภาวะที่เหมาะสม การตัดสายโซ่โมเลกุลจะเกิดเมื่อมีการเติมสารเคมีดังกล่าวซึ่งเป็นระบบรีดอกซ์วัสดุที่ได้จะมีลักษณะเป็น elasto-plastic (low- viscosity rubber) และมี  $\bar{M}_n$  เท่ากับ 50,000 – 100,000 กรัมต่อโมล ซึ่งทำให้อยู่ในรูปของเหลวได้และใช้งานได้เช่นเดียวกับยางทั่ว ๆ ไป เมื่อระดับของการ degradation หรือ depolymerization เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้วัสดุเหลวขึ้นสามารถใช้งานด้านการหล่อ หรือ การอัดเบ้าโดยใช้ความดันต่ำยังให้สมบัติการวัลคาไนซ์ที่ดีด้วยนอกจากนี้ % elongation at break ที่สูง และมีค่า tensile strength มากกว่า 10 Kg/cm<sup>2</sup> อีกทั้งประหยัดพลังงานที่ใช้ในการแปรรูป ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบในแง่ของอุตสาหกรรม

Chen F และคณะ (2002) ได้ศึกษาการเสื่อมสลายของ cis-1,4-polyisoprene ด้วยความร้อนด้วย Differential thermal analysis และ pyrolysis-gas chromatography พบว่า ช่วงอุณหภูมิคายความร้อนและดูดความร้อนระหว่างการให้ความร้อน (pyrolysis process) จากผลของ pyrolysis-gas chromatography พบว่าไม่มีผลกระทบในช่วงอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 430 °C เมื่อทำการเผาทำให้เกิดกลไก radical การขาดของสายโซ่ที่ตำแหน่ง  $\beta$  ของพันธะเดี่ยว carbon-carbon ซึ่งเป็นพันธะคู่ที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งเป็นการ dehydration และ aromatation ร่วมกัน

### 2.15.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด

จิตรภรณ์ (2542) ได้อธิบายการพัฒนาการผลิตสารยึดติดที่ไวต่อความดัน (pressure sensitive adhesives, PSAs) จากน้ำยางธรรมชาติ และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของสารยึดติดที่ไวต่อความดันที่ผลิตได้โดยจะทำการศึกษาผลกระทบของเวลาที่ใช้ในการย่อยโมเลกุลน้ำยาง ปริมาณ และชนิดของ เรซิน (resin) ที่มีต่อค่าแรงดึงลอกที่ 180° peel adhesion) การยึดติด (tack) และเวลาแขวน (holding time) โดยจะทำการย่อย น้ำยางด้วยสาร K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> และ propanol แล้วไปผสมกับเรซิน และวิเคราะห์สมบัติของสารยึดติด ผลจากการวิจัยพบว่า เวลาที่ใช้ในการย่อยโมเลกุลน้ำยางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดึงลอก 180° แต่จะมีผลต่อเวลาแขวน โดยเมื่อเวลาการย่อยโมเลกุล น้ำยางเพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาแขวนลดลง แรงดึงลอก 180° และการยึดติด จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเรซิน แต่เวลาแขวนจะลดลงเมื่อปริมาณของเรซินเพิ่มขึ้น

Minghitti และคณะ (2003) ได้อธิบายว่าการเติมเซลลูโลส อีเทอร์ หรือ polyvinylpyrrolidone (PVP) ใน polymethyl methacrylate (PMMA) สามารถปรับปรุงสมบัติของกาว PSA ซึ่งจะทำให้สมบัติการยึดติดเพิ่มขึ้น 40 เท่า และลดแรงที่ใช้ในการดึงลอกของกาว PSA เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา (intereaction) ระหว่าง PMMA กับสารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR และยังเพิ่มความแข็งแรงให้กับกาว (cohesion) PSA คาดว่าเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ amide ของ PVP กับหมู่ carboxylic acid ของ PMMA

Ferrari และคณะ (1994) ได้อธิบายว่า hydrocolloid dressing เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็น hydrophobic matrix และส่วนที่เป็น hydrophilic phase ซึ่งช่วยให้สามารถดูดซับน้ำได้ ซึ่งได้ทำการวัดสมบัติการดูดซับน้ำ (water uptake) และแรงบวมพอง (swelling force) ทำการเปรียบเทียบ hydrocolloid dressing ทางการค้าที่มีลักษณะแตกต่างกัน พบว่าลักษณะของการเกิด hydration และ swelling propensity ที่ต่างกัน สามารถแบ่ง hydrocolloid ได้เป็น 2 กลุ่มขึ้นอยู่กับความสามารถการดูดซับน้ำ (transforming water uptake) เพื่อเกิดแรงบวมพอง (swelling force)

Hock และคณะ (1999) ได้อธิบายว่ากาว (adhesive) เป็นส่วนหนึ่งของยา ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญมากมายในอุปกรณ์ transdermal drug delivery (TDD) มีการเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด ซึ่งกาวใช้งาน TDD ต้องเข้ากับสิ่งมีชีวิตได้ดี กับผิวหนัง เข้าได้ดีกับตัวยา สามารถส่งถ่ายตัวยาได้ ซึ่งกาวสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งส่วนใหญ่อุปกรณ์ที่ใช้เป็น TDD จะเป็นพวก PIBs, silicone และ polyacrylates โดยที่ polyisobutylenes เป็น paraffinic hydrocarbon polymer มีค่าความชื้นต่ำ และการซึมผ่านของแก๊สต่ำ ไม่เป็นพิษ การเตรียมกาวจะประกอบด้วย PIBs น้ำหนักโมเลกุลสูงและต่ำในสูตรเดียวกัน ส่วน silicone PSAs เตรียมจาก silicone resin และ silicone polymer ซึ่ง silicone จะยึดติดกับผิวหนังได้ดีและเป็นตัวแพร่กระจายยาได้ดีมาก ส่วน acrylic PSAs ประกอบด้วย acrylic อย่างเดียว เนื่องจากมีสมบัติการยึดติดที่ดีเป็นสมบัติเฉพาะตัว และได้กล่าวถึงกาวที่เป็น TDD รวมถึง hydrogels, hydrophilic polymer, polyurethanes และ graft copolymers

Katherine และคณะ (1999) ได้ศึกษาอิทธิพลของเวลาการแห้งของกาวไฮโดรคอลลอยด์ต่อความแข็งแรงต่อการดึงลอกออก (cleavage bond strength) จากแผ่นเหล็กสแตนเลส โดยการเตรียมกาวที่ประกอบด้วย versamid (60% ของสารละลายของ aminopolyamide ใน xylene) ละลายใน isopropanol พบว่าการที่ทำให้กาวแห้งเวลา 1 นาทีความแข็งแรงการดึงลอก เท่ากับ 32 kPa เมื่อใช้เวลา 5 นาที ความแข็งแรงการดึงลอก (cleavage bond strength) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 37 kPa

De Jong และคณะ (2002) ได้อธิบายถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์จากน้ำยางธรรมชาติในตลาดยุโรป เพื่อควบคุมความปลอดภัยและเป็นที่ยอมรับของผลิตภัณฑ์ ได้รายงานว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์จากน้ำยางธรรมชาติที่สามารถใช้ได้กับมาตรฐานประชากรชาวยุโรป เช่น ถุงมือทางการแพทย์ ซึ่งมีความกังวลของปัญหาการแพ้ทั้งโปรตีน (type I เป็นอาการแพ้โปรตีน) และสารเคมี (type IV เป็นการแพ้สารเคมี) ที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง ได้กล่าวว่าปัจจุบันได้มีการพัฒนาการลดปริมาณโปรตีนที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ให้มีความปลอดภัยสูงสุด ซึ่งจะไม่สามารถตรวจพบปริมาณของโปรตีนเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์

James และคณะ (1981) จากรายงานสิทธิบัตรการเตรียม ostomy adhesive ได้รายงานส่วนประกอบของ ostomy adhesive ซึ่งได้กล่าวว่าส่วนประกอบที่เหมาะสมของการเตรียมกาว ostomy นั้นประกอบด้วยส่วนผสมของ hydrocolloid gum ทำหน้าที่เป็นสาร pressure sensitive adhesive และสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับกาว (cohesive strengthening agent) ซึ่งเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ หรือเส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยเซลลูโลสย่อยละเอียด, cross-linked dextran, และ cross-linked carboxymethylcellulose หรือ starch-acrylonitrile graft copolymer ในสัดส่วนที่เหมาะสม

#### 2.15.4 การตรวจสอบสิทธิบัตรการผลิตแผ่นติดผิวหนัง

สิทธิบัตรไทยเลขที่ประกาศ 4404, 44610, 40198, 46300

ผู้ประดิษฐ์ นายจ็อนฟรังโก ปาลุมโบ และนายวินเซนโซ ดัคซิโอลี

ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์ อุปกรณ์การจัดการกับของเสียจากร่างกายมนุษย์พร้อมด้วยวิธีการการยึดจับแบบหน้าแปลนสารยึดติด

บทสรุปการประดิษฐ์ ได้อธิบายการประดิษฐ์เกี่ยวกับอุปกรณ์การจับของเสียจากร่างกายมนุษย์ ดังเช่น อุปกรณ์การจับเก็บปัสสาวะ หรืออุปกรณ์การจัดการกับอุจจาระ ซึ่งได้รับการนำมายึดจับเข้ากับผู้สวมอุปกรณ์ ชนิดใช้แล้วทิ้งซึ่งประกอบด้วยถุง ซึ่งถุงดังกล่าวจะมีช่องและหน้าแปลน ที่ล้อมรอบช่อง หน้าแปลนจะมีพื้นผิวที่หันเข้าหาผู้สวม และพื้นผิวที่หันเข้าหาเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งพื้นผิวที่หันหน้าเข้าหาผู้สวม ดังกล่าวจะประกอบด้วยสารยึดติด สำหรับการยึดติดด้วยสารยึดติดเข้ากับบริเวณรอบทวารหนักของผู้สวม ซึ่งเป็นสารชนิดที่มีความไวกับความดันที่ไม่ละลายน้ำอย่างสำคัญซึ่งประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่ก่อขึ้นรูปเมทริกซ์แบบ 3 มิติ และจะประกอบด้วยไฮโดรคอลลอยด์ในปริมาณน้อยกว่า 10% โดยน้ำหนัก และสารยึดติดผิวหนังดังกล่าวจะยอมให้อุณหภูมิและความชื้นซึมผ่านได้และมีอัตราการย้ายอุณหภูมิอย่างน้อยที่สุด 250 กรัม/(ตารางเมตร.24 ชั่วโมง) (จ็อนฟรังโก และคณะ, 2541) และหน้าแปลนที่พื้นผิวหันเข้าหาผู้สวม ที่ประกอบด้วยสารยึดติด จะได้รับการทำให้มีลักษณะพิเศษที่ว่า วิธีการการยึดจับผิวหนังดังกล่าวจะมีสภาพอ่อนตัวได้ที่กำหนดตั้งขึ้นในที่นี้น้อยกว่า 0.050 นิวตัน (ฟาบีโอ และ

คณะ, 2541) และได้มีการจัดหาให้มีสารยึดติดสำหรับยึดเหนี่ยวกับวัสดุกับผิวหนัง ซึ่งให้การยึดเหนี่ยวกับผิวหนังอย่างแน่นหนาและให้ความพึงพอใจเมื่อทำการใส่เมื่อเอาออกยังไม่ทำให้เกิดความไม่สบาย ผลนี้บรรลุได้โดยการเลือกองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะเฉพาะของวิทยากระแสนของสารยึดติด โดยเฉพาะอย่างยิ่งมอดูลัสของความหนืด  $G''$  ร่วมกับความหนา (C) ที่จัดเป็น มิลลิเมตร (mm) (จิอันฟรังโก และคณะ, 2541) ของชั้นยึดติดที่ใส่ไปยังวัสดุสำหรับยึดเหนี่ยวกับผิวหนัง โดยที่สารยึดติดซึ่งทำให้มีการติดที่มั่นคงภายใต้ภาวะที่ผิวหนังชื้นและเปียก และซึ่งคงความแข็งแรงต้านการลอกของสารยึดติดไว้ได้แม้ยามแมแต่ภายใต้การคายออกต่อน้ำในปริมาณที่มากเกินไป และไม่ทำร้ายผิวหนัง เมื่อใช้ติดลงไป โดยไม่ทำให้รู้สึกไม่ดีเมื่อดึงนำออก ซึ่งสารยึดติดดังกล่าวมีความแข็งแรงต้านการลอกออกเริ่มต้น ( $P_i$ ) และความแข็งแรงต้านการลอกออกสุดท้าย ( $P_f$ ) หลังจากที่ย่อยออกต่อน้ำดังที่กำหนดไว้ในวิธีการทดสอบในที่นี้โดยที่อัตราส่วนของ  $P_i$  ต่อ  $P_f$  มีค่าจาก 2:1 ถึง 2:4 และมีความจุในการดูดซับน้ำดังที่กำหนดไว้ใน การทดสอบอย่างน้อยที่สุด 3% โดยน้ำหนัก ของสารยึดติด อเดเลีย และคณะ, (2542)

**สิทธิบัตรไทยหมายเลข 19424,**

**ผู้ประดิษฐ์** รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ พงษ์สามารถ

**ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์** เจลทุเรียน วิธีการสกัดเจลจากทุเรียน การเตรียมเป็นกรดโพลีแซคคาไรด์และการใช้ประโยชน์

**บทสรุปการประดิษฐ์** วิธีการสกัดเจลจากทุเรียนตามการประดิษฐ์นี้ ประกอบด้วย การนำเปลือกทุเรียนมาล้างด้วยสารละลายกรดในแอลกอฮอล์ หลังจากนั้นนำเปลือกทุเรียนที่ได้มาทำการสกัดเจลด้วยน้ำร้อนในสภาวะเป็นกรดอ่อน กรองสารสกัดให้ได้สารละลายใสแล้วนำไประเหยน้ำออกให้ได้สารเข้มข้นและนำตกตะกอนด้วยสารละลายกรดในแอลกอฮอล์ที่เข้มข้น จะได้สารสกัดหยาบของเจลโพลีแซคคาไรด์ นำสารละลายน้ำของสารสกัดหยาบของเจลโพลีแซคคาไรด์มากรองซ้ำจนได้สารละลายใส นำไปกำจัดเกลือออกโดยการกรองผ่านคอลัมน์ของไอออนเอ็กซ์เชนจ์ เรซิน (ion-exchange resin) นำสารสกัดจากคอลัมน์มาระเหยน้ำออกจนได้สารละลายเข้มข้น แล้วตกตะกอนแยกกรดโพลีแซคคาไรด์ด้วยสารละลายกรดในแอลกอฮอล์ที่เข้มข้นอีกครั้ง และล้างในแอลกอฮอล์ นำกรดโพลีแซคคาไรด์ที่ได้มาทำให้แห้งจนได้ผลิตภัณฑ์สีครีมถึงขาว เป็นผงแห้งหรือแผ่นเส้นใยแห้ง ได้สารเจลทุเรียน ซึ่งใช้ประโยชน์ทำเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นเส้นใยปิดแผล ฟิล์มปิดแผล และแผ่นปิดแผลปลดปล่อยตัวยาช้าๆ ออกฤทธิ์นาน เป็นผลิตภัณฑ์ปิดแผล

## บทที่ 3

### สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

#### 3.1 สารเคมี

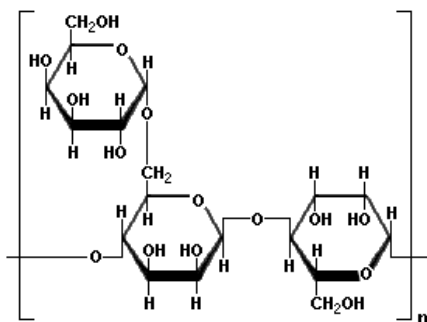
วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.1.1 น้ำยางสด (field latex) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำนม มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ประมาณ 30-35% โดยน้ำหนัก

3.1.2 ยางธรรมชาติ เป็นยางแห้ง STR XL มีลักษณะเป็นแท่ง สีเหลืองอ่อน ผลิตโดยองค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

3.1.3 ยางไอโซพรีน (isoprene rubber) เป็นยางสังเคราะห์ที่มีโครงสร้างคล้ายกับยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นแท่ง สีขาวใส

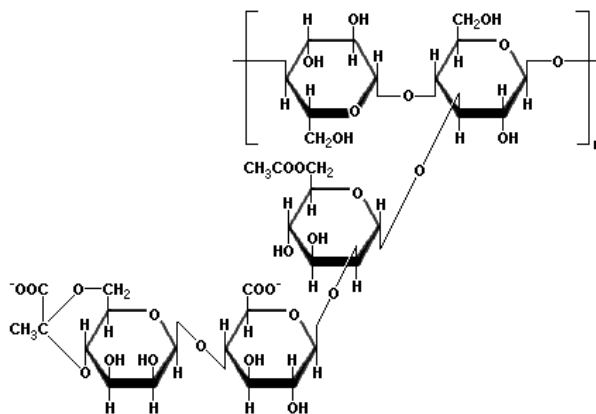
3.1.4 กวากัม (guar gum) มีลักษณะเป็นผง สีขาว ใช้เป็นสารดูดซับน้ำ มีค่า pH เท่ากับ 7.72 และมีค่าความหนืด (1% sol in water) เท่ากับ 1,660 เซนติพอยส์ จัดจำหน่ายโดย บริษัท เบนไมเยอร์ เคมีคอล (ไทยแลนด์) จำกัด



รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกวากัม (guar gum)

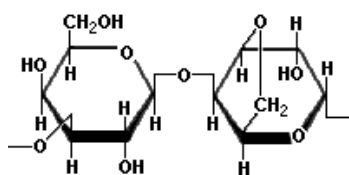
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:guaran.svg>)

3.1.5 แซนแทนกัม (xanthan gum) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้เป็นสารดูดซับน้ำ มีค่า pH เท่ากับ 6.20 และมีค่าความหนืด (1% sol in water) เท่ากับ 960 เซนติพอยส์ จัดจำหน่ายโดย บริษัทเบ็นไม-เยอร์ เคมีคอล (ไทยแลนด์) จำกัด



รูปที่ 3.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแซนแทนกัม (xanthan gum)  
(ที่มา: [www.scientificpsychic.com/fitness/xanthan.gif](http://www.scientificpsychic.com/fitness/xanthan.gif))

3.1.6 อากวาเจล (Aqua gel) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้เป็นสารดูดซับน้ำ มีค่า pH เท่ากับ 8.35 และมีค่าความหนืด (1% sol in water) เท่ากับ 1,708 เซนติพอยส์ จัดจำหน่ายโดย บริษัทเบ็นไม-เยอร์ เคมีคอล (ไทยแลนด์) จำกัด



รูปที่ 3.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของอากวาเจล (Aqua gel)  
(ที่มา: [www.scientificpsychic.com/fitness/aqua gel.gif](http://www.scientificpsychic.com/fitness/aqua gel.gif))

3.1.7 เมทานอล (Methanol, CH<sub>3</sub>OH) ความเข้มข้น 95% โดยปริมาตร เป็นเกรดทางการค้าผลิตโดยบริษัท ต.แสงเจริญเทรดดิ้ง มีน้ำหนักโมเลกุล 32.04 กรัมต่อโมเลกุล ใช้สำหรับจับตัวน้ำยาง



3.1.8 โทลูอีน (Toluene,  $C_6H_5CH_3$ ) เป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท J.T Baker จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา มีจุดเดือด  $111^{\circ}C$  มีน้ำหนักโมเลกุล 92.14 กรัมต่อโมล ใช้เป็นตัวทำละลายยาง

3.1.9 เตตระไฮโดรฟูราน (tetrahydrofuran,  $C_4H_8O$ ) เป็นเกรดสำหรับการวิเคราะห์ ผลิตโดยบริษัท J.T Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา มีน้ำหนักโมเลกุล 72.11 กรัมต่อโมล ใช้เป็นตัวทำละลายยาง

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.2.1 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (IR thermometer) ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิขณะทำการบดยางด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (IR thermometer)

3.2.2 นาฬิกาจับเวลา ยี่ห้อ ALBA รุ่น SW01-X008 ใช้สำหรับจับเวลาในการบดยาง

3.2.3 ตู้อบอากาศร้อน (hot air oven) รุ่น ULM 500 มีขนาดภายนอกเท่ากับ  $70 \times 54 \times 74$  ลูกบาศก์เซนติเมตร และขนาดช่องอบภายในเท่ากับ  $58 \times 40 \times 50$  ลูกบาศก์เซนติเมตร มีระบบพัดลมเพื่อควบคุมการความสม่ำเสมอของอุณหภูมิภายในตู้อบ สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงถึง  $250^{\circ}C$  ตั้งเวลา เปิด-ปิด ได้นาน 24 ชั่วโมง ผลิตโดยบริษัท Memmert GmbH ประเทศเยอรมัน



รูปที่ 3.5 ลักษณะของตู้อบอากาศร้อน

3.2.4 เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) รุ่น 19N-TM เป็นเครื่องที่ใช้ในการบดผสมยางเข้ากับสารเคมี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง 3 นิ้ว ยาว 8 นิ้ว จัดจำหน่ายโดยบริษัท อินโทร เอ็นเตอร์ไพร์ส จำกัด



รูปที่ 3.6 เครื่องบดสองลูกกลิ้งขนาดเล็ก

3.2.5 เครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง 6 นิ้ว ยาว 23 นิ้ว ผลิตโดย โรงงานชัยเจริญการช่าง ใช้สำหรับบดยางให้นุ่มลง



รูปที่ 3.7 เครื่องบดสองลูกกลิ้งขนาดกลาง

3.2.6 เครื่องวัดน้ำหนักโมเลกุล (gel permeation chromatography, GPC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-20A มีการใช้คอลัมน์จำนวน 2 คอลัมน์ ภายในบรรจุพอลิสไตรีน มีขนาดของรูพรุน (pore size) ที่สามารถวัดระดับน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 5,000-5,000,000 กรัมต่อโมล ใช้สำหรับวิเคราะห์ระดับน้ำหนักโมเลกุลของยาง จัดจำหน่ายโดย บริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดน้ำหนักโมเลกุล (gel permeation chromatography, GPC)

3.2.7 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (tensile machine) ยี่ห้อ LLOYD instrument รุ่น LR 10K ใช้สำหรับทดสอบแรงการดึงลอกออกของกาว จัดจำหน่ายโดย บริษัท อินโทร-เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด



รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (tensile machine)

3.2.8 เครื่องเซนตริฟิวจ์ (centrifuge machine) ยี่ห้อ SORVALL รุ่น GLC-2 ใช้สำหรับปั่นแยกสารละลายขาง ในการหาปริมาณเจลที่ไม่ละลายในตัวทำละลายของขาง



รูปที่ 3.10 เครื่องเซนตริฟิวจ์ ยี่ห้อ SORVAL รุ่น GLC-2

3.2.9 แผ่นเหล็กสแตนเลส (stainless steel plate) ขนาด 2.5×12.5 ตารางเซนติเมตร ใช้สำหรับทดสอบสมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด จัดจำหน่ายโดย บริษัทเจริญวัฒนะกิจ จำกัด

3.2.10 แผ่นเหล็กสแตนเลส (stainless steel plate) ขนาด 5×12.5 ตารางเซนติเมตร ใช้สำหรับทดสอบสมบัติแรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel force) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ ชนิดที่ไวต่อแรงกด จัดจำหน่ายโดย บริษัทเจริญวัฒน์โลหะกิจ จำกัด

3.2.11 เครื่องชั่งแบบละเอียด ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler-Toledo รุ่น PB-3002-S ผลิตโดยบริษัท Mettler-Toledo (Schweiz) GmbH ประเทศสวิทเซอร์แลนด์



รูปที่ 3.11 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.2.12 เครื่องชั่งแบบละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler-Toledo รุ่น AB204-S ผลิตโดยบริษัท Mettler-Toledo (Schweiz) GmbH ประเทศสวิทเซอร์แลนด์



รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

### 3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษา พัฒนาและการปรับปรุงสมบัติยางแท่งคุณภาพสูง ที่มีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านกาวเตรียมแผ่นกาวหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตยางแท่งคุณภาพสูง ได้แก่ ยางแท่ง STR XL และยาง white crepe (WPC) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่มีการใช้อยู่ในอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ แต่ยังคงมีปริมาณการใช้ในระดับน้อย งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาและพัฒนาการนำยางดิบ มาปรับปรุงความบริสุทธิ์ ยิ่งขึ้นด้วยปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน (saponification) เพื่อมาผลิตเป็นแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ ที่ใช้ในทางการแพทย์ เพิ่มความต้องการ การใช้ยางธรรมชาติทดแทนยางสังเคราะห์ในทางการแพทย์ได้มากยิ่งขึ้น

#### 3.3.1 การผลิตและปรับปรุงคุณภาพยางแท่ง ในระดับอุตสาหกรรม

##### 3.3.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตยางแท่งคุณภาพสูง ในระดับอุตสาหกรรม

กระบวนการเตรียมยางแท่ง ชนิดคุณภาพสูง ซึ่งทำการเตรียมในระดับอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษาผลของกระบวนการเตรียมยางแท่งต่อคุณภาพและปริมาณของไนโตรเจนที่เหลืออยู่ในยาง เพื่อนำมาใช้ผลิตแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตยางแท่ง ได้แก่ STR XL และ white crepe (WPC) ซึ่งเป็นคุณภาพที่ใช้ในอุตสาหกรรมด้านการแพทย์

##### 3.3.1.1.1 กระบวนการเตรียมยางแท่ง STR XL

1. รวบรวมน้ำยางสดเข้าสู่โรงงาน โดยรักษาสภาพน้ำยางด้วยสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite)
2. ปรับเปอร์เซ็นต์ เนื้อยางแห้งด้วยการเติมน้ำ ให้มีค่าประมาณ 30% ปริมาณเนื้อยางแห้งทั้งหมดในน้ำยาง และเก็บสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodium metabisulfite) เพื่อช่วยป้องกันยางมีสีคล้ำ
3. ทำใหยางจับตัวด้วยสารละลายกรดฟอร์มิก (formic acid) เก็บไว้ประมาณ 12 - 16 ชั่วโมง
4. นำยางที่จับตัวแล้ว ผ่านกระบวนการรีด และตัดย่อยยางให้มีขนาดเล็กและฝอย ล้างยางด้วยน้ำสะอาด
5. นำบรรจุลงในตะกุงเพื่อเข้าเตาอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่ 115 - 130 °C ใช้เวลาประมาณ 3 - 3.5 ชั่วโมง

6. นำยางที่ผ่านการอบแล้ว ชั่งน้ำหนัก 33.33 กิโลกรัม จึงนำมาอัดแท่งให้มีขนาดตามมาตรฐาน กำหนดทุก ๆ 10 แท่ง จะมีการตัดตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง เพื่อนำไปทดสอบที่ห้องตรวจสอบคุณภาพยาง

### 3.3.1.1.2 กระบวนการเตรียมยางแท่งเครพขาว (white crepe, WPC)

1. รวบรวมน้ำยางสดเข้าสู่โรงงาน ด้วยการรักษาสภาพน้ำยางโดยสารโซเดียมซัลไฟต์ (sodium sulfite)

2. ปรับเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแท่งด้วยการเติมน้ำ ให้มีค่าประมาณ 30% ปริมาณเนื้อยางแท่งทั้งหมดในน้ำยาง และเติมสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodium metabisulfite) เพื่อช่วยป้องกันยางมีสีคล้ำ

3. เติมสารเคมีเพื่อฟอกสี

4. ทำให้ง่ายจับตัวด้วยสารละลายกรดฟอร์มิก (formic acid) เก็บไว้ประมาณ 12 - 16 ชั่วโมง

5. นำมาผ่านกระบวนการรีดด้วยเครื่องจักร ชุดต่าง ๆ ประมาณ 18 - 20 ครั้ง การรีดครั้งสุดท้าย แผ่นยางมีความหนาประมาณ 1.12 มิลลิเมตร

6. นำแผ่นยางเข้าห้องอบโดยอุณหภูมิไม่เกิน 35 - 45 °C ใช้เวลา ประมาณ 4 - 5 วัน

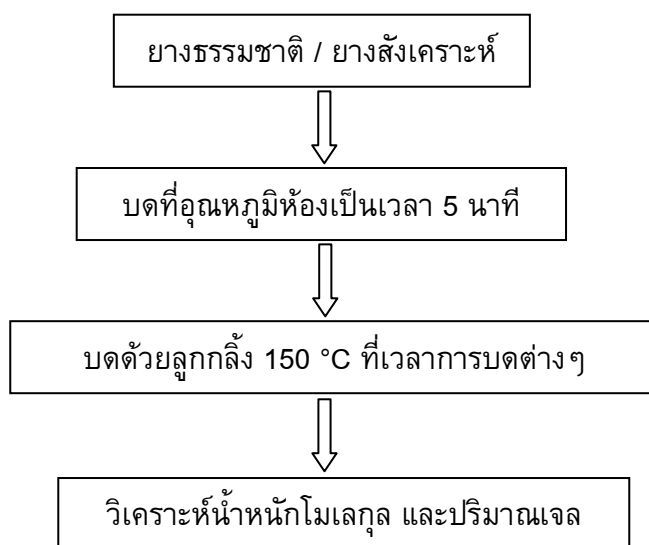
7. นำแผ่นยางที่ผ่านการอบแห้งแล้ว มาคัดเลือกเกรดยาง จึงนำไปชั่งน้ำหนัก 33.3 กิโลกรัม และอัดแท่งให้มีขนาดมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งทุก ๆ 10 แท่งจะมีการตัดตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง เพื่อนำไปทดสอบที่ห้องตรวจสอบคุณภาพยาง

### 3.3.1.2 ศึกษาการปรับปรุงยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ด้วยการทำปฏิกิริยาซาปอเนนิฟิเคชัน ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อปริมาณไนโตรเจนในยาง

ทำการชั่งยางดิบตัดย่อย ที่ได้จากกระบวนการผลิตยาง STR XL และยาง white crepe (WPC) มาอย่างละ 1 กิโลกรัม และแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาตร 2.0 ลิตร โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 70 °C ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1-7 ชั่วโมง เมื่อสิ้นกระบวนการข้างต้นแล้วทำการล้างเพื่อกำจัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ด้วยน้ำสะอาด และแช่ในสารละลายกรดฟอร์มิกเจือจาง (1% formic acid) เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงทำการล้างต่อด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง จากนั้นนำไปอบในตู้อบเป่าลมที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

### 3.3.2 การเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ด้วยเทคนิคการบด

กระบวนการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ด้วยเทคนิคการบดยางด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้สะดวกและใช้เวลาสั้น โดยการควบคุมความหนืดเริ่มต้น ด้วยการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที กระบวนการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงกระบวนการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight) ด้วยเทคนิคการบด

#### 3.3.2.1 ศึกษาอิทธิพลของคุณภาพของยางธรรมชาติ ต่อการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด

โดยจะเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำตามหัวข้อที่ 3.3.2 โดยศึกษาอิทธิพลของคุณภาพยางธรรมชาติ ที่กระบวนการผลิตแตกต่างกัน ต่อแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลยาง โดยการนำยางธรรมชาติคุณภาพต่างกัน ผ่านการทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 3 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ได้แก่วาง STR XL-SAP และยางเครพขาว (WPC-SAP) บดที่อุณหภูมิ 150 °C ด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) โดยทำการบดที่ระยะเวลาตั้งแต่ 15, 30, 45 และ 60 นาที

สังเกตพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของยางที่ผ่านการบดที่เวลาต่างๆ เช่น สี ลักษณะทางกายภาพของยาง และนำยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ตามหัวข้อที่ 3.3.3



### 3.3.2.2 ศึกษาอิทธิพลประเภทของยางต่อการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด

โดยจะเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำตามหัวข้อที่ 3.3.2 โดยศึกษาอิทธิพลประเภทของยางที่แตกต่างกัน ต่อแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักโมเลกุล ได้แก่ ยางธรรมชาติ STR XL-SAP และยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ทำการบดที่อุณหภูมิ 150 °C ด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) โดยทำการบดที่ระยะเวลาตั้งแต่ 15, 30, 45 และ 60 นาที

สังเกตพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของยางที่ผ่านการบดที่เวลาต่างๆ เช่น สี ลักษณะทางกายภาพของยาง และนำยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ตามหัวข้อที่ 3.3.3

### 3.3.3 การทดสอบสมบัติของยางลดน้ำหนักโมเลกุล

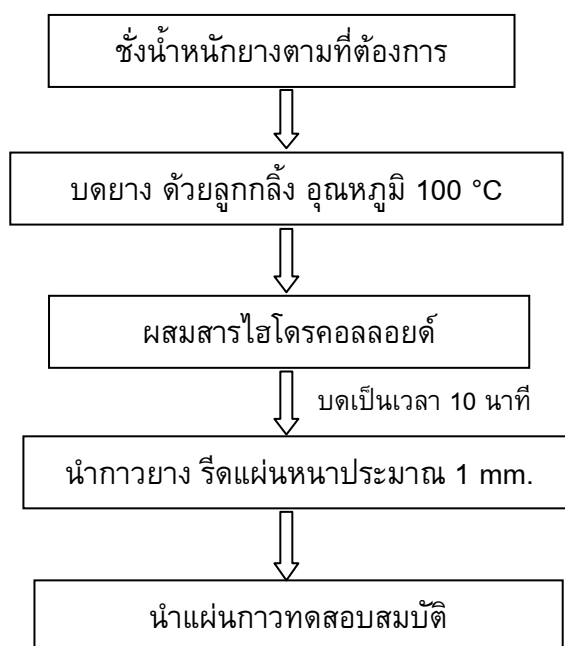
#### 3.3.3.1 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิค gel permeation chromatography (GPC)

ชั่งยางประมาณ 0.01 กรัม ใส่ลงในขวดไวโอล (vial) แล้วเติมตัวทำละลายเตตระไฮโดรฟิวแรน (THF) 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการกรองด้วยกระดาษกรอง millipore® 0.45 ไมครอน ก่อนใส่ลงในขวดใส่สารตัวอย่างสำหรับวางใน auto-sampler หรือก่อนฉีดเข้าสู่ระบบ

ก่อนทำการฉีดตัวอย่างเข้าระบบต้องเปิดเครื่องเพื่อเตรียมระบบก่อนเริ่มทำการทดสอบอย่างน้อย 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้สมดุล (baseline เรียบ) ก่อนใช้ทุกครั้ง ใช้สภาวะอุณหภูมิของคอลัมน์และ RI detector เท่ากับ 40 °C อัตราการไหลของ THF เท่ากับ 1.00 มิลลิลิตรต่อ นาที วัดน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและค่ากระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของสารละลายยางตัวอย่าง

### 3.3.4 การเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive, PSA)

กระบวนการเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมโดยนำยางที่ปรับปรุงสมบัติการยึดติด (tack) โดยเทคนิควิธีการบดด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลาการบด 60 นาที มาผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ โดยตั้งแสดงขั้นตอนดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงขั้นตอนการเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด

#### 3.3.4.1 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อสมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้ทางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

เตรียมแผ่นกาวยางไฮโดรคอลลอยด์ ตามหัวข้อที่ 3.3.4 ซึ่งเลือกใช้อย่างธรรมชาติคุณภาพ STR XL ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (STR XL-SAP) โดยศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ได้แก่ กัวกัม (guar gum), แซนแทนกัม (xanthan gum) และ อาควาเจล (aqua gel) ต่อสมบัติของแผ่นกาวยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60, และ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยาง ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3.1 แล้วนำแผ่นกาวที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อที่ 3.3.5

**ตารางที่ 3.1** สารเคมีที่ใช้เตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด จากยางธรรมชาติ โปรตีนต่ำ (STR-SAP)

สารเคมี	เปอร์เซ็นต์ส่วนในร้อยละของยาง (%)			
	A	B	C	D
STR XL-SAP	100	100	100	100
*Hydrocolloid	20	40	60	80

\* Hydrocolloid ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ กัวกัม (guar gum), แซนแทนกัม (xathan gum) และ อาควาเจล (aqua gel)

### 3.3.4.2 ศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อสมบัติแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้อย่างสังเคราะห์

เตรียมแผ่นกาวยางไฮโดรคอลลอยด์ที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive, PSA) ตามหัวข้อที่ 3.3.4 ซึ่งเลือกใช้ยางสังเคราะห์ไอโซพรีน โดยศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) ได้แก่ กัวกัม (guar gum), แซนแทนกัม (xathan gum) และ อาควาเจล (aqua gel) ต่อสมบัติของแผ่นกาวยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่แปรปริมาณ 20, 40, 60, และ 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยาง ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3.2 แล้วนำแผ่นกาวที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อที่ 3.3.5

**ตารางที่ 3.2** สารเคมีที่ใช้เตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน

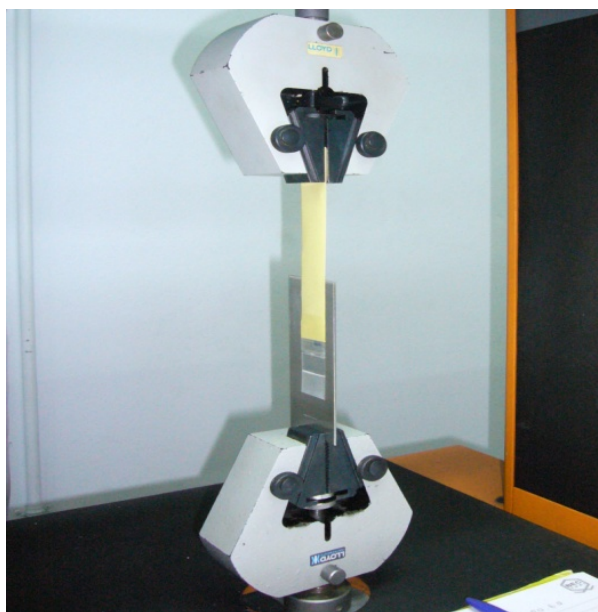
สารเคมี	เปอร์เซ็นต์ส่วนในร้อยละของยาง (%)			
	E	F	G	H
IR	100	100	100	100
*Hydrocolloid	20	40	60	80

\* Hydrocolloid ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ กัวกัม (guar gum), แซนแทนกัม (xathan gum) และ อาควาเจล (aqua gel)

### 3.3.5 การทดสอบสมบัติของแผ่นกาวยไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด

#### 3.3.5.1 การทดสอบสมบัติการดึงลอกออก (peel strength 180°)

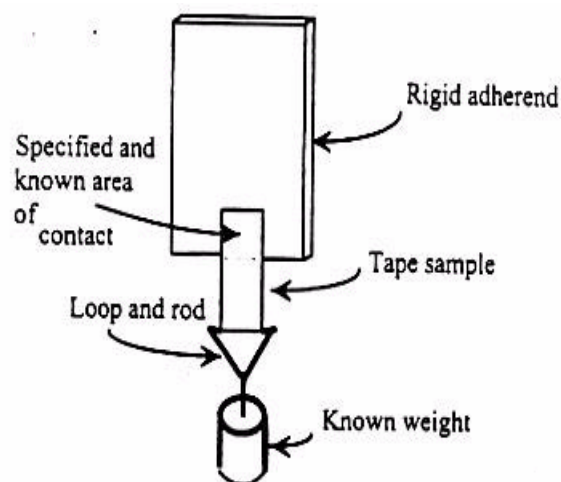
การทดสอบคุณสมบัติการลอกออก (peel) ของแผ่นกาวยไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด โดยใช้เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคุณสมบัตินี้ได้แก่ ความเร็วในการดึง 100 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะทางที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงเฉื่อยที่ใช้ในการดึงลอก คือ 30-50 มิลลิเมตร ทดสอบที่ (23°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 %) การทดสอบโดยเตรียมแผ่นกาวยขนาด 25 x 130 ตารางมิลลิเมตร นำไปติดลงบนแผ่นเหล็กสแตนเลสขนาด 50 x 130 ตารางมิลลิเมตร ที่เตรียมพื้นผิวเรียบร้อยแล้ว จากนั้นใช้ลูกกลิ้งขนาด 2.0 กิโลกรัม กลิ้งทับลงบนตัวอย่าง 1 รอบ ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ก่อนทำการทดสอบ จากนั้นนำเหล็กสแตนเลสที่มีแผ่นกาวยติดอยู่ลอกแผ่นกาวยออกให้เหลือแผ่นกาวยติดอยู่บนแผ่นเหล็กยาว 10 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปิดเครื่อง หัวจับด้านบนจะเคลื่อนที่ขึ้น ดึงลอกเทปกาวออก เครื่องจะทำการบันทึกแรงที่ใช้ในการดึงเทปกาวออก โดยจะเริ่มวัดเมื่อแผ่นกาวยถูกดึงลอกออก (peel) ไปเป็นระยะทาง 30 มิลลิเมตร จนถึง 50 มิลลิเมตร เครื่องก็จะนำเอาระยะทางที่ได้ไปคำนวณออกมาเป็นค่าเฉลี่ยของแรงที่ใช้ดึงลอกออก การทดสอบนี้ตามมาตรฐาน ASTM D3330/D3330-04



รูปที่ 3.15 เครื่องทดสอบการดึงลอกแบบ 180° peel (LLOYD tensile tester)

### 3.3.5.2 การทดสอบสมบัติการคืบ (shear holding power)

การทดสอบคุณสมบัติการคืบ ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด โดยการตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาด 25 x 55 ตารางมิลลิเมตร นำชิ้นงานที่ได้มาติดลงบนแผ่นเหล็กสแตนเลส ที่เตรียมพื้นผิวแล้วขนาดกว้าง 50 x 130 ตารางมิลลิเมตร โดยติดให้แผ่นกาวอยู่ตรงกลางของแผ่นเหล็ก ให้มีพื้นที่ทดสอบขนาด 25 x 25 ตารางมิลลิเมตร จากนั้นใช้ลูกกลิ้งน้ำหนัก 2.0 กิโลกรัม กลิ้งทับส่วนที่ติดแผ่นกาว 1 รอบ ทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที ก่อนนำไปทดสอบเพื่อให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่างแผ่นกาวกับแผ่นเหล็ก จากนั้นนำแผ่นเหล็ก ที่มีแผ่นกาวติดอยู่ ทำการแขวนถ่วงน้ำหนักขนาด 500 กรัม ทำการบันทึกระยะเวลาที่ใช้ที่น้ำหนักถ่วงทำให้กาวหลุดออกจากแผ่นเหล็กสแตนเลส นำเอาระยะเวลาที่ได้ไปแสดงสมบัติการคืบ การทดสอบนี้ตามมาตรฐาน ASTM D3330/D3330-04



รูปที่ 3.16 ลักษณะการทดสอบสมบัติการคืบ (shear holding power)

### 3.3.5.3 การทดสอบสมบัติความสามารถการดูดซับน้ำ (water uptake)

การทดสอบคุณสมบัติการดูดซับน้ำของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด โดยการตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาด 10 x 15 x 2 ตารางมิลลิเมตร ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่าง แล้วทำการบันทึกค่าน้ำหนักก่อนทำการแช่น้ำ (W) นำมาแช่ในน้ำที่อยู่ในขวดไวโอลปริมาตร 20 มิลลิลิตร. ปิดฝาให้สนิท โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการชั่งน้ำหนักหลังการแช่น้ำแล้วบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ ( $W_1$ ) ซึ่งค่าที่ได้สามารถนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การดูดซับได้ดังสมการต่อไปนี้

การคำนวณ

$$\text{การดูดซับน้ำ, (g/cm}^3\text{)} = \frac{(W_1 - W)}{V} \quad (\text{g/cm}^3)$$

โดยที่ W = น้ำหนักตัวอย่างแผ่นกาวก่อนแช่น้ำ (g)

$W_1$  = น้ำหนักตัวอย่างแผ่นกาวหลังแช่น้ำ (g)

V = ปริมาตรของแผ่นกาวที่ใช้ในการดูดซับน้ำ ( $\text{cm}^3$ )

### 3.3.5.4 การวิเคราะห์สัณฐานทางวิทยา ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM)

การเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM มีวิธีดังนี้

1. นำชิ้นตัวอย่างขนาด 5 x 20 ตารางมิลลิเมตร ความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ไปแช่ในไนโตรเจนเหลวประมาณ 5-10 นาที แล้วทำการหักทันที พยายามให้รอยหักเรียบที่สุด
2. นำส่วนที่หักไปติดลงบนตลับทองเหลือง โดยหันปลายที่หักขึ้นข้างบน จากนั้นนำไปเคลือบด้วยชั้นทองคำบางๆ เพื่อให้ตัวอย่างสามารถนำไฟฟ้าได้
3. นำไปวิเคราะห์โครงสร้างภายนอก ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้กระแสลำอิเล็กตรอนเท่ากับ 10 kV

### 3.3.5.5 การวิเคราะห์โครงสร้างโมเลกุลทางเคมี ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

เครื่องฟูเรียทรานสฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาร โดยนำสารที่ต้องการวิเคราะห์บดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) และอัดให้เป็นแผ่นกลมบางโปร่งใสสำหรับตัวอย่างที่เป็นผง และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-IR สำหรับตัวอย่างที่เป็นแผ่นกาว ทำการทดสอบในช่วงเลขคลื่น  $4,000-400 \text{ cm}^{-1}$  โดยการใช้เครื่อง FT-IR (model EQUINOX 55, Bruker) โดยใช้ทำการสแกน 32 ครั้ง

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การผลิตและปรับปรุงคุณภาพยางแท่ง ในระดับอุตสาหกรรม

##### 4.1.1 อิทธิพลของกระบวนการผลิตยางแท่งคุณภาพสูง ในระดับอุตสาหกรรม

การศึกษากระบวนการแปรรูปยางแท่งคุณภาพสูง หรือยางที่มีความโปรตีนต่ำ อุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบในการเตรียมเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ทางด้านการแพทย์ ซึ่งจากการศึกษากระบวนการผลิตยางแท่งคุณภาพสูงในระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ การผลิตยาง STR XL และ ยางเครพขาว (white crepe, WPC) นำยางมาวิเคราะห์สมบัติพื้นฐานตามมาตรฐานยางแท่งไทย (standard thai rubber, STR) สามารถเปรียบเทียบได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติพื้นฐานของยางธรรมชาติคุณภาพสูงที่ผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรม

Properties	Standard Thai Rubber, STR		
	WPC STD	STR XL	WPC
Dirt content (%wt)	< 0.02	0.01	0.01
Ash content (%wt)	< 0.40	0.15	0.12
Volatile matter (%wt)	<0.80	0.24	0.20
Nitrogen content (%wt)	< 0.40	0.42	0.36
Initial plasticity (P <sub>0</sub> )	> 35.00	37.80	51.67
Plasticity retention index (PRI)	> 60.00	86.03	97.42
Color (Lovibond)	< 4.00	2.5	2.0
Mooney viscosity, ML(1+4) 100°C	-	64.52	75.16

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าจากกระบวนการเตรียมยางแท่งคุณภาพสูงในระดับอุตสาหกรรม มีผลต่อสมบัติและปริมาณไนโตรเจน ของยางที่ผลิตได้ และปริมาณของไนโตรเจนที่คงเหลือในยาง ซึ่งจากการศึกษา พบว่ายาง WPC มีปริมาณของไนโตรเจนต่ำกว่ายาง STR XL โดยที่ยาง WPC มีปริมาณไนโตรเจน 0.36% โดยน้ำหนัก และยาง STR XL มีปริมาณไนโตรเจน 0.42% โดยน้ำหนัก เนื่องจากกระบวนการเตรียมยาง WPC มีการใช้สารฟอกสี (bleaching agent) เพื่อให้ยางมีลักษณะของสีอ่อน เจือจาง โดยการไปกำจัดสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ ที่ทำให้ยางมีสีเหลืองเข้ม ทำให้สารเม็ดสีที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในยางธรรมชาติ หลุดออกจากเม็ดยางละลายไปอยู่ในชั้นของเซรุ่ม เช่นพวกโปรตีน และไขมัน ส่งผลทำให้ยางที่ได้มีคุณภาพดีขึ้น และผลของสารฟอกสีในกระบวนการผลิตยาง WPC ยังส่งผลทำให้สมบัติ plasticity และค่า mooney viscosity สูงกว่ายาง STR XL คาดว่าเนื่องจากสารฟอกสี และอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลทำให้ยางธรรมชาติ เกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างโมเลกุล หรือเกิดพันธะระหว่างโมเลกุล (physical crosslink) ได้บางส่วน ทำให้ยางมีค่าความอ่อนตัวต่ำและมีค่าความหนืดที่ค่อนข้างสูงกว่ายาง STR XL

#### 4.1.2 อิทธิพลการปรับปรุงยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ด้วยการทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อปริมาณไนโตรเจนในยาง

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพยางธรรมชาติ มีความโปรตีนต่ำ ระหว่างขั้นตอนการเตรียมยางแท่งในระดับอุตสาหกรรม โดยการนำยางดิบตัดย่อย จากกระบวนการผลิตยาง STR XL และยาง WPC ทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 °C ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 1-7 ชั่วโมง ที่มีผลต่อระดับของปริมาณไนโตรเจน ที่เหลืออยู่ในยางแท่ง สามารถแสดงผลได้ในตารางที่ 4.2



**ตารางที่ 4.2** แสดงปริมาณของไนโตรเจนที่มีอยู่ในยางหลังจากทำการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

Saponification with Soaking time at 70°C (hr.)	Nitrogen Content (% by weight)	
	Soaked STR XL	Soaked WPC
Control*	0.421	0.364
1	0.162	0.159
3	0.124	0.121
5	0.119	0.114
7	0.093	0.084

\* Control sample is rubber crumb without soaking in 3% (w/v) NaOH.

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 เป็นการทดลองโดยการนำยางดิบที่ผ่านการล้างและรีดบดเป็นชิ้นเล็กๆ มาผ่านกระบวนการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 1-7 ชั่วโมง พบว่าค่าปริมาณไนโตรเจนของยางดิบปกติมีค่าประมาณ 0.36-0.42 % โดยน้ำหนัก หลังจากผ่านการทำซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) ที่ระยะเวลาการแช่ต่างๆ จะได้ว่าเมื่อเวลาการแช่ยางดิบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากขึ้น จะทำให้ค่าปริมาณไนโตรเจนในยางมีแนวโน้มลดลง เหลือเพียง 0.084-0.093 % โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และคุณภาพสีของยาง STR XL ภายหลังจากแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีระดับสีใกล้เคียงกับยาง white crepe (WPC) เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ช่วยย่อยส่วนประกอบที่ไม่ใช่ยางในยางธรรมชาติ สามารถละลายออกมากับน้ำได้ เช่น ไขมัน และโปรตีน พบว่าภายหลังจากตัดย่อยยางเป็นเม็ดเล็กๆ สามารถเพิ่มขั้นตอนการลดระดับค่าปริมาณไนโตรเจน ได้โดยการแช่ต่างและ ใช้ความร้อน เพื่อเร่งการย่อยและล้างโปรตีนที่อยู่บริเวณผิว ให้สามารถละลายน้ำได้ ทำใหยางแห้งที่ได้จะเป็นยางแห้งที่มีความบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์มากยิ่งขึ้น (เสาวนีย์, 2548)

## 4.2 การเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight) ด้วยเทคนิคการบด

### 4.2.1 อิทธิพลของคุณภาพของยางธรรมชาติ ต่อการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด

จากการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำตามหัวข้อที่ 3.3.1 โดยศึกษาอิทธิพลของคุณภาพยางธรรมชาติ ที่มีกระบวนการผลิตแตกต่างกัน ต่อแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักโมเลกุล โดยการนำยางดิบที่ได้จากกระบวนการผลิตยาง STR XL และยางเครพขาว (WPC) ผ่านการทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (saponification) ตามหัวข้อที่ 3.3.1.2 มาบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C โดยทำการบดที่ระยะเวลาตั้งแต่ 15, 30, 45 และ 60 นาที และพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และสีของยางกับระยะเวลาการบด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ

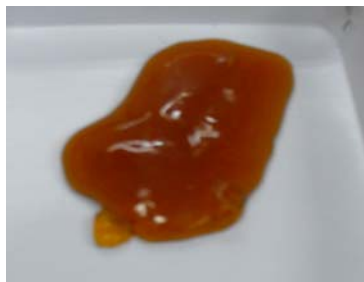
เวลา (นาที) ชนิดยาง	คุณภาพยาง	
	STR XL-SAP	WPC-SAP
0	มีลักษณะเป็นก้อนสีเหลืองอ่อน สมบัติการไหลต่ำ	มีลักษณะเป็นก้อนสีเหลืองอ่อน สมบัติการไหลต่ำ
15	มีลักษณะนิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวมันวาว เรียบ สมบัติการไหลเพิ่มขึ้น	มีลักษณะนิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อน มีผิวขรุขระ สมบัติการไหลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
30	มีลักษณะนิ่มเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ผิวมันวาวขึ้น เรียบ สมบัติการไหลเพิ่มยิ่งขึ้น	มีลักษณะนิ่มเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น มีผิวขรุขระ สมบัติการไหลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
45	มีลักษณะนิ่มเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ผิวมันวาวขึ้น เรียบ สมบัติการไหลเพิ่มมากขึ้น	มีลักษณะนิ่มเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มยิ่งขึ้น มีผิวขรุขระ สมบัติการไหลไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
60	มีลักษณะนิ่มเพิ่มยิ่งขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ผิวมันวาวขึ้น เรียบ สมบัติการไหลได้ง่ายยิ่งขึ้น	มีลักษณะนิ่มเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มยิ่งขึ้น มีผิวเรียบมันวาว สมบัติการไหลเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



(A). STR XL-SAP บด 15 นาที



(E). WPC-SAP บด 15 นาที



(B). STR XL-SAP บด 30 นาที



(F). WPC-SAP บด 30 นาที



(C). STR XL-SAP บด 45 นาที



(G). WPC-SAP บด 45 นาที



(D). STR XL-SAP บด 60 นาที



(H). WPC-SAP บด 60 นาที

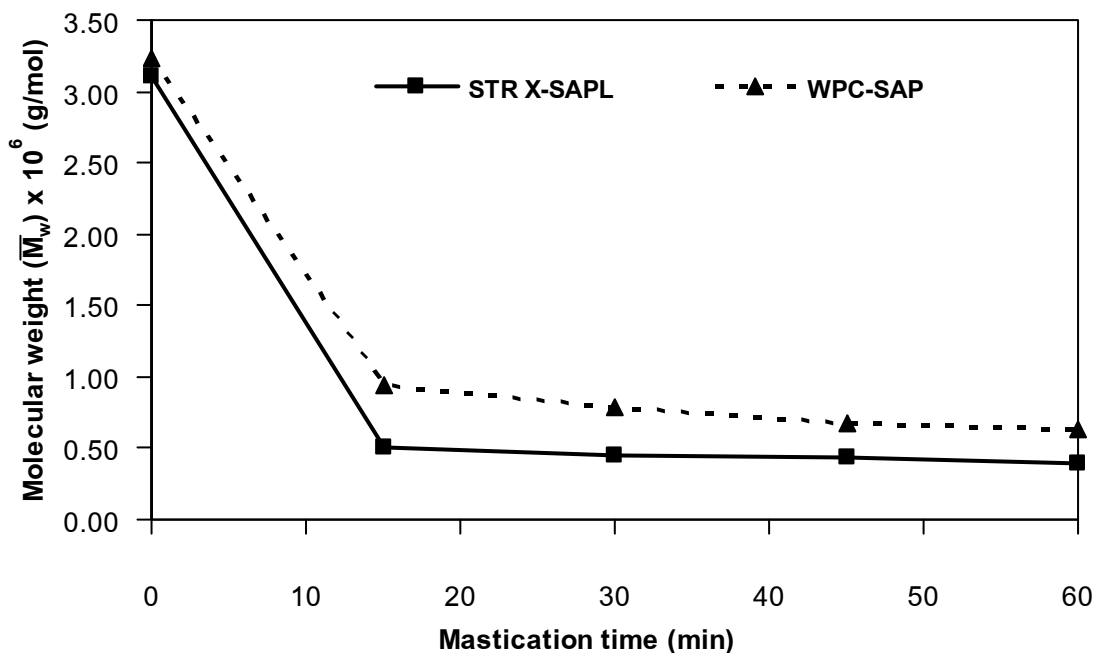
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติ STR XL-SAP เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพหลังการบดได้มากกว่ายางธรรมชาติ WPC-SAP โดยที่ยาง STR XL-SAP ใช้เวลาในการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งประมาณ 15-30 นาที ก็สามารถทำให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ หรือเกิดการไหลที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนยาง WPC-SAP ต้องใช้เวลาในการบดมากกว่า 60 นาที จึงสามารถสังเกตเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ ได้อย่างชัดเจน ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากกระบวนการผลิตยางธรรมชาติทั้ง 2 คุณภาพ โดยที่ยาง STR XL-SAP เตรียมโดยการนำน้ำยางสดที่เก็บรวบรวมได้มาแปรรูปเป็นยางแห้งทันที ส่วนยางธรรมชาติ white crepe จะทำการเก็บรวบรวมน้ำยางสดมาเก็บพักทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน และมีการเติมสารฟอกสีในน้ำยางสด ซึ่งอาจก่อให้เกิดเป็นส่วนของร่างแหหรือพันธะเคมีเกิดขึ้น (physical crosslink) คาดว่าปลายสายโซ่โมเลกุลของยาง WPC-SAP เกิดพันธะกับอะตอมของสารฟอกสี ก่อให้เกิดส่วนที่เป็นร่างแหอย่างหนาแน่น จากอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บพักน้ำยางและสารฟอกสีที่เติมเข้าไป จึงทำให้ยางธรรมชาติคุณภาพ WPC-SAP เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพได้ค่อนข้างยาก และจากการสังเกตลักษณะของการเปลี่ยนแปลงสีของยางภายหลังผ่านการบด จะเห็นได้ว่าธรรมชาติจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนที่เวลาการบดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากยางธรรมชาติ มีองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่ยางบางส่วน เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ที่เหลือจากปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน เมื่อได้รับพลังงานความร้อนขณะบด ส่งผลให้เกิดการเสื่อมสภาพ (degradation) เกิดขึ้น ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของยางธรรมชาติเป็นสีน้ำตาลเข้ม

น้ำยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล ตามหัวข้อที่ 3.3.3 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2-4.5

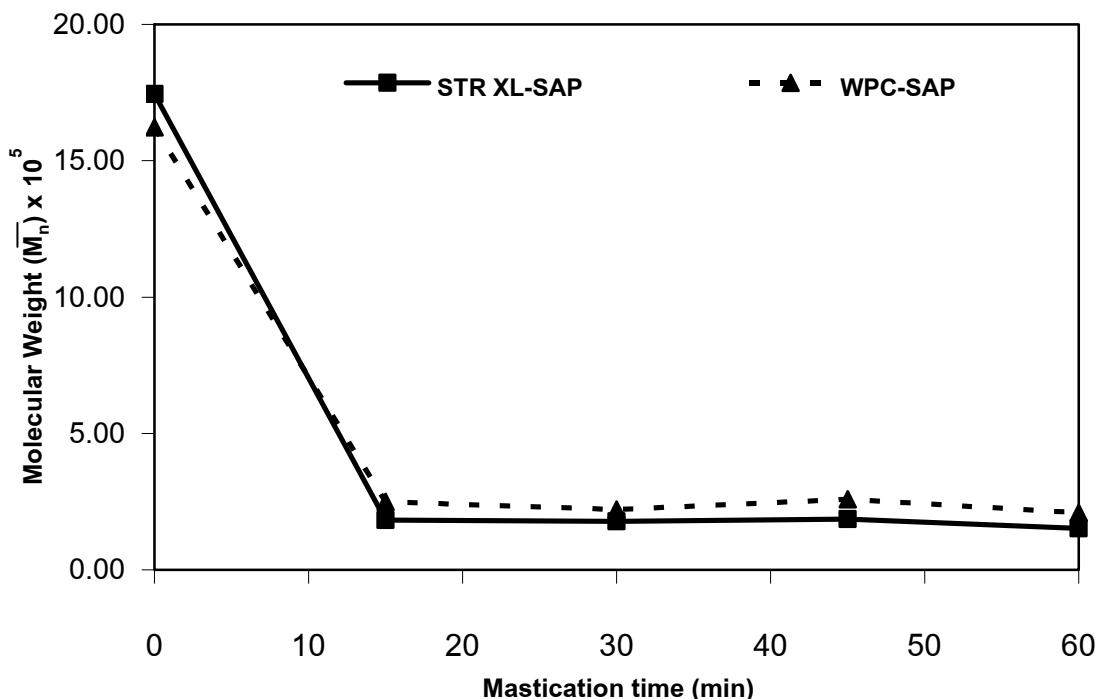
**ตารางที่ 4.4** น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด

ชนิดยาง เวลา (นาที)	น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) $\times 10^6$ (g/mol)					น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\bar{M}_n$ ) $\times 10^5$ (g/mol)				
	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
STR XL-SAP	3.10	0.50	0.45	0.43	0.40	17.45	1.82	1.78	1.86	1.52
WPC-SAP	3.23	0.94	0.79	0.68	0.63	16.23	2.49	2.21	2.59	2.09



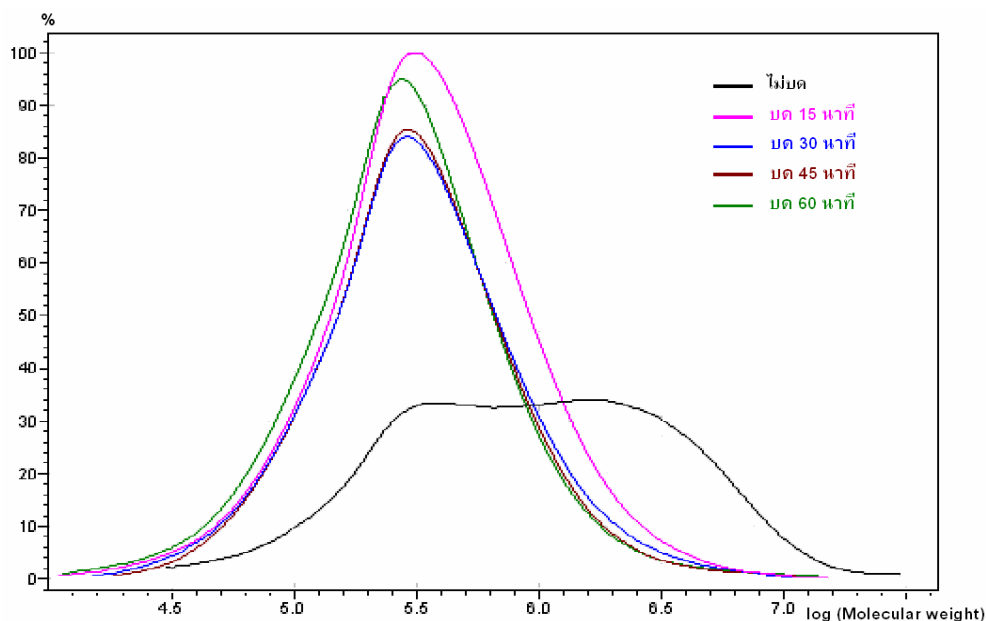
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2 น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) ของยาง ภายหลังจากบดด้วยเครื่องสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 150 °C พบว่ายางธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) เริ่มต้นมากกว่า  $3.0 \times 10^6$  กรัมต่อโมล เมื่อผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน (hot mastication) พบว่าเมื่อเวลาการบดเพิ่มมากขึ้นยาง STR XL-SAP มีแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนักมากกว่ายาง WPC-SAP และพบว่าที่เวลาการบด 15 นาที น้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) ของยาง STR XL-SAP จะลดลงประมาณ  $0.50 \times 10^6$  กรัมต่อโมล ส่วนยาง WPC-SAP น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) ลดลงประมาณ  $0.94 \times 10^6$  กรัมต่อโมล จากอิทธิพลของอุณหภูมิและแรงเฉือนจากการบดของลูกกลิ้ง ส่งผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติเกิดปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลของส่วนที่เกิดพันธะทางเคมีและร่างแห (เสาวนีย์, 2548) ของปลายสายโซ่ขาดออก เกิดเป็นอนุมูลอิสระเกิดขึ้นใหม่ และสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศ เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาการบดเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก คาดว่าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของยาง มีลักษณะอ่อนตัวมากขึ้น และสามารถไหลได้ง่าย ส่งผลให้อิทธิพลของแรงเฉือนจากการบด ต่อการการตัดสายโซ่โมเลกุลของยางลดลง



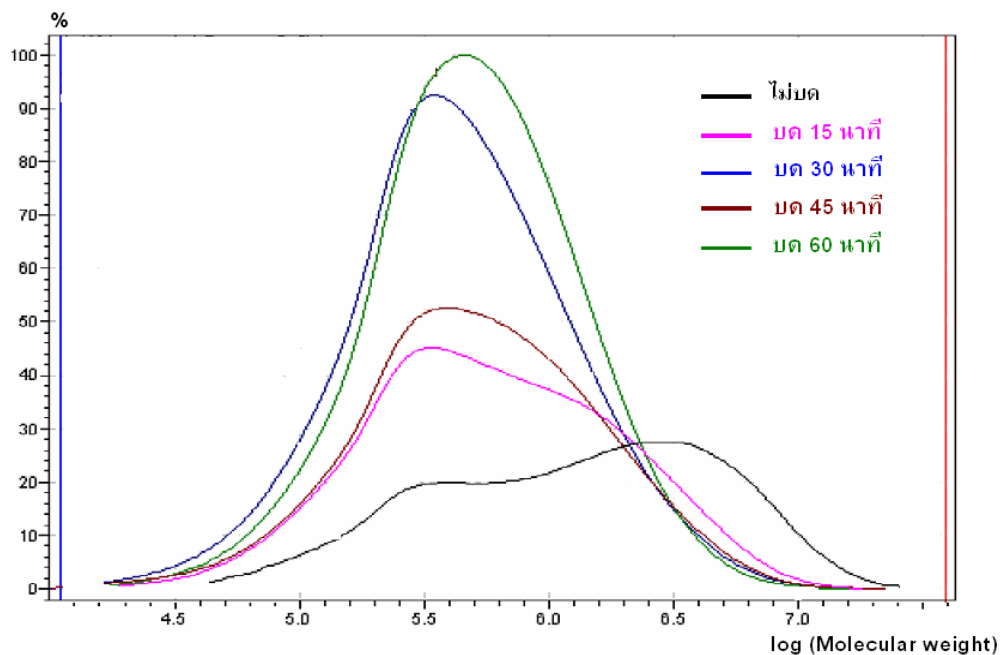
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\bar{M}_n$ ) ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\bar{M}_n$ ) ของ STR XL-SAP และยาง WPC-SAP ภายหลังจากการบดด้วยลูกกลิ้งร้อนมีแนวโน้มลดลง และไม่แตกต่างกันมากนัก พบว่ายางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\bar{M}_n$ ) เริ่มต้นมากกว่า  $1.6 \times 10^6$  กรัมต่อโมล เมื่อผ่านการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน (hot mastication) พบว่า ที่เวลาการบด 15 นาที น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\bar{M}_n$ ) ของยาง STR XL-SAP จะลดลงเหลือประมาณ  $1.82 \times 10^5$  กรัมต่อโมล ส่วนยาง WPC-SAP น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\bar{M}_n$ ) ลดลงเหลือประมาณ  $2.49 \times 10^5$  กรัมต่อโมล จากอิทธิพลของอุณหภูมิและแรงเฉือนจากการบดของลูกกลิ้ง ส่งผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติเกิดปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลของส่วนที่เกิดพันธะทางเคมีและร่างแห (เสาวนีย์, 2548) ของปลายสายโซ่ขาดออก เกิดเป็นอนุมูลอิสระเกิดขึ้นใหม่ และสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศ เกิดเป็นอนุมูลเปอร์ออกไซด์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาการบดเพิ่มขึ้น จะเห็นว่าการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก คาดว่าเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของยาง มีลักษณะอ่อนตัวมากขึ้นและสามารถไหลได้ง่าย ส่งผลให้อิทธิพลของแรงเฉือนจากการบด ต่อการการตัดสายโซ่โมเลกุลของยางลดลง



**รูปที่ 4.4** ความสัมพันธ์ของค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution) ของยาง STR XL-SAP ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยาง STR XL-SAP ที่ไม่ผ่านการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน พบว่าค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลมีลักษณะการกระจายแบบ bimodal molecular weight ซึ่งบ่งบอกได้ว่ายางธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านการบด จะมีค่าระดับของน้ำหนักโมเลกุลที่หลากหลาย ส่งผลให้ระดับของน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงกว้างและไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อนำยาง STR XL-SAP มาผ่านการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน ลักษณะการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล จะเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการกระจายแบบ unimodal molecular weight ซึ่งการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิสูง สามารถทำการตัดสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติได้ และส่งผลทำให้ระดับของน้ำหนักโมเลกุลลดลง และมีลักษณะของกราฟแคบลง แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นและขนาดสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติลดลง



**รูปที่ 4.5** ความสัมพันธ์ของค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution) ของยาง WPC-SAP ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ WPC-SAP ที่ยังไม่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดลูกกลิ้งร้อน พบว่าค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลมีลักษณะการกระจายแบบ bimodal molecular weight คล้ายกับลักษณะการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของยาง STR XL-SAP ดังรูปที่ 4.4 แต่เมื่อนำยาง WPC-SAP มาผ่านการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน พบว่าลักษณะการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยาง WPC-SAP มีลักษณะการกระจายน้ำหนักโมเลกุลแบบ unimodal molecular weight แต่ลักษณะของค่าการกระจายมีค่ากว้างกว่ายาง STR XL-SAP ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ายาง WPC-SAP ที่ผ่านการบดจะมีระดับค่าน้ำหนักโมเลกุลกว้างกว่ายาง STR XL-SAP เนื่องจากความแข็งแรงและปริมาณของพันธะการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลกับอะตอมของสารฟอกสีและการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่โมเลกุล ก่อให้เกิดส่วนที่เป็นร่างแห ส่งผลให้ยาง WPC-SAP เกิดปฏิกิริยาการตัดสายโซ่โมเลกุลค่อนข้างยากกว่ายาง STR XL-SAP

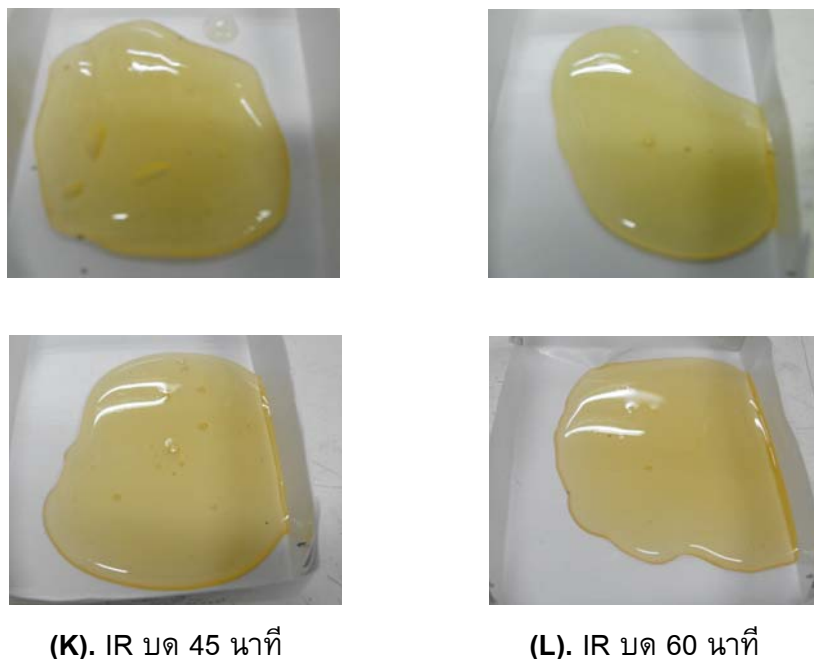


#### 4.2.2 อิทธิพลประเภทของยาง ต่อการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด

จากการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำตามหัวข้อที่ 3.3.2 โดยศึกษาอิทธิพลประเภทของยางระหว่างยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ได้แก่ ยาง STR XL-SAP และยางสังเคราะห์ไอโซพรีน (IR) ที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกันแต่มีแหล่งกำเนิดแตกต่างกัน ต่อแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของยางทั้ง 2 ชนิด ด้วยเทคนิคการบดที่อุณหภูมิ 150 °C ด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) โดยทำการบดที่ระยะเวลาตั้งแต่ 15, 30, 45 และ 60 นาที และพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และสีของยางกับระยะเวลาการบด ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ลักษณะทางกายภาพของยางที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ

เวลา (นาที) ชนิดยาง	ลักษณะทางกายภาพ	
	STR XL-SAP	IR
0	มีลักษณะเป็นก้อนสีเหลืองอ่อน สมบัติการไหลต่ำ	มีลักษณะสีใส แข็ง สมบัติการไหลต่ำมาก
15	มีลักษณะนิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวมันวาว เรียบ สมบัติการไหลเพิ่มขึ้น	มีลักษณะนิ่มขึ้น สีเหลืองใสขึ้น มีผิวมันวาว สมบัติการไหลเพิ่มขึ้น
30	มีลักษณะนิ่มเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ผิวมันวาวขึ้น เรียบ สมบัติการไหลเพิ่มยิ่งขึ้น	มีลักษณะนิ่มขึ้น สีเหลืองใสขึ้น มีผิวมันวาวเพิ่มขึ้น สมบัติการไหลเพิ่มยิ่งขึ้น
45	มีลักษณะนิ่มเพิ่มขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ผิวมันวาวขึ้น เรียบ สมบัติการไหลเพิ่มมากขึ้น	มีลักษณะนิ่มเพิ่มมากขึ้น สีเหลืองใสอมส้ม มีผิวมันวาว สมบัติการไหลได้ง่ายมากยิ่งขึ้น
60	มีลักษณะนิ่มเพิ่มยิ่งขึ้น มีสีน้ำตาลเข้มขึ้น ผิวมันวาวขึ้น เรียบ สมบัติการไหลได้ง่ายยิ่งขึ้น	มีลักษณะนิ่มยิ่งเพิ่มมากขึ้น สีเหลืองใสอมส้ม มีผิวมันวาว สมบัติการไหลได้ง่ายมากยิ่งขึ้น



(K). IR บด 45 นาที

(L). IR บด 60 นาที

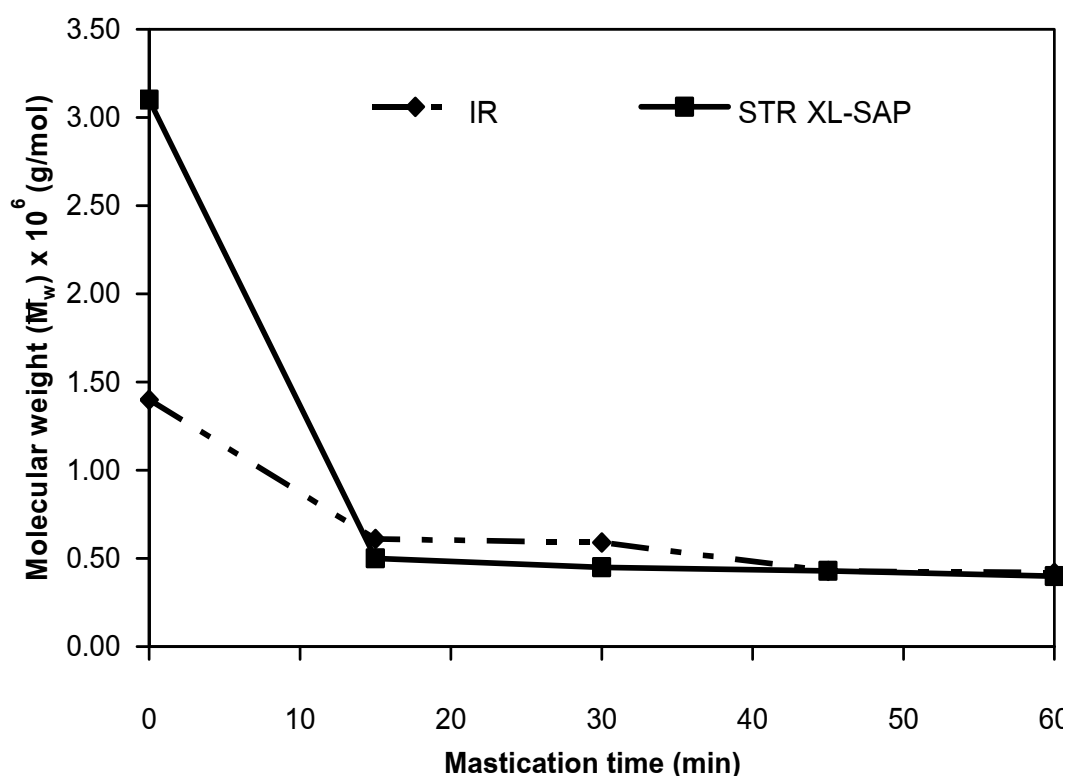
**รูปที่ 4.6** ลักษณะทางกายภาพของยางสังเคราะห์ไอโซพรีนที่ผ่านการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่อุณหภูมิ 150 °C ที่ระยะเวลาต่างๆ

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่ายางสังเคราะห์ไอโซพรีน เมื่อนำมาบดด้วยลูกกลิ้งร้อน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพได้ง่ายกว่ายางธรรมชาติ ดังรูปที่ 4.1 พบว่ายางสังเคราะห์ไอโซพรีน ใช้เวลาในการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งประมาณ 15 นาที ก็สามารถทำให้ยางเกิดไหล และมีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน กว่ายางการเปลี่ยนแปลงของยางธรรมชาติ เมื่อยางสังเคราะห์ IR ได้รับความพลังงานความร้อนและแรงเฉือนจากการบด เนื่องจากยางสังเคราะห์ IR มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าและความโปรตีนต่ำกว่ายางธรรมชาติมาก ทำให้เกิดส่วนเกี่ยวพันระหว่างสายโซ่โมเลกุลและพันธะของปลายสายโซ่โมเลกุลของยางต่ำ และจากการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสี จากรูปที่ 4.1 และ 4.6 จะเห็นได้ว่ายางสังเคราะห์ IR มีลักษณะเป็นสีเหลือง ใส และยางธรรมชาติ STR XL-SAP มีลักษณะสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากยางธรรมชาติมีองค์ประกอบส่วนที่ไม่ใช่ยางบางส่วน เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เป็นองค์ประกอบที่ปลายสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ เมื่อได้รับพลังงานความร้อน ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของสารประกอบเหล่านี้ ส่งผลให้ยางธรรมชาติมีสีน้ำตาลเข้ม

นำยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ตามหัวข้อที่ 3.3.3 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8-4.10

ตารางที่ 4.6 น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์ไอโซพรีนที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยเทคนิคการบด

ชนิดยาง	น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\overline{M}_w$ ) $\times 10^6$ (g/mol)					น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\overline{M}_n$ ) $\times 10^5$ (g/mol)					
	เวลา (นาที)	0	15	30	45	60	0	15	30	45	60
IR		1.40	0.61	0.59	0.43	0.42	4.55	2.69	2.19	1.87	1.63
STR XL-SAP		3.10	0.50	0.45	0.43	0.40	17.45	1.82	1.78	1.86	1.52

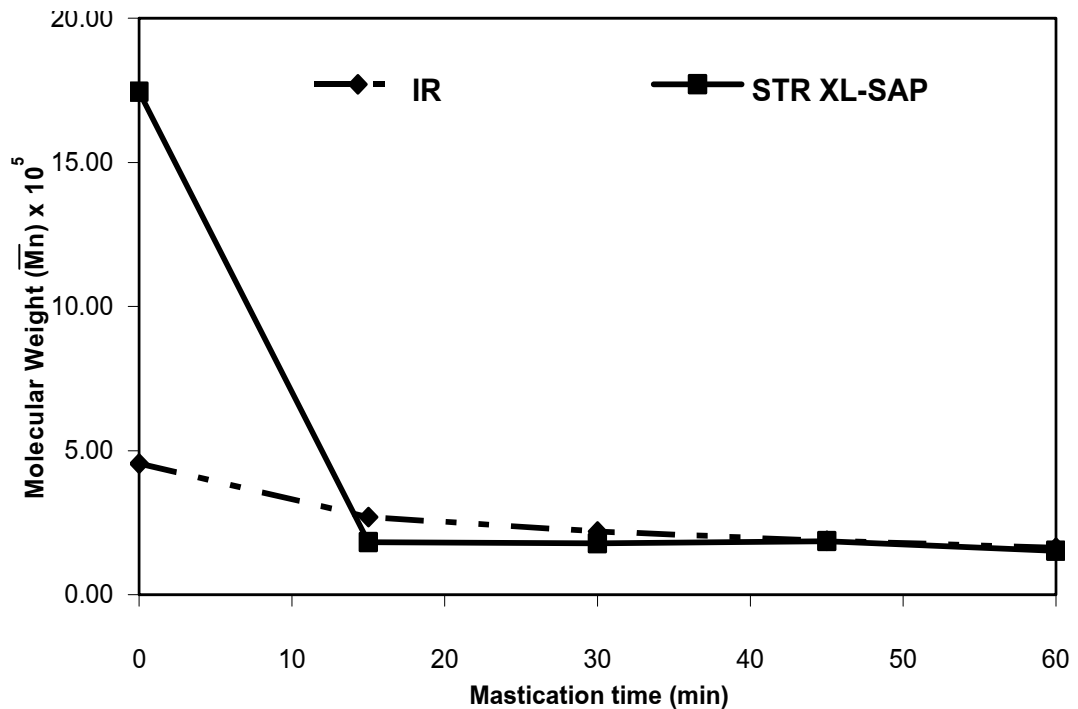


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\overline{M}_w$ ) ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\overline{M}_w$ ) ของยางหลังการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 150 °C พบว่ายาง STR XL-SAP และยางสังเคราะห์ไอโซพรีน มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\overline{M}_w$ ) เริ่มต้นแตกต่างกันมากซึ่งน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\overline{M}_w$ ) ของยาง STR XL-SAP มีค่าเท่ากับ  $3.10 \times 10^6$  กรัมต่อโมล และยางสังเคราะห์ไอโซพรีน มีค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตาม

$\overline{M}_w$ 

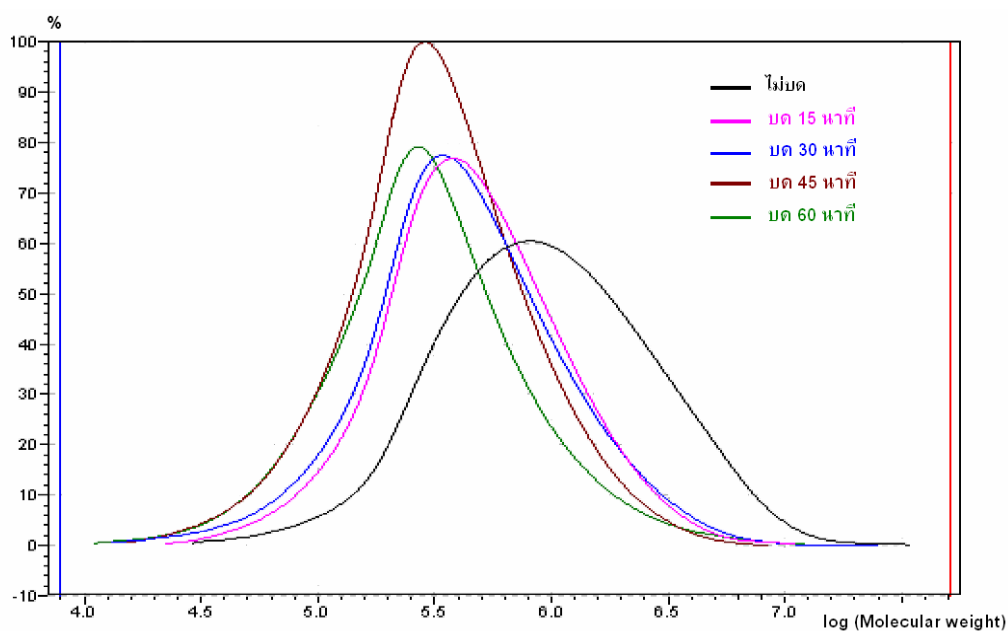
มนั้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\overline{M}_n$ ) ของยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\overline{M}_n$ ) ของยางหลังการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 150°C พบว่ายาง STR XL-SAP และยางสังเคราะห์ไอโซพรีน มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\overline{M}_n$ ) เริ่มต้นแตกต่างกันมาก ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\overline{M}_n$ ) ของยาง STR XL-SAP มีค่าเท่ากับ  $1.74 \times 10^6$  กรัมต่อโมล และยางสังเคราะห์ไอโซพรีน มีค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามจำนวน ( $\overline{M}_n$ ) มีค่าเท่ากับ  $4.55 \times 10^5$  กรัมต่อโมล จะเห็นว่าเมื่อผ่านกระบวนการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน พบว่าทั้งยางธรรมชาติและสังเคราะห์ไอโซพรีน มีค่าน้ำหนักโมเลกุลที่ไม่

$$\overline{M}_n \qquad \overline{M}_w$$



**รูปที่ 4.9** ความสัมพันธ์ของค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight distribution) ของยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ผ่านการบดเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าลักษณะการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ที่ไม่ผ่านการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน มีลักษณะการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลแบบ unimodal molecular weight แต่มีลักษณะกราฟค่อนข้างกว้าง ซึ่งบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของสายโซ่โมเลกุลและค่าน้ำหนักโมเลกุล มีค่าอยู่ในช่วงกว้าง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ STR XL-SAP ดังรูปที่ 4.4 พบว่าลักษณะการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลก่อนการบดจะแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ยางธรรมชาติให้กราฟการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล มีลักษณะเป็นแบบ bimodal molecular weight แต่เมื่อผ่านการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง อิทธิพลของแรงเฉือน และอุณหภูมิส่งผลให้ระดับของน้ำหนักโมเลกุลเกิดการกระจายอยู่ในช่วงที่แคบลง และมีความสม่ำเสมอของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ยาง STR XL-SAP มีลักษณะการกระจายค่าน้ำหนักโมเลกุลหลังการบดด้วยลูกกลิ้งร้อนเป็นแบบ unimodal molecular weight เหมือนกัน

### 4.3 การเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive, PSA)

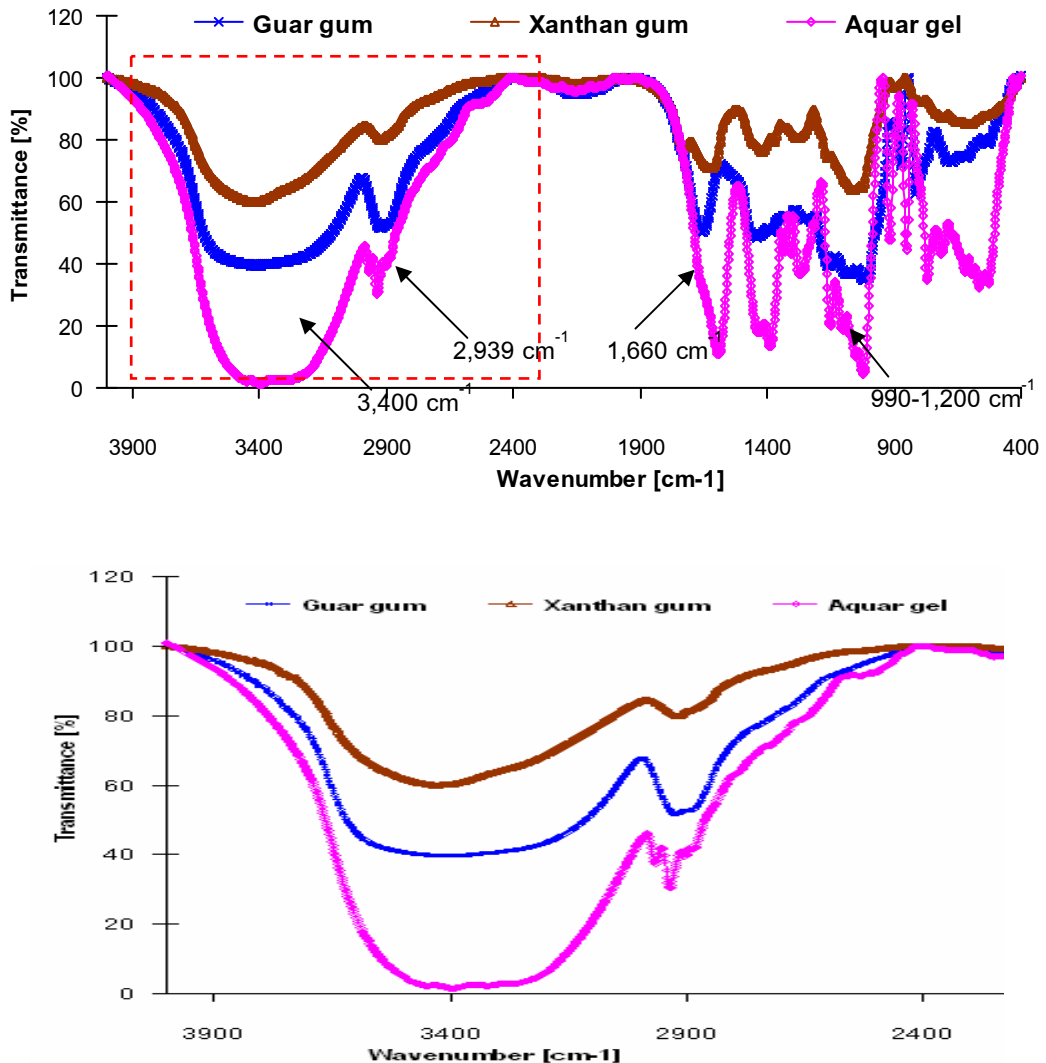
#### 4.3.1 วิเคราะห์สมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)

จากการศึกษาสมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยในการทดลองนี้จะใช้เกรด pharmaceutical grade ซึ่งผลิตมาจากพวก เมล็ดถั่ว และสาหร่าย โดยมีสมบัติพื้นฐานดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์

Properties	Hydrocolloids		
	Guar gum	Xanthan gum	Aqua gel
Colour	White/beige	White/beige	White/beige
Appearance	power	power	power
pH (1%w/w)	7.72	6.20	8.53
Viscosity (1% sol. In water) [cps]	1660	960	1708
Nitrogen (%)	<1.5	<1.5	<1.5

จากตารางที่ 4.7 สารไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมเป็นกาวไฮโดรคอลลอยด์ มีสมบัติพื้นฐานทางกายภาพไม่แตกต่างกัน โดยที่จะมีลักษณะ เป็นผงแป้งสีขาว แต่สมบัติทางฟิสิกส์ (physical properties) พบว่าค่า pH ของ อาควาเจล (aqua gel) มีค่าเท่ากับ 8.53 และกัวกัม (guar gum) มีค่า pH เท่ากับ 7.72 และแซนแทนกัม (xanthan gum) มีค่า pH เท่ากับ 6.20 ส่วนสมบัติแสดงค่าความหนืด พบว่า อาควาเจล (aqua gel) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,708 เซนติพอยส์ ส่วนแซนแทนกัม (xanthan gum) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 960 เซนติพอยส์ มีปริมาณของ ไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมีค่าต่ำกว่า 1.5% โดยน้ำหนัก เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของ สารไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังแสดงดังผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหมู่ฟังก์ชันของสารไฮโดรคอลลอยด์ ด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ดังรูปที่ 4.12



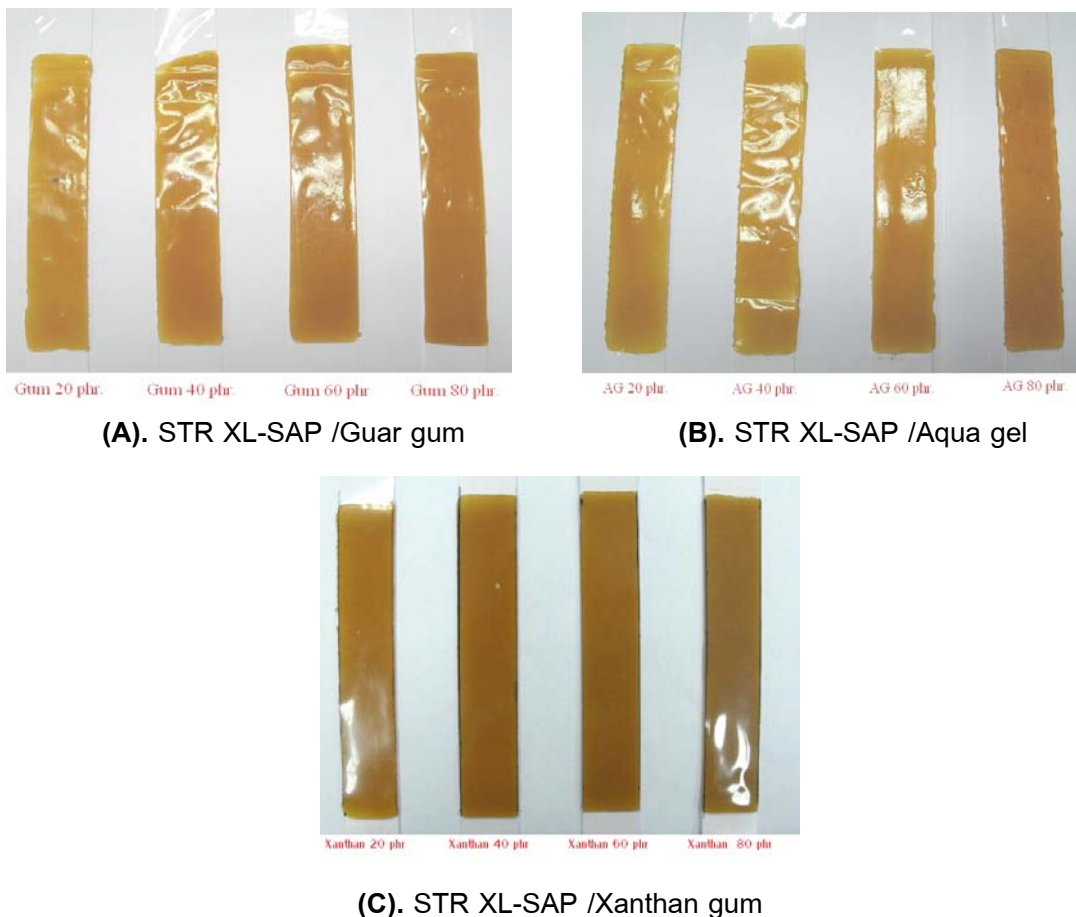
รูปที่ 4.10 แสดงแถบการดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชัน ของสารไฮโดรคอลลอยด์ ด้วยเทคนิค FT-IR

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ของหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของสารไฮโดรคอลลอยด์จะเห็นว่า แถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ  $3,400\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกถึงการสั่นเนื่องจากการดูดกลืนรังสีของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (Hydroxyl group,  $-\text{OH}$ ) เป็นการสั่นแบบ stretching ของสารไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิดมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน พบว่า สารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (aqua gel) มีปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบทางโครงสร้างทางเคมีสูงกว่าสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) และแซนแทนกัม (xanthan gum) ตามลำดับ ซึ่งจะแสดงถึงสมบัติการชอบน้ำ (Hydrophilic) ของอาควาเจล (aqua gel) สูงกว่ากัวกัม (guar gum) และแซนแทนกัม (xanthan gum) และตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $2,939\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนรังสี

#### **4.3.2 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อสมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้ทางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)**

เตรียมกาวทางธรรมชาติไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ตามหัวข้อที่ 3.3.4 โดยศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ นำทางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยวิธีการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ข้างต้น ทำการผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ กัวกัม (guar gum), แซนแทนกัม (xanthan gum) และ อากวาเจล (aqua gel) ที่แปรปริมาณสัดส่วนของสารไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 %โดยน้ำหนักยาง ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3.1 แล้วนำยางที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อที่ 3.3.5





(A). STR XL-SAP /Guar gum

(B). STR XL-SAP /Aqua gel

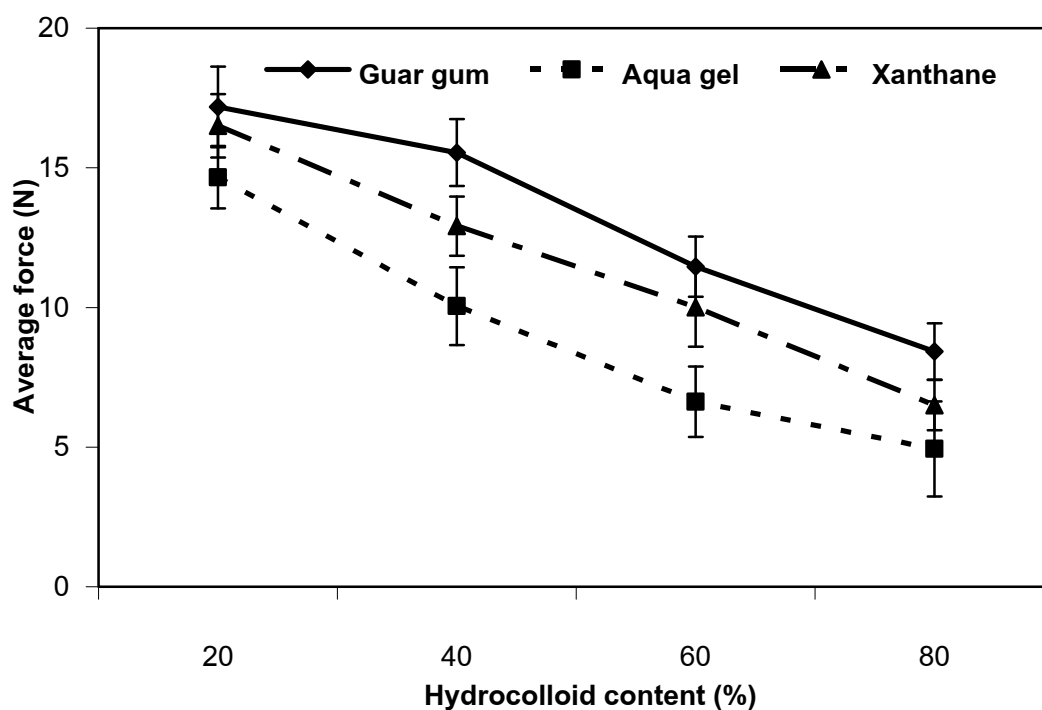
(C). STR XL-SAP /Xanthan gum

**รูปที่ 4.11** ลักษณะของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)

จากรูปที่ 4.11 ลักษณะของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ด้วยวิธีการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่มีอุณหภูมิ 150 °C พบว่ามีค่าระดับน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ดังตามตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1 ส่งผลให้มีลักษณะสมบัติการไหล และค่าความเหนียวที่ดี เหมาะสมต่อการเตรียมเป็นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด จะเห็นได้ว่ากาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมมาจากยางธรรมชาติ จะสีน้ำตาลค่อนข้างเข้ม เนื่องจากยางธรรมชาติที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธีการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน มีผลทำให้ส่วนที่ไม่ใช่ยางที่เป็นองค์ประกอบในยางธรรมชาติ เกิดการเสื่อมสภาพ (degradation) ส่งผลให้ยางมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาลเข้ม

ตารางที่ 4.8 สมบัติการดึงลอกออก (peel force) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำผสมปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ระดับต่างๆ

Hydrocolloids Content (%)	Peel force (N.)			
	20	40	60	80
Xanthan gum	16.50 ± 1.14	12.91 ± 10.6	10.00 ± 1.41	6.05 ± 0.90
Guar gum	17.18 ± 1.44	15.55 ± 1.20	11.46 ± 1.08	8.42 ± 1.01
Aqua gel	14.66 ± 1.12	10.05 ± 1.39	6.62 ± 1.26	4.94 ± 1.70

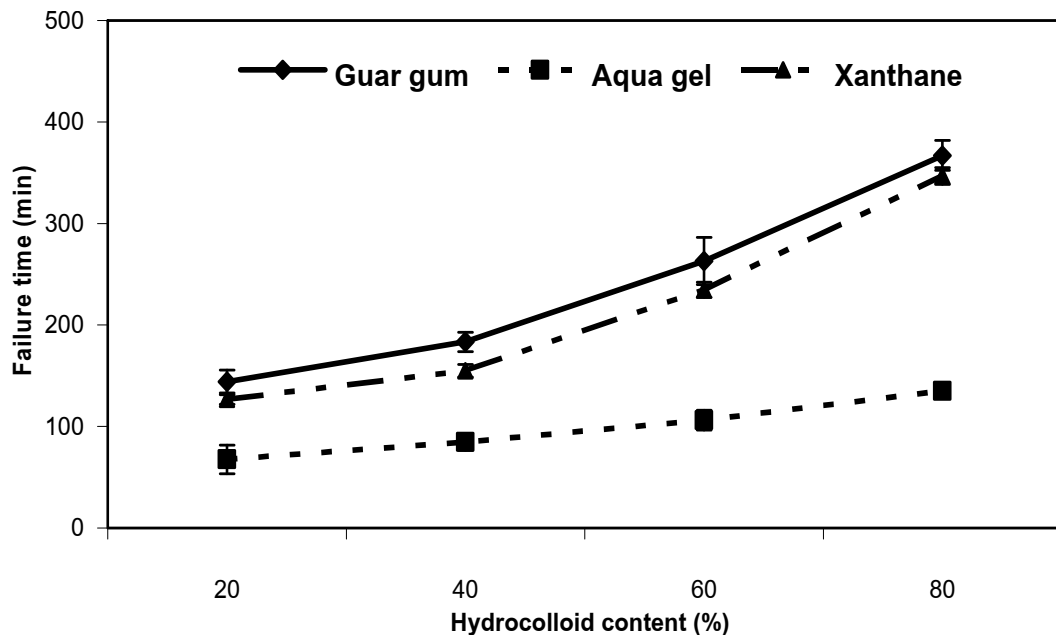


รูปที่ 4.12 แสดงคุณสมบัติการดึงลอกออก (peel) ของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)

จากรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.8 แรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel strength) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ออกจากแผ่นเหล็กสแตนเลส พบว่ากาวยางธรรมชาติที่ทำการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel strength) ของแผ่นกาวจากแผ่นเหล็กสแตนเลส มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองนำกาวไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้า มาทำการวิเคราะห์แรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel strength) พบว่ามีค่าแรงประมาณ 5-8 นิวตัน พบว่าปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ 80% เหมาะสมกับการเตรียมเป็นแผ่นการไฮโดรคอลลอยด์ จะเห็นว่ายางธรรมชาติที่ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) 80 % โดยน้ำหนัก มีค่าแรงที่ใช้ในการดึงลอกออกประมาณ 8 นิวตัน ส่วนผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ แซนแทนกัม (xanthan gum) 80 % โดยน้ำหนัก มีค่าแรงที่ใช้ในการดึงลอกออกประมาณ 6 นิวตัน และเมื่อผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ aqua gel 80 % โดยน้ำหนักมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงลอกออกประมาณ 5 นิวตัน

ตารางที่ 4.9 สมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ

Hydrocolloids Content (%)	Shear holding power (min)			
	20	40	60	80
Xanthan gum	126.67 ± 4.73	155.00 ± 6.24	234.67 ± 7.51	346.67 ± 8.33
Guar gum	144.33 ± 11.24	183.33 ± 9.61	263.00 ± 23.30	367.00 ± 14.80
Aqua gel	67.67 ± 14.01	84.67 ± 8.33	106.33 ± 9.71	135.00 ± 7.00

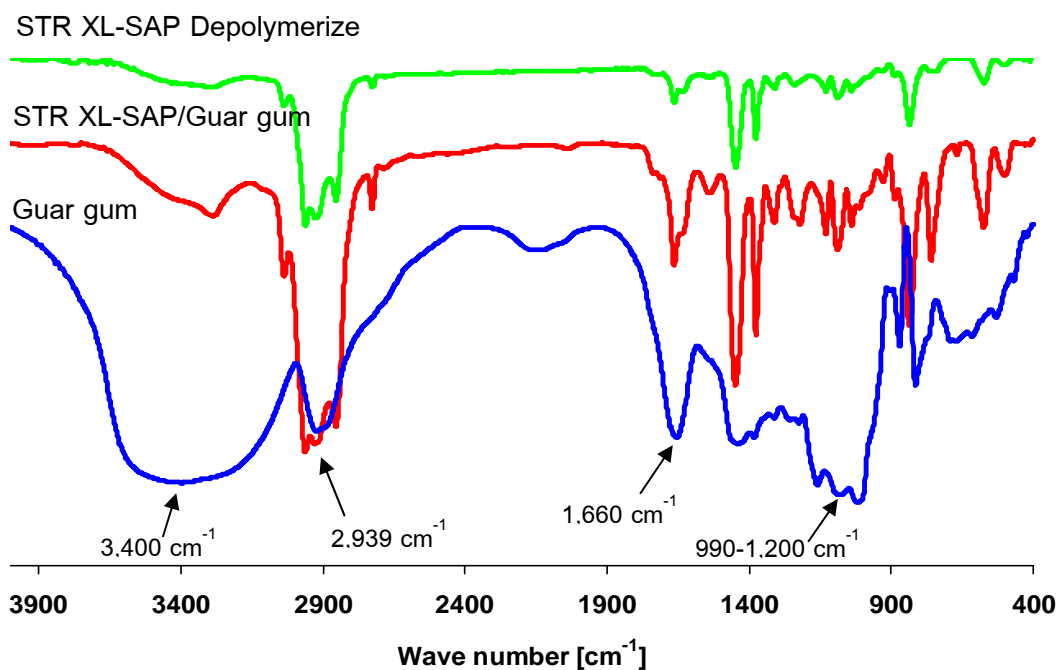


รูปที่ 4.13 แสดงคุณสมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)

จากรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.9 สมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ จะเห็นว่าเมื่อปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้กาวที่มีความแข็งแรงต่อการกระทำด้วยแรงเฉือนมากขึ้น ซึ่งจากการทดลอง นำแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ประเภทแผ่นทวารเทียม (Ostomy) ทางการค้า ยี่ห้อ Convatec เมื่อนำมาทดสอบสมบัติ พบว่าแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้า จะมีความแข็งแรงใช้ระยะเวลาในการต้านน้ำหนักถ่วง 0.5 กิโลกรัม มากกว่า 150 นาที และมีลักษณะของการหลุดออกจากแผ่นเหล็กแบบ peel ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติของกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติ พบว่า การผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ แซนแทนกัม (xanthan gum) หรือกัวกัม (guar gum) ที่ปริมาณ 40% โดยน้ำหนัก จะให้สมบัติความแข็งแรงต่อการกระทำด้วยแรงเฉือนมากกว่าหรือเทียบเท่าได้กับแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้า แต่ลักษณะของการหลุดออก (failure) เป็นแบบเฉือน (shear) คาดว่าเนื่องจากความแข็งแรงของแผ่นกาว (cohesive strength) ต่ำเนื่องจากอิทธิพลของการลดน้ำหนักโมเลกุล แต่พบว่าเมื่อปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) หรือกัวกัม (guar gum) ที่ใช้ในระดับ 60-80% โดยน้ำหนัก จะส่งผลทำให้ความแข็งแรงของตัวกาว (cohesive strength) เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้น และลักษณะของการออก (failure) เกิดแบบลอก (peel) คาดว่าปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้น จะช่วยเสริมแรงให้กับยาง ส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์อควาเจล (aqua gel) พบว่ากาวไฮโดร

ลุ่มก่อนขนาด

ใหญ่ เกิดขึ้น ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัส ที่ใช้ในการยึดติดน้อย ก่อให้เกิดการคืบต่ำ

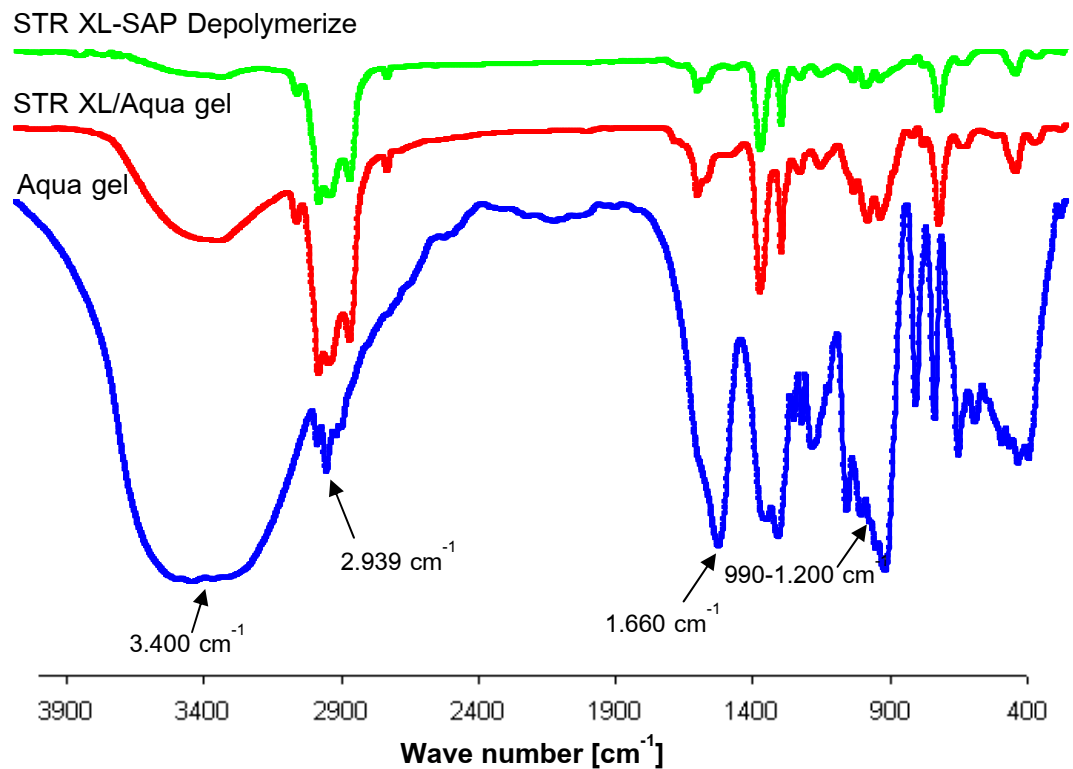


รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ guar gum 80 % โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.14 กราฟแสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (IR) ของการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบทางเคมีของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) 80 % โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถเพิ่มปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ให้กับกาวไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งจะเห็นว่าสเปกตรัมปรากฏแถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $3,400\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เป็นการสั่นแบบ stretching ของกาวยางเพิ่มขึ้น แสดงถึงการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ให้กับแผ่นกาวยางธรรมชาติ และตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $2,939\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ C-H ของหมู่  $-\text{CH}_2$  เกิดการสั่นแบบ stretching และตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ  $1,660\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนของการสั่นของวงแหวน galactose

ในช่วง 990-1,200  $\text{cm}^{-1}$

บ่งบอกถึงปริมาณของ Saccharides (Wang and Somasundaran, 2007)

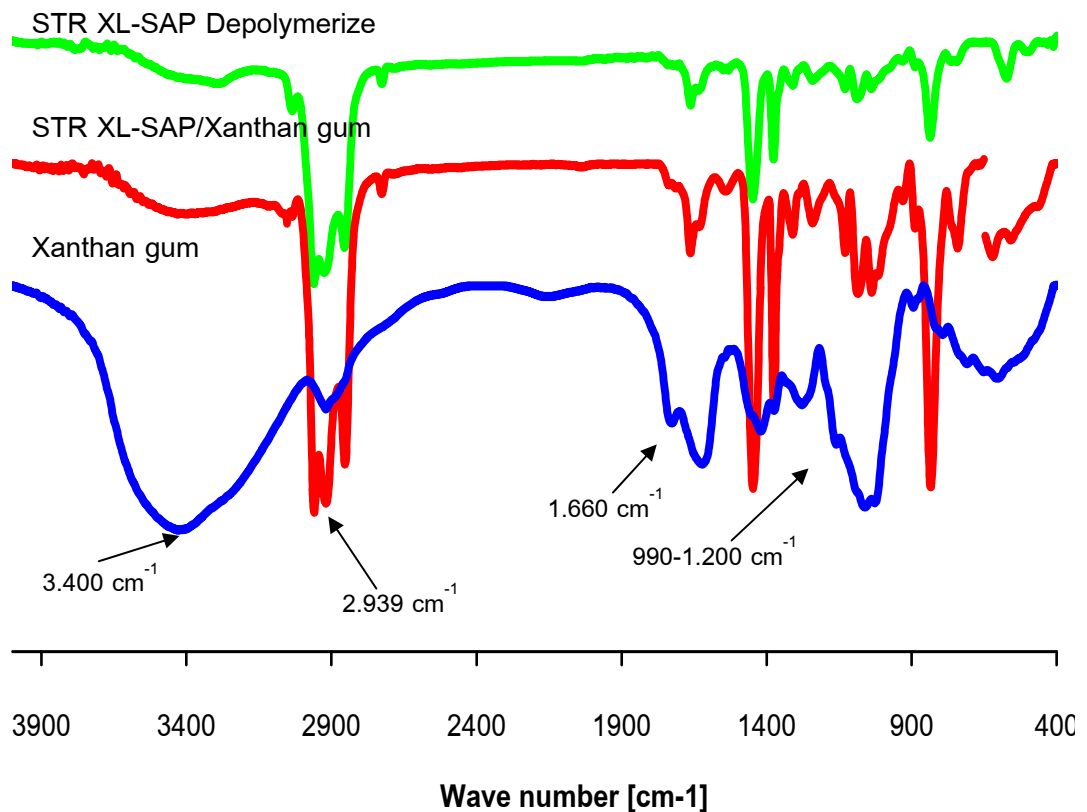


**รูปที่ 4.15** แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ aqua gel 80% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.15 กราฟแสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (IR) ของการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบทางเคมีของกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์อควาเจล (aqua gel) 80% โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถเพิ่มปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ให้กับกาวไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งจะเห็นว่าสเปกตรัมปรากฏแถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $3,400 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดพันธะของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เป็นการสั่นแบบ stretching ของกาวยางที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ให้กับแผ่นกาวยางธรรมชาติ และตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $2,939 \text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ C-H ของหมู่  $-\text{CH}_2$  เกิดการสั่นแบบ stretching และตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ  $1,660 \text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนของการสั่นของวงแหวน galactose และวงแหวน mannose

คลื่น 990-1,200  $\text{cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงปริมาณของ Saccharides

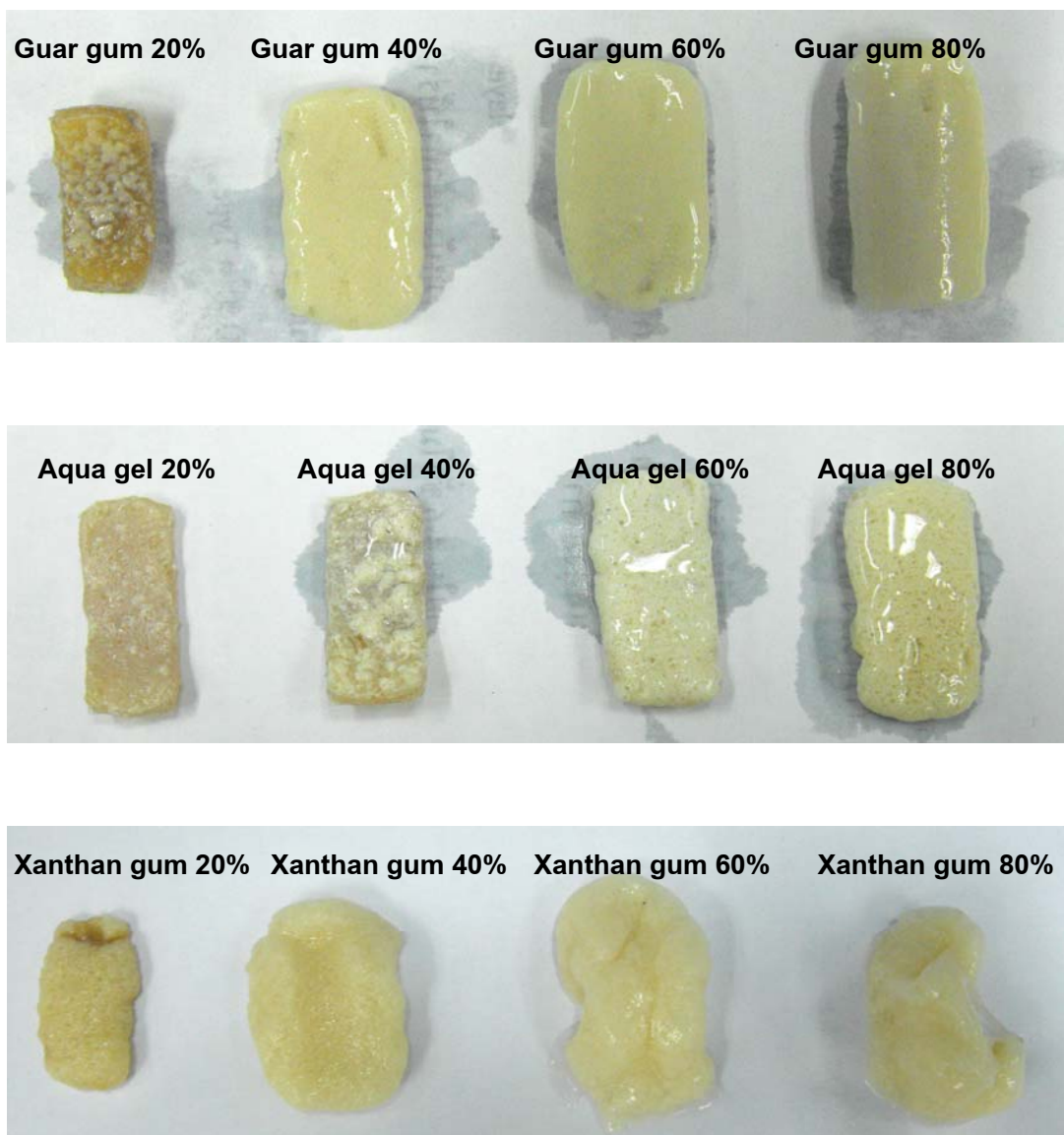
(Wang and Somasundaran, 2007)



**รูปที่ 4.16** แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำผสม สารไฮโดรคอลลอยด์ xanthan gum 80%

จากรูปที่ 4.16 กราฟแสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (IR) ของการวิเคราะห์เป็น องค์ประกอบทางเคมีของกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ผ่านการลด น้ำหนักโมเลกุลร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) 80 % โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถเพิ่มปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ให้กับกาวไฮโดร คอลลอยด์ ซึ่งจะเห็นว่าสเปกตรัมปรากฏแถบการดูดกลืนที่มีความยาวคลื่น  $3,400 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่ง บอการเกิดการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เป็นการสั่นแบบ stretching ของกาวยาง แสดง ถึงการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ให้กับแผ่นกาวยางธรรมชาติ และตำแหน่งการ ดูดกลืนที่มีความยาวคลื่น  $2,939 \text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ C-H ของหมู่  $-\text{CH}_2$  เกิดการสั่นแบบ stretching และตำแหน่งการดูดกลืนที่มีความยาวคลื่น ประมาณ  $1,660 \text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนของการสั่นของวงแหวน galactose และวง

0-1,200  $\text{cm}^{-1}$  ป่งบอกถึงปริมาณของ Saccharides (Wang and Somasundaran, 2007)



**รูปที่ 4.17** แสดงลักษณะการดูดซับน้ำของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกดเตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)

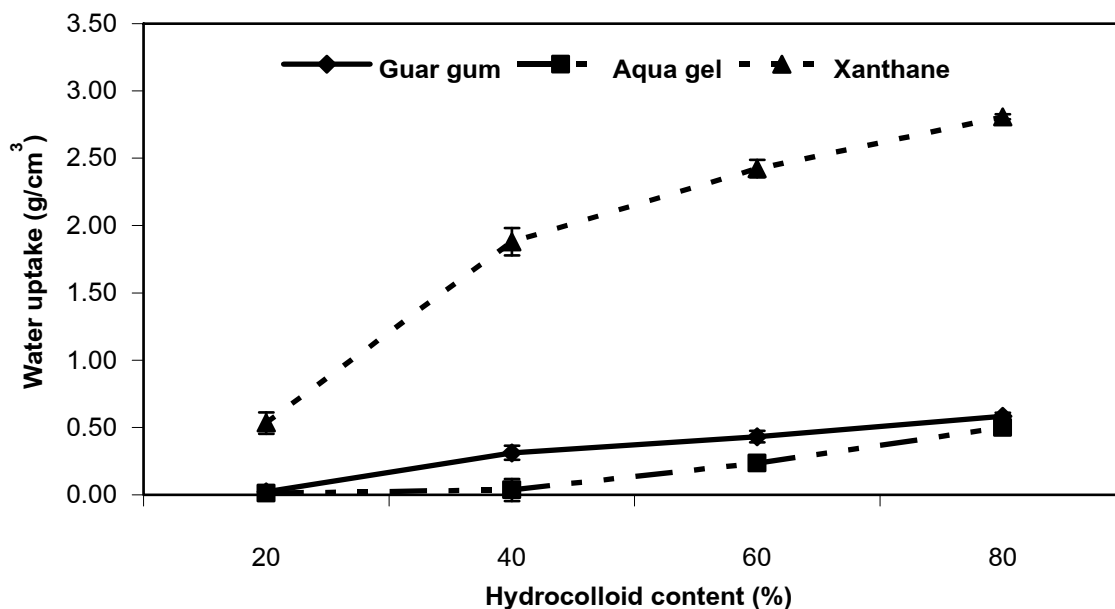
จากรูปที่ 4.17 ลักษณะการดูดซับน้ำ (water uptake) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล จะเห็นว่ากาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่ประกอบด้วยสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) เพิ่มความสามารถการดูดซับน้ำให้กับยางธรรมชาติได้ดีที่สุด จะเห็นว่าที่



งใช้ปริมาณถึง 60 % โดย  
น้ำหนัก จึงจะทำให้กาวยางมีสมบัติการดูดซับน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ

**ตารางที่ 4.10** สมบัติการดูดซับน้ำ (water uptake) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิด  
ที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ

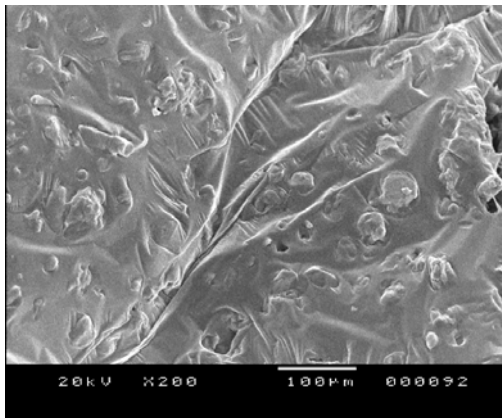
Hydrocolloids	Water uptake (g/cm <sup>3</sup> )				
	Content (%)	20	40	60	80
Xanthan gum		0.53 ± 0.00	1.88 ± 0.07	2.42 ± 0.06	2.81 ± 0.06
Guar gum		0.02 ± 0.00	0.31 ± 0.01	0.43 ± 0.05	0.58 ± 0.01
Aqua gel		0.01 ± 0.00	0.04 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.50 ± 0.02



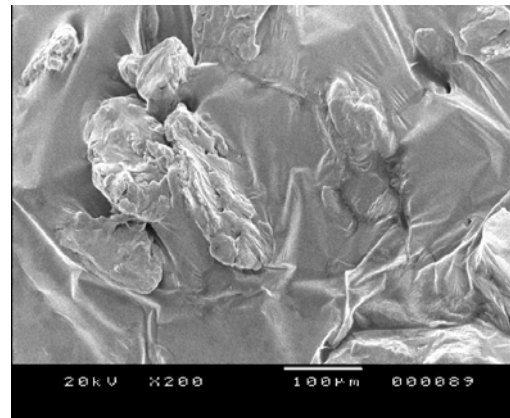
**รูปที่ 4.18** แสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรง  
กด ที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP)

ว

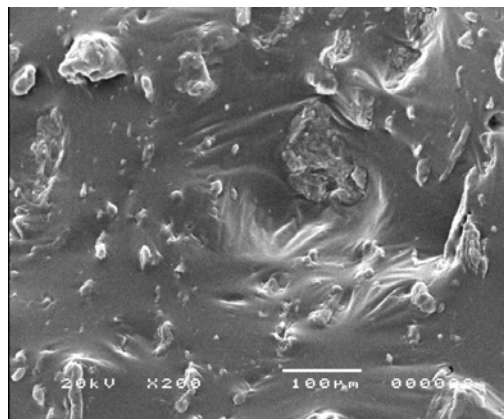
0.53 g/cm<sup>3</sup> ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) และอาควาเจล (aqua gel) ให้สมบัติการดูดซับน้ำแตกต่างกับการใช้แซนแทนกัม (xanthan gum) อย่างชัดเจน



(A). STR XL-SAP/Guar gum 80%



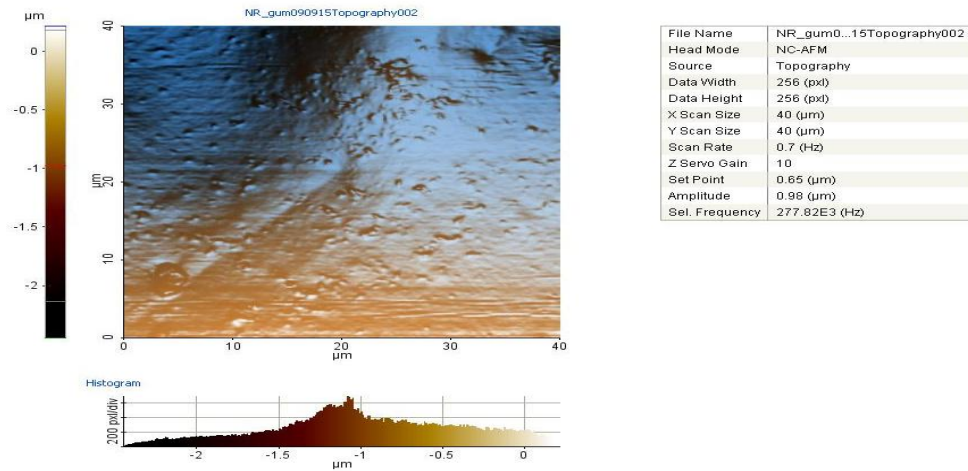
(B). STR XL-SAP/Aqua gel 80%



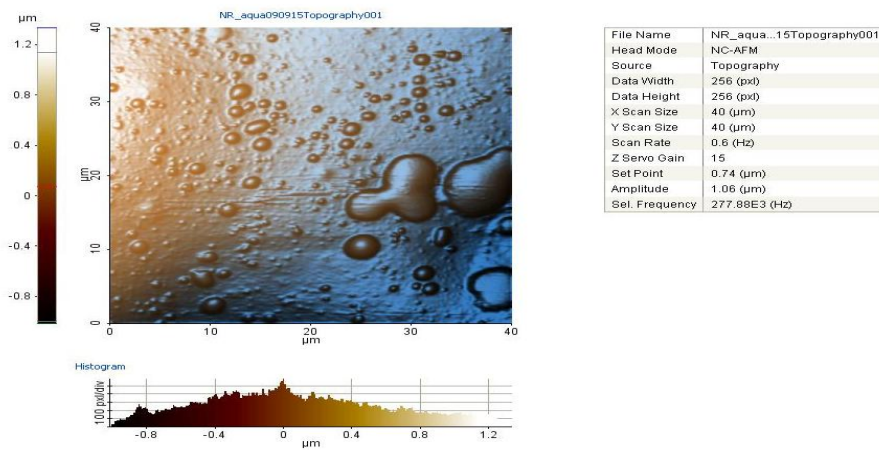
(C). STR XL-SAP/Xanthan gum 80%

**รูปที่ 4.19** แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์กับยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP) โดยการวิเคราะห์ด้วย SEM กำลังขยาย 200 เท่า

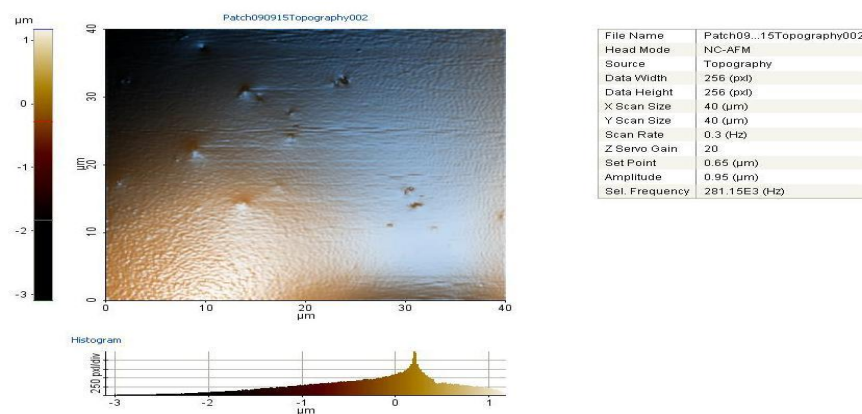
จากรูปที่ 4.19 ลักษณะทางสัณฐานทางวิทยาของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่ทำการเตรียมจากยางธรรมชาติน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่ปริมาณ 80 % โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) เมื่อผสมเข้ากับยาง จะเห็นว่ากัวกัม (guar gum) สามารถกระจายตัว และมีขนาดของอนุภาคอย่างสม่ำเสมอในยางธรรมชาติ ส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์ ชนิดอากวาเจล (aqua gel) สารไฮโดรคอลลอยด์เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดใหญ่ คาดว่าเนื่องจากอากวาเจล (aqua gel) มีความชอบน้ำสูง จึงมีความว่องไวต่อความชื้นในบรรยากาศ ส่งผลให้อากวาเจล (aqua gel) เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนกัน และจะเห็นว่าแซนแทนกัม (xanthan gum) สามารถเข้ากับเนื้อยางได้ดี มีการกระจายเป็นอนุภาคเล็กสม่ำเสมอ ส่งผลทำให้กาวยางที่เตรียมจากแซนแทนกัม (xanthan gum) มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการยึดติดกับวัสดุอื่นได้มากกว่ากับสารใช้สารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) และอากวาเจล (aqua gel) และผลจากการกระจายตัวที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวของไฮโดรคอลลอยด์ ในการดูดซับน้ำสูงไปด้วย



(A). STR XL-SAP/Guar gum 80%



(B). STR XL-SAP/Aqua gel 80%



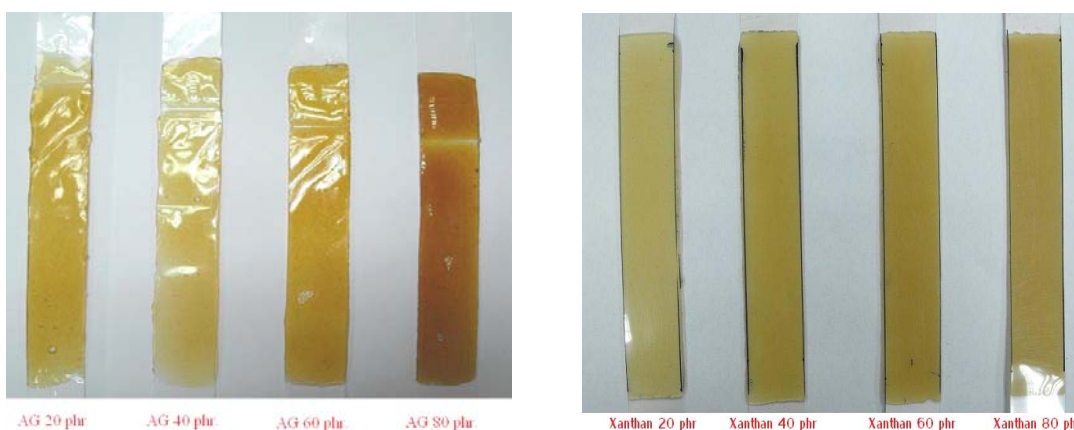
(C). STR XL-SAP/Xanthan gum 80%

รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์กับยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP) โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

จากรูปที่ 4.20 ลักษณะพื้นที่ผิวของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่ทำการเตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ปริมาณ 80 % โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) เมื่อผสมเข้ากับยาง จะเห็นว่าแซนแทนกัม (xanthan gum) สามารถกระจายตัวและเข้ากับเนื้อยางได้ดี ในยางธรรมชาติ ส่วนสารไฮโดรคอลลอยด์อาควาเจล (aqua gel) สารไฮโดรคอลลอยด์เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดใหญ่ คาดว่าเนื่องจากอาควาเจล (aqua gel) มีความชอบน้ำสูง จึงมีความว่องไวต่อความชื้นในบรรยากาศ ส่งผลให้อาควาเจล (aqua gel) เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน โผล่ออกมาจากพื้นผิวของกาว และการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) เตรียมเป็นแผ่นกาว พบว่าเมื่อทำการผสมกับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ สารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กบริเวณพื้นผิว กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งบ่งบอกความเข้ากับยางได้น้อยกว่าแซนแทนกัม (xanthan gum)

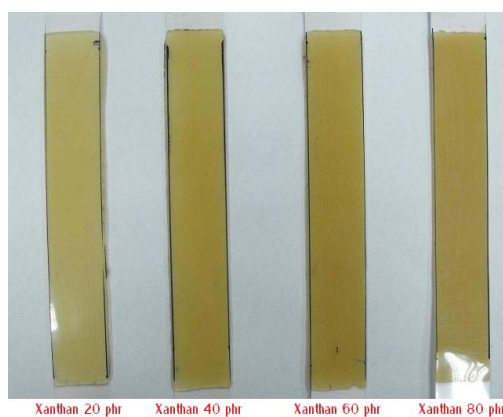
### 4.3.3 อิทธิพลของชนิดและปริมาณสารไฮโดรคอลลอยด์ ต่อสมบัติแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้อย่างสังเคราะห์

เตรียมกาวอย่างสังเคราะห์ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดไวต่อแรง ตามหัวข้อที่ 3.3.4 โดยศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ นำยางที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล ด้วยวิธีการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ข้างต้น ทำการผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ กัวร์กัม (guar gum), กัวร์กัม (guar gum) และอาควาเจล (aqua gel) ที่แปรปริมาณสัดส่วนของสารไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 3 ชนิด ที่ปริมาณ 20, 40, 60 และ 80 % โดยน้ำหนักยาง ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3.1 แล้วนำยางที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติตามหัวข้อที่ 3.3.5



(A). IR/Guar gum

(B).IR/Aqua gel



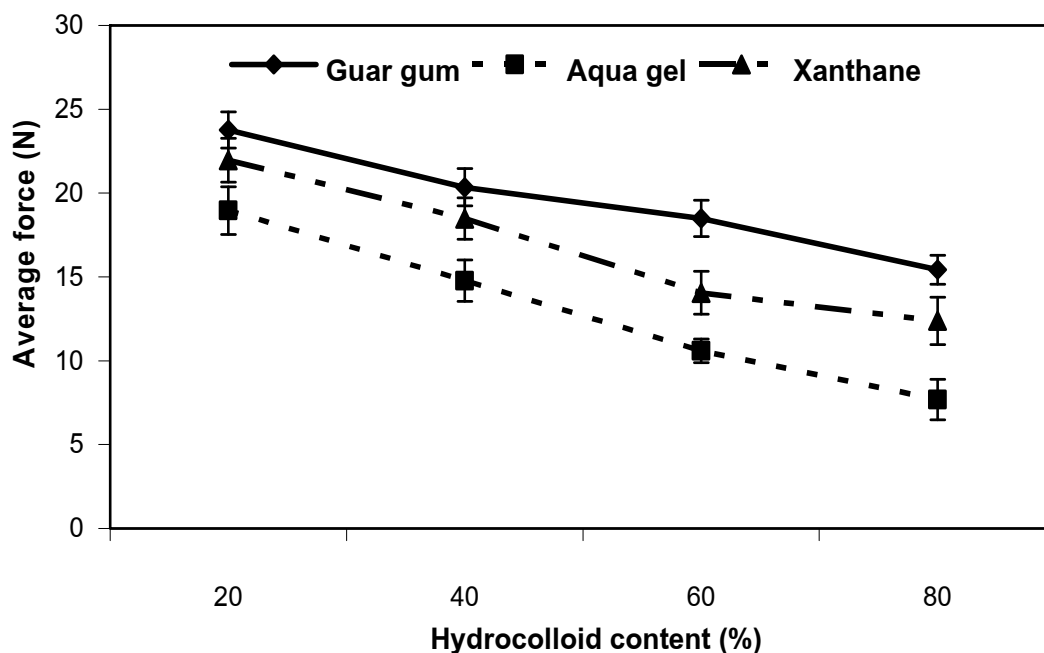
(C). IR/Xanthan gum

**รูปที่ 4.21** ลักษณะของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน

จากรูปที่ 4.21 ลักษณะของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน น้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วยเทคนิคการบดด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้ง (2-rolls mill) ที่มีอุณหภูมิ 150 °C พบว่ายังมีค่าระดับน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ดังตามตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 ส่งผลให้มีลักษณะสมบัติการไหล และค่าความเหนียวเพิ่มขึ้น มาเตรียมเป็นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด จะเห็นได้ว่ากาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน มีลักษณะสีน้ำตาลอ่อนกว่ากาวที่เตรียมมาจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

**ตารางที่ 4.11** สมบัติการดึงลอกออก (peel force) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ

Hydrocolloids	Peel force (N.)			
	20	40	60	80
Xanthan gum	21.9 ± 1.314	18.48 ± 1.24	14.05 ± 1.27	12.38 ± 1.42
Guar gum	23.77 ± 1.07	20.35 ± 1.11	18.48 ± 1.08	15.43 ± 0.86
Aqua gel	18.96 ± 1.43	14.78 ± 1.24	10.59 ± 0.71	7.68 ± 1.21



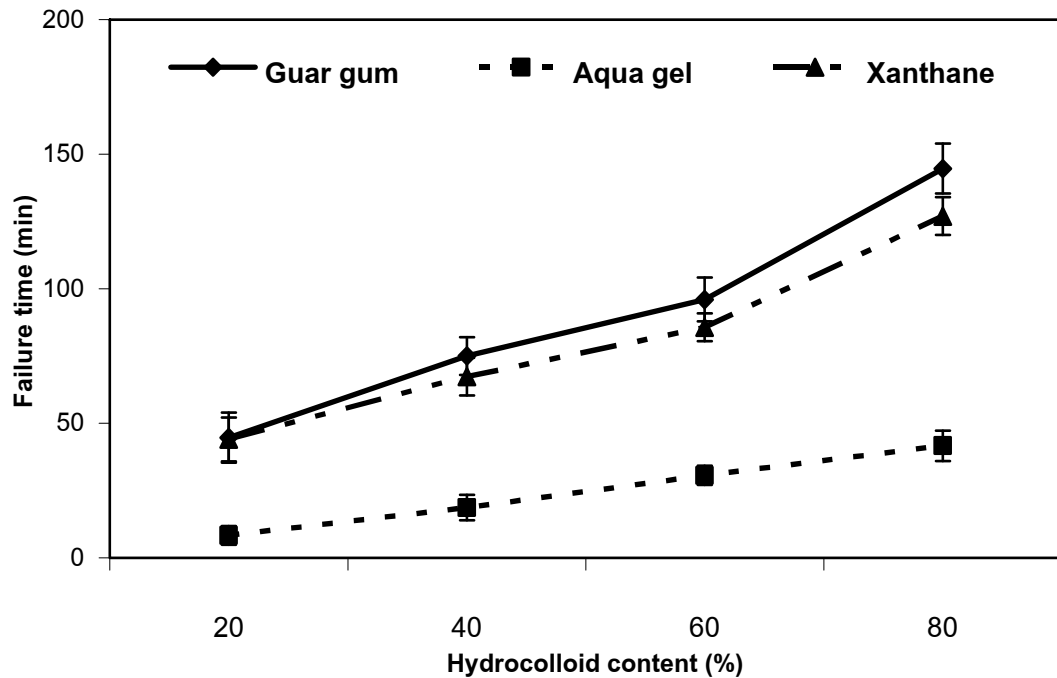
**รูปที่ 4.22** แสดงคุณสมบัติการดึงลอกออก (peel) ของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน

จากรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.11 แรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel strength) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไฮโซพรีน ออกจากแผ่นเหล็กสแตนเลส พบว่าแผ่นกาวยางสังเคราะห์ไฮโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel strength) ของแผ่นกาว จากแผ่นเหล็ก มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองนำกาวไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้า ชนิด Ostomy ยี่ห้อ Convatec มาทำการวิเคราะห์แรงที่ใช้ในการดึงลอกออก (peel strength) พบว่ามีค่าแรงประมาณ 5-8 นิวตัน พบว่ากาวไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ผสมกัวกัม (guar gum) 80% โดยน้ำหนัก มีค่าแรงที่ใช้ในการดึงลอกออกประมาณ 15 นิวตัน ส่วนผสมสารแซนแทนกัม (xanthan gum) 80% โดยน้ำหนัก มีค่าแรงที่ใช้ในการดึงลอกออกประมาณ 7 นิวตัน และเมื่อผสมสารไฮโดรคอลลอยด์อควาเจล (aqua gel) 80% โดยน้ำหนัก มีค่าแรงที่ใช้ในการดึงลอกออกประมาณ 5 นิวตัน จะเห็นได้ว่าสมบัติการดึงลอกออกของกาวยางสังเคราะห์ ต้องใช้แรงที่สูงกว่ากาวยางธรรมชาติ ที่ปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์เดียวกัน

ตารางที่ 4.12 สมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไฮโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ

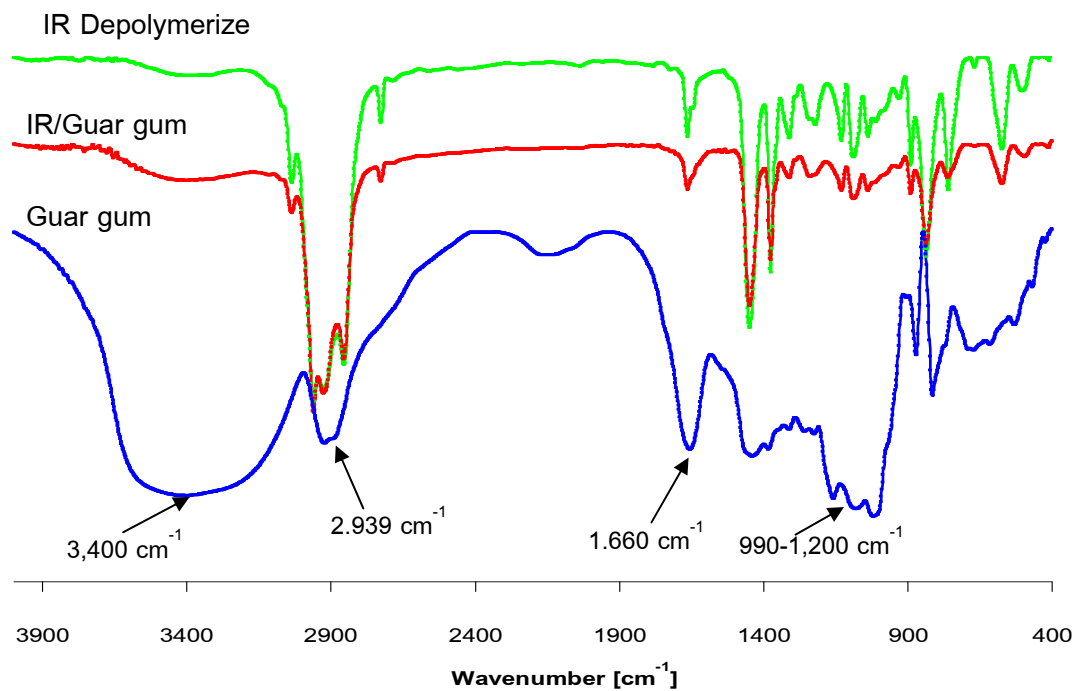
Hydrocolloids Content (%)	Shear holding power (min)			
	20	40	60	80
Xanthan gum	44.00 ± 8.19	67.33 ± 7.02	85.67 ± 5.13	127.00 ± 7.00
Guar gum	44.67 ± 9.29	75.00 ± 7.00	96.00 ± 8.19	144.67 ± 9.29
Aqua gel	8.33 ± 3.51	18.67 ± 4.73	30.67 ± 3.51	41.67 ± 5.69





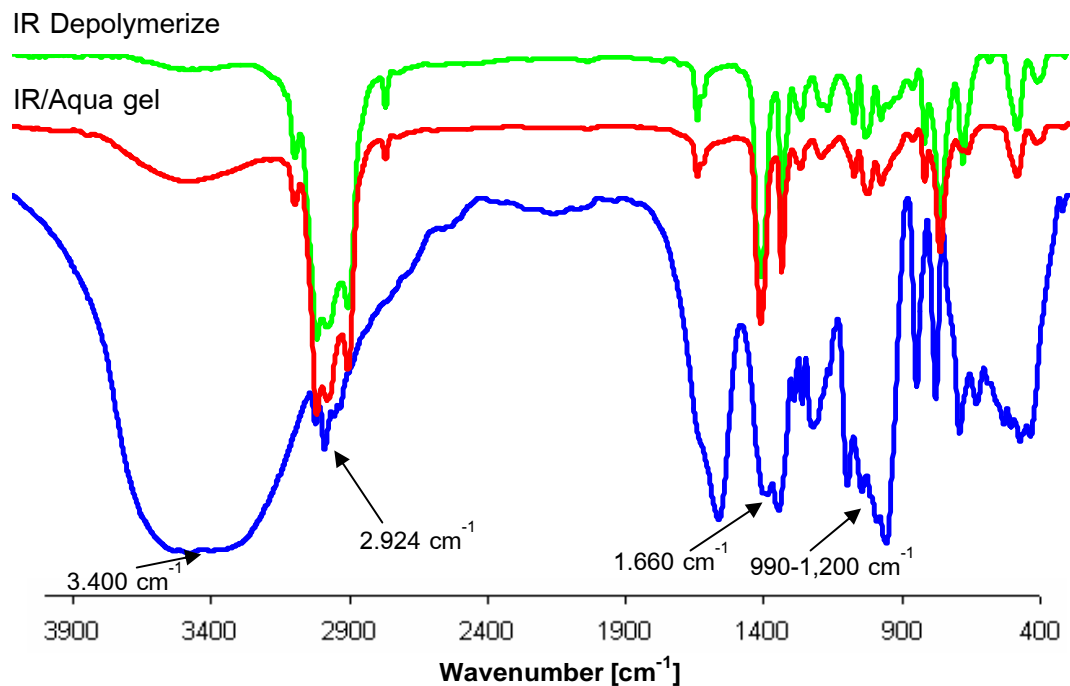
รูปที่ 4.23 แสดงคุณสมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไฮโซพรีน

จากรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.12 สมบัติการคืบ (shear holding power) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไฮโซพรีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะเห็นว่าเมื่อปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้กาวยางมีสมบัติการคืบมากขึ้น ซึ่งจากการทดลอง นำแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้า ชนิด Ostomy ยี่ห้อ Convatec เมื่อนำมาทดสอบสมบัติ พบว่าแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้า จะมีค่าการคืบใช้ระยะเวลาในการต้านน้ำหนักถ่วง 0.5 กิโลกรัม มากกว่า 150 นาที และมีลักษณะของการหลุดออก (failure) แบบลอก (peel) ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสมบัติของกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมได้จากยางสังเคราะห์ไฮโซพรีน พบว่าการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) หรือกัวกัม (guar gum) จะมีค่าการคืบด้วยน้ำหนักถ่วงสูงกว่าการผสมสารอาควาเจล (aqua gel) คาดว่าเนื่องจากสาร aqua gel มีสมบัติความชอบน้ำสูง เกิดการดูดซับความชื้นในบรรยากาศ ทำให้สาร aqua gel เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เมื่อผสมเข้ากับยาง ส่งผลให้มีพื้นที่ผิวสัมผัส ที่ใช้ในการยึดติดน้อย ก่อให้เกิดการคืบต่ำ และจะเห็นได้ว่าการใช้ยางสังเคราะห์ไฮโซพรีนที่ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล มาเตรียมเป็นแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด มีสมบัติการคืบต่ำกว่าแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ทางการค้า และมีลักษณะของการหลุดออกเป็นแบบเฉือน (shear) คาดว่าเนื่องจากความแข็งแรงของแผ่นกาว (cohesive strength) ต่ำเนื่องจากอิทธิพลของการลด



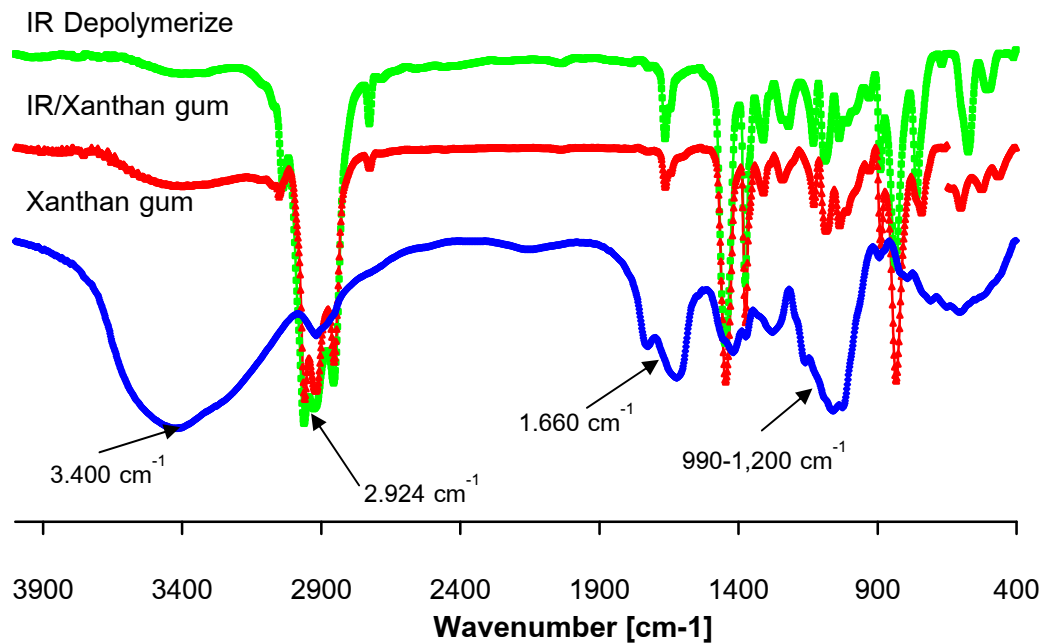
**รูปที่ 4.24** แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ guar gum 80% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.24 กราฟแสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (IR) ของการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบทางเคมีของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) 80% โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถเพิ่มปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ให้กับกาวไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งจะเห็นว่าสเปกตรัมปรากฏแถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 3,400  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกการเกิดการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เป็นการสั่นแบบ stretching ของแผ่นกาวเพิ่มขึ้น แสดงถึงการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ให้กับยางธรรมชาติและตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 2,939  $\text{cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ C-H ของหมู่  $-\text{CH}_2$  เกิดการสั่นแบบ stretching และตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ 1,660  $\text{cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนของการสั่นของวงแหวน galactose และวงแหวน



รูปที่ 4.25 แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ aqua gel 80% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.25 กราฟแสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (IR) ของการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบทางเคมีของกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์อควาเจล (aqua gel) 80% โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถเพิ่มปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญให้กับกาวไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งจะเห็นว่าสเปกตรัมปรากฏแถบการดูดกลืนที่มีความยาวคลื่น  $3,400\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เป็นการสั่นแบบ stretching ของแผ่นกาว แสดงถึงการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำ (hydrophilic) ให้กับยางธรรมชาติและตำแหน่งการดูดกลืนที่มีความยาวคลื่น  $2,939\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ C-H ของหมู่  $-\text{CH}_2$  เกิดการสั่นแบบ stretching และตำแหน่งการดูดกลืนที่มีความยาวคลื่นประมาณ  $1,660\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนของการสั่นของวงแหวน galactose และวงแหวน mannose เกิดการสั่นแบบ stretching และปรากฏตำแหน่งการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น  $990\text{-}1,200\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงปริมาณของแซคคาไรด์ (saccharides) (Wang and Somasundaran, 2007)

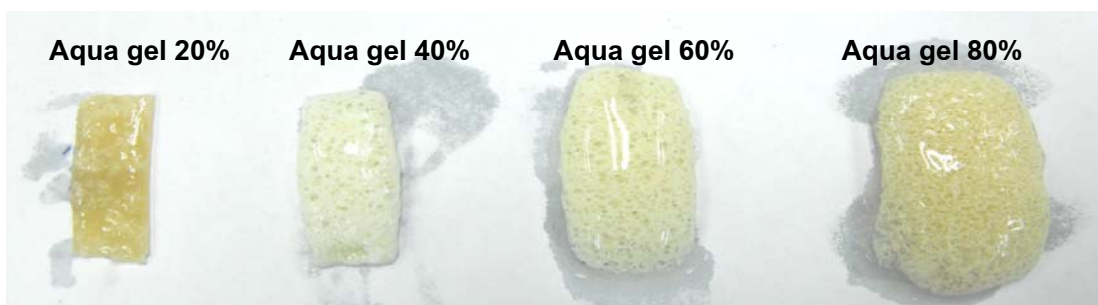
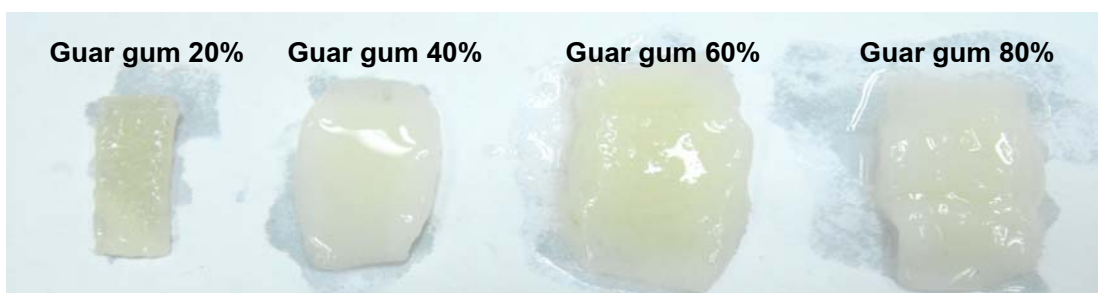


**รูปที่ 4.26** แสดงลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของกาว จากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ xanthan gum 80% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.26 กราฟแสดงแถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของการวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบทางเคมีของกาวไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) 80% โดยน้ำหนัก พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์สามารถเพิ่มปริมาณของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญให้กับกาวไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งเห็นว่าสเปกตรัมปรากฏแถบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $3,400\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งบ่งบอกถึงการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) เป็นการสั่นแบบ stretching แสดงถึงการเพิ่มสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) ให้กับยางธรรมชาติและตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น  $2,939\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของพันธะ C-H ของหมู่  $-\text{CH}_2$  เกิดการสั่นแบบ stretching และตำแหน่งการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ  $1,660\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงการเกิดการดูดกลืนของการสั่นของวงแหวน galactose และวงแหวน mannose เกิดการสั่นแบบ stretching และปรากฏตำแหน่งการดูดกลืนที่ช่วงความยาวคลื่น  $990\text{-}1,200\text{ cm}^{-1}$  บ่งบอกถึงปริมาณของแซคคาไรด์ (saccharides) (Wang and Somasundaran, 2007)

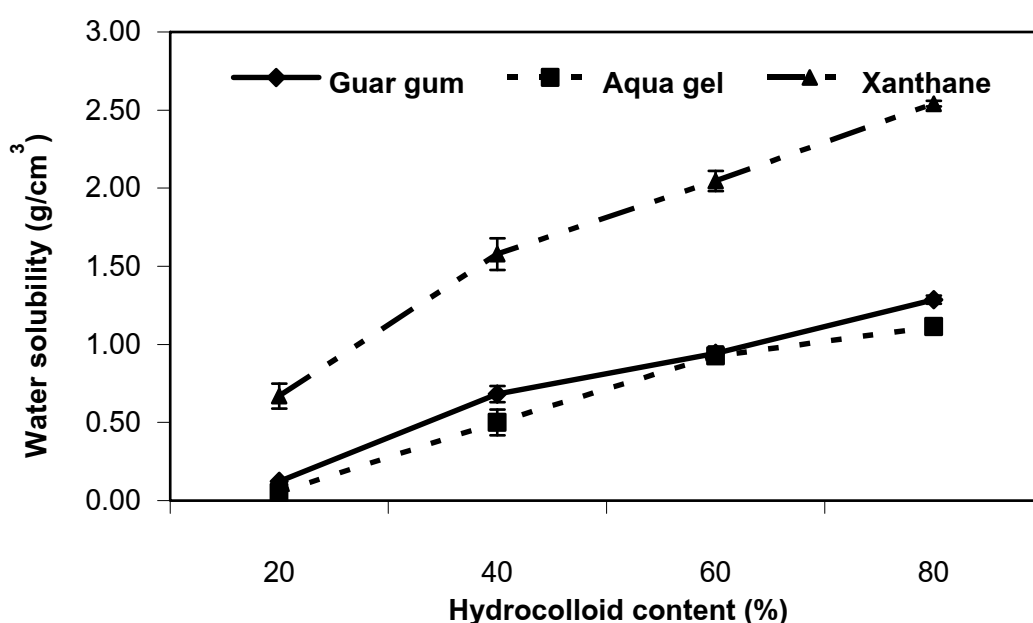
ตารางที่ 4.13 สมบัติการดูดซับน้ำ (water uptake) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน ผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณระดับต่างๆ

Hydrocolloids Content (%)	Water uptake (g/cm <sup>3</sup> )			
	20	40	60	80
Xanthan gum	0.67 ± 0.08	1.58 ± 0.10	2.05 ± 0.07	2.54 ± 0.02
Guar gum	0.12 ± 0.00	0.68 ± 0.05	0.94 ± 0.04	1.29 ± 0.03
Aqua gel	0.05 ± 0.00	0.50 ± 0.08	0.93 ± 0.05	1.11 ± 0.04



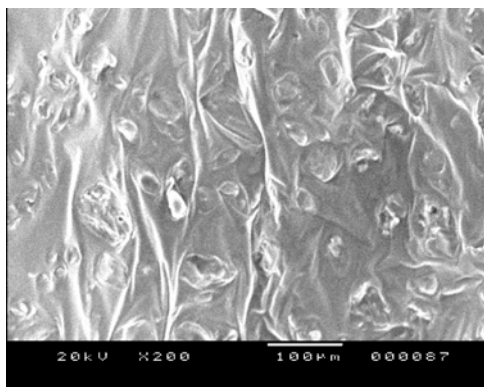
รูปที่ 4.27 แสดงลักษณะการดูดซับน้ำของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน

จากรูปที่ 4.27 ลักษณะการดูดซับน้ำ (water uptake) ของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะเห็นว่ากาวไฮโดรคอลลอยด์ ผสมแซนแทนกัม (xanthan gum) เพิ่มสามารถการดูดซับน้ำให้กับยางสังเคราะห์ได้ดีที่สุด จะเห็นว่าที่ปริมาณของแซนแทนกัม (xanthan gum) 20 % โดยน้ำหนัก ทำให้แผ่นกาวยางดูดซับน้ำได้สม่ำเสมอทั้งตัวอย่าง และรองลงมาเป็นการผสมกัวกัม (guar gum) จะเห็นว่า การผสมกัวกัม (guar gum) ปริมาณ 40 % โดยน้ำหนัก จึงจะทำให้แผ่นกาวยางมีความสามารถดูดซับน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ส่วนการผสมสารอควาเจล (aqua gel) จะเห็นว่าต้องใช้ปริมาณถึง 60 % โดยน้ำหนัก จึงจะทำให้กาวยางมีสมบัติการดูดซับน้ำได้อย่างสม่ำเสมอ

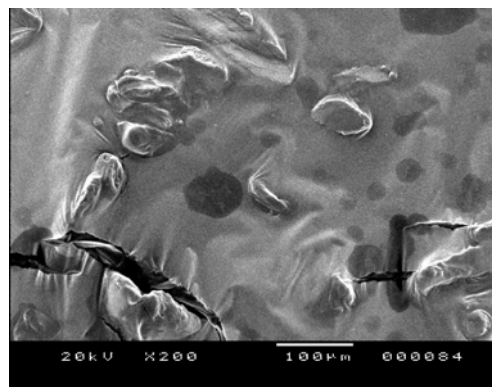


**รูปที่ 4.28** แสดงคุณสมบัติการดูดซับน้ำ ของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีน

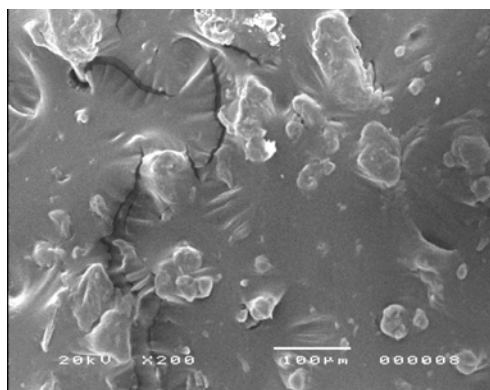
จากรูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของการดูดซับน้ำของกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่เตรียมได้จากยางสังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ พบว่าการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดแซนแทนกัม (xanthan gum) จะช่วยเพิ่มสมบัติการดูดซับน้ำของยางธรรมชาติได้ดีที่สุด ซึ่งการผสมแซนแทนกัม (xanthan gum) ปริมาณ 20 % โดยน้ำหนัก จะทำให้แผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์สามารถดูดซับน้ำได้ประมาณ 0.67 g/cm<sup>3</sup> เมื่อปริมาณของ Xanthan gum เพิ่มขึ้น แนวโน้มการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งการผสมสารแซนแทนกัม (xanthan gum) ปริมาณ 80% จะทำให้แผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์สามารถดูดซับน้ำได้ประมาณ 2.54 g/cm<sup>3</sup> ส่วนการใช้สารไฮโดรคอลลอยด์ชนิด Guar gum หรือ Aqua gel ที่ปริมาณ 80% จะทำให้แผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์สามารถดูดซับน้ำได้ประมาณ 1.29 g/cm<sup>3</sup> และ 1.11 g/cm<sup>3</sup> ตามลำดับ ซึ่งพบว่าสาร



(A). IR/Guar gum 80%



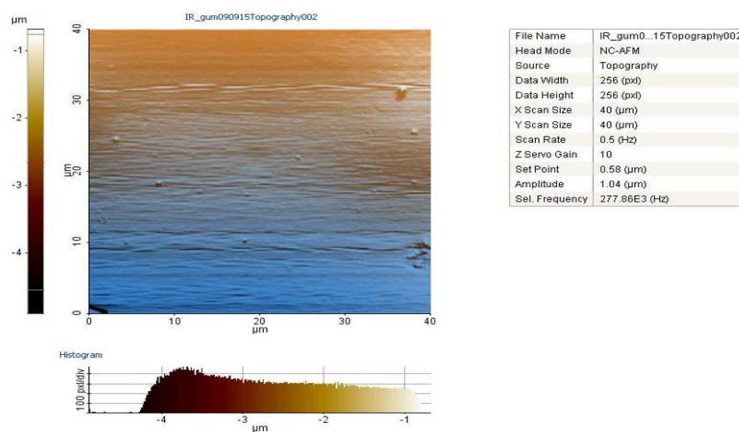
(B). IR/Aqua gel 80%



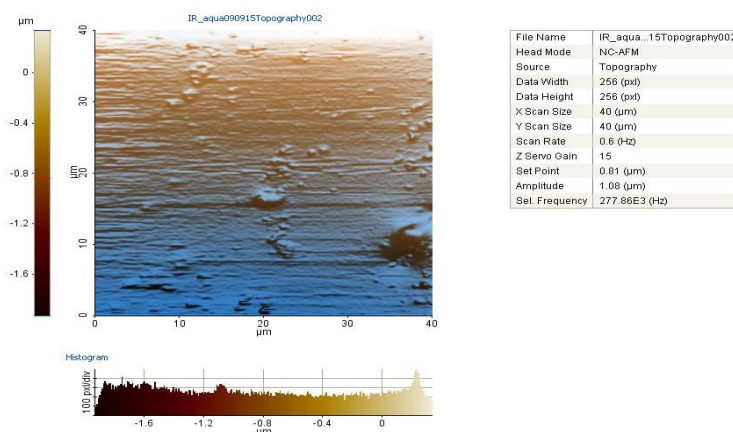
(C). IR/Xanthan gum 80%

รูปที่ 4.29 แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่ผสมกับยางสังเคราะห์ ไอโซพรีน โดยการวิเคราะห์ด้วย SEM กำลังขยาย 200 เท่า

จากรูปที่ 4.29 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ ที่ทำการเตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณ 80 % โดยน้ำหนัก พบว่าการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) เมื่อผสมเข้ากับยาง จะสามารถกระจายตัว และมีขนาดของอนุภาคอย่างสม่ำเสมอ ในยางสังเคราะห์ ส่วนการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์ อากวาเจล (aqua gel) เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมีขนาดใหญ่ คาดว่าเนื่องจาก อากวาเจล (aqua gel) มีความชอบน้ำสูง จึงมีความว่องไวต่อความชื้นในบรรยากาศ ส่งผลให้อากวาเจล (aqua gel) เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนกัน และการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) สามารถเข้ากับเนื้อยางได้ดี มีการกระจายเป็นอนุภาคเล็กสม่ำเสมอ ส่งผลทำให้กาวยางที่ผสมแซนแทนกัม (xanthan gum) มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการยึดติดกับวัสดุอื่นได้มากกว่ากับสารผสมสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) และอากวาเจล (aqua gel) และผลจากการกระจายตัวที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวของไฮโดรคอลลอยด์ ในการดูดซับน้ำสูงไปด้วย

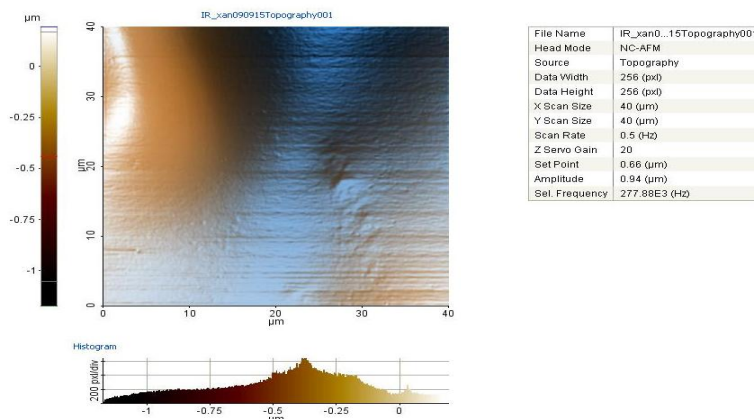


(A). IR/Guar gum 80%



(B). IR/Aqua gel 80%





(C). IR/Xanthan gum 80%

**รูปที่ 4.30** แสดงลักษณะความเข้ากันของสารไฮโดรคอลลอยด์กับยางสังเคราะห์ไอโซพรีน โดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

จากรูปที่ 4.30 ลักษณะพื้นที่ผิวของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด ที่ทำการเตรียมจากยางสังเคราะห์ไอโซพรีนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ผสมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ปริมาณ 80 % โดยน้ำหนัก พบว่าการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) เมื่อผสมเข้ากับยาง จะเห็นว่าแซนแทนกัม (xanthan gum) สามารถกระจายตัวและเข้ากับเนื้อยางได้ดี ในยางสังเคราะห์ส่วนการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์อาควาเจล (aqua gel) เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดใหญ่ คาดว่าเนื่องจากสารอาควาเจล (aqua gel) มีความชอบน้ำสูง จึงมีความว่องไวต่อความชื้นในบรรยากาศ ส่งผลให้อาควาเจล (aqua gel) เกาะกันเป็นกลุ่มก้อน โผล่ออกมาจากพื้นผิวของกาว และการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์กัวกัม (guar gum) เตรียมเป็นแผ่นกาว พบว่าเมื่อทำการผสมสารกัวกัม (guar gum) กับยางสังเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กบริเวณพื้นผิว กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งบ่งบอกความเข้ากันได้น้อยกว่าการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 กระบวนการผลิตยางแท่งคุณภาพสูง ในระดับอุตสาหกรรมและการใช้สภาวะ การทำ ซาปอนิฟิเคชัน (saponification) ต่อการลดปริมาณไนโตรเจน

ผลจากการศึกษาและทำการทดลอง สรุปได้ว่ายางแท่งคุณภาพสูง ที่ผลิตใน  
อุตสาหกรรม ได้แก่ ยาง STR XL และยางเครพขาว (white Crepe, WPC) จะมีปริมาณของ  
ไนโตรเจน อยู่ในช่วงประมาณ 0.36-0.42 %โดยน้ำหนัก และการทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน  
ของยางดิบตัดย่อย จากกระบวนการผลิตยาง STR XL และยางเครพขาว ในสารละลายโซเดียมไฮ  
ดรอกไซด์เข้มข้น 3% โดยน้ำหนัก สามารถลดค่าระดับปริมาณไนโตรเจนในยางธรรมชาติได้  
ประมาณ 0.084-0.093 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสีของยางจะมีลักษณะคุณภาพสูงยิ่งขึ้น  
ยางธรรมชาติจะมีความโปรตีนต่ำ สามารถนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์ด้านการแพทย์ได้

#### 5.2 สมบัติพื้นฐานของสารไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids)

ผลจากการทดลอง วิเคราะห์สมบัติพื้นฐาน ของสารไฮโดรคอลลอยด์ มีลักษณะเป็นผงสี  
ขาว มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.20-8.53 และมีความหนืดอยู่ในช่วง 960-1708 เซนติพอยส์ จาก  
สมบัติทางโครงสร้างทางเคมี พบว่า สารไฮโดรคอลลอยด์จะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี  
(hydroxy group) เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุลจำนวนมาก บ่งบอกถึงความชอบน้ำ  
(hydrophilic) ของสารไฮโดรคอลลอยด์ ที่ค่อนข้างสูง

#### 5.3 สมบัติการเตรียมยางน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

5.3.1 ชนิดคุณภาพของยางธรรมชาติ มีผลแตกต่างกันไม่มากนักต่อการลดลงของน้ำหนัก  
โมเลกุล ด้วยเทคนิคการบดด้วยลูกกลิ้งร้อน แต่การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพมีผลอย่าง  
มาก พบว่ายาง STR XL-SAP สามารถไหลได้ที่การบดเวลา 15 นาทีแต่ยาง WPC-SAP ต้องใช้  
เวลาบดถึง 60 นาที

5.3.2 อุณหภูมิและแรงเฉือนในการบดมีผลต่อการลดลงของน้ำหนักโมเลกุล ในช่วงแรก  
การบดอย่างมาก ทำให้น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยตามน้ำหนัก ( $\bar{M}_w$ ) จากเริ่มต้น  $3.0 \times 10^6$  กรัม  
ต่อโมล สามารถลดลงเหลือ  $5.0 \times 10^5$  กรัมต่อโมล และส่งผลให้ยางสังเคราะห์ เกิดการ  
เปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ง่าย ไหลได้ ความเหนียวเพิ่มขึ้นมากกว่ายางธรรมชาติ

5.3.3 การบดขยาดด้วยลูกกลิ้งร้อน สามารถทำให้ปริมาณของเจลที่ไม่ละลายในตัวทำละลายลดลง และทำให้ค่าการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลโมเลกุล (molecular weight distribution, MWD) ของยางแคบลง ทำให้ค่าการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบ unimodal molecular weight

#### 5.4 สมบัติของแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive, PSA)

5.4.1 ปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ในการเตรียมแผ่นกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด จากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (STR XL-SAP) ส่งผลให้สมบัติการดึงลอกออก (peel) ของกาวลดลง สมบัติการคืบ (Shear holding power) และสมบัติการดูดซับน้ำ (water uptake) เพิ่มขึ้นพบว่าการผสมสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) หรือสารกัวกัม (guar gum) ปริมาณที่เหมาะสมเท่ากับ 60-80% โดยน้ำหนัก ทำให้มีสมบัติการดึงลอกต่ำสุด 5-8 นิวตัน และสมบัติการคืบสูงถึง 360 นาที และสมบัติการดูดซับน้ำสูงสุดเท่ากับ  $2.81 \text{ g/cm}^3$

5.4.2 ลักษณะสัญญาณทางวิทยา ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) และด้วยเทคนิค atomic force microscopy พบว่าสารไฮโดรคอลลอยด์แซนแทนกัม (xanthan gum) เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด สามารถกระจายตัวได้ดีและมีขนาดของอนุภาคไฮโดรคอลลอยด์เล็ก และมีความสม่ำเสมอ ทั้งในยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและยางสังเคราะห์

5.4.3 ยางธรรมชาติมีความเหมาะสม ในการนำมาเตรียมเป็นแผ่นกาวไฮโดรคอลลอยด์ เนื่องจากมีสมบัติความแข็งแรงของแผ่นกาว (cohesive strength) สมบัติการคืบสูงกว่ากาวยางสังเคราะห์ และแรงที่ใช้ในการดึงลอกต่ำกว่ากาวยางสังเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับนิยามของกาวชนิดที่ไวต่อแรงกด (pressure –sensitive adhesive, PSA)

## 5.5 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป

1. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารไฮโดรคอลลอยด์ ตัวอื่นๆ ในการเตรียมกาวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไวต่อแรงกด (hydrocolloid pressure sensitive adhesive, PSA) กับยางธรรมชาติ
2. ศึกษาทดสอบการแพ้ เนื่องจากโปรตีนของยางธรรมชาติ โดยวิเคราะห์ในเชิงปฏิบัติการ และการใช้งานจริงกับผู้ป่วยเพิ่มเติม
3. ศึกษาขั้นตอนการเตรียมแผ่นกาว PSA จากยางธรรมชาติเพิ่มเติม เพื่อสามารถพัฒนาเป็นวัสดุ transdermal drug delivery system

### บรรณานุกรม

- จิตรภรณ์ ทยานันท์. 2542. การพัฒนาการผลิตสารยึดติดที่ไวต่อแรงกดดันจากน้ำยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์
- จิอันฟังโก ปาลุมโป และจินเซนโซ ดัคซิโอลี. 2544. อุปกรณ์การจัดการกับของเสียจากร่างกายมนุษย์ พร้อมด้วยวิธีการการยึดจับแบบหน้าแปลนสารยึดติด. ประเทศไทย. หมายเลขที่ประกาศ 44004. 30 มีนาคม.
- จิอันฟังโก ปาลุมโป และจินเซนโซ ดัคซิโอลี. 2544. อุปกรณ์การจัดการกับของเสียจากร่างกายมนุษย์พร้อมด้วยอุปกรณ์การยึดจับแบบหน้าแปลน สายยึดติดที่ปรับปรุงให้ดีขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกกับการนำออกมาด้วยระดับความเจ็บปวดที่ต่ำ. ประเทศไทย. หมายเลขที่ประกาศ 44610. 19 เมษายน.
- จิอันฟังโก ปาลุมโป และจินเซนโซ ดัคซิโอลี. 2543. อุปกรณ์การจัดการกับของเสียจากร่างกายมนุษย์ซึ่งมีวิธีการการยึดจับผิวหนังชนิดระบายอากาศได้. ประเทศไทย. หมายเลขที่ประกาศ 40198. 14 กันยายน.
- จิอันฟังโก ปาลุมโป และจินเซนโซ ดัคซิโอลี. 2543. อุปกรณ์การจัดการกับของเสียจากร่างกายมนุษย์พร้อมด้วยวิธีการการยึดจับผิวหนังชนิดอ่อนตัวได้. ประเทศไทย. หมายเลขที่ประกาศ 46300. 17 กรกฎาคม.
- ชญาภา นิมสุวรรณ. 2550. การแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ วิธีการตรวจสอบและเทคโนโลยีการแก้ไข. วารสารเพื่อพัฒนาของอุตสาหกรรมยางไทย. ปีที่ 1, ฉบับที่ 2 (ตุลาคม-ธันวาคม). หน้า 11-21.
- พิมพา อภิชนสุข. 2541. การแพ้โปรตีนในน้ำยางกับการผลิตน้ำยางชั้นที่มีโปรตีนในระดับต่ำ. เดอะรีบเบอร์ อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล 1. 73.
- พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2547. ยาง: ชนิด สมบัติและการใช้งาน, หน้า 4-15.

ภาพประกอบกลไกการลดปริมาณโปรตีนในยางธรรมชาติโดยไชยูเรีย. 2552.

สืบค้นจาก: <http://www.greentech.nagaokaut.ac.jp>.

ภาพประกอบสูตรโครงสร้างโมเลกุลของ Aqua gel. 2552.

สืบค้นจาก : [www.scientificpsychic.com/fitness/Aqua gel.gif](http://www.scientificpsychic.com/fitness/Aqua%20gel.gif).

ภาพประกอบสูตรโครงสร้างโมเลกุลของ Guar gum. 2552.

สืบค้นจาก : <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Guaran.svg>.

ภาพประกอบสูตรโครงสร้างโมเลกุลของ Xanthan gum. 2552.

สืบค้นจาก : [www.scientificpsychic.com/fitness/xanthan.gif](http://www.scientificpsychic.com/fitness/xanthan.gif).

โยธิน ชิงค์. 2538. การเตรียมและสมบัติของยางโปรตีนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ วิทยานิพนธ์  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน (Natural Rubber  
Production and Application), หน้า 12-14.

วิรัช ทวีปรีดา. 2549. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 342-322.

สถาบันวิจัยยาง. 2542. ข้อมูลทางวิชาการยางพารา. กรมวิชาการเกษตร.

สวิรากร โอภาสวงศ์. 2538. โปรตีนกับอาการแพ้. วารสารยางพารา. หน้า 91-96.

สำนักงานกองทุนสงเคราะห์การทำสวนยาง (สกย.). 2552. คัดการณ์ภาพรวมยางพาราไทยปี  
2552. เข้าถึงได้จาก : <http://www.live-rubber.com/index.php/para-rubber-articles>.  
(วันที่สืบค้น 3 กันยายน 2552).

เสาวนีย์ ก่ออุฏฐิกุลรังษี. 2546. การผลิตยางธรรมชาติ. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี. หน้า 67-73.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. 2547. การผลิตยางธรรมชาติ. (Natural Rubber Production) ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. หน้า 213-320.

เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ Tanaka, Y. 2541. ขนาดอนุภาคของยางธรรมชาติจากต้นยางที่มีอายุและพันธุ์ต่างๆ กัน. การประชุมวิชาการเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยครั้งที่ 1. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี, 18 กรกฎาคม 2541. หน้า 239-245.

ASTM D 2979-01. 2009. Standard Test Method for Pressure Sensitive Tack of Adhesives Using an Inverted Probe Machine. Annual book of ASTM standard. Vol : 15.06.

ASTM D 3121-06. Standard Test Methods for Tack of Pressure Sensitive Adhesive by Rolling Ball. Annual book of ASTM standard. Vol : 15.06.

ASTM D 3330/D 3330 M-04. Standard Test Method for Peel Adhesion of Pressure Sensitive Tape. Annual book of ASTM standard.

ASTM D 6195-03. Standard Test Methods for Tack of Pressure Sensitive Adhesive by Loop tack. Annual book of ASTM standard. Vol : 15.06.

ASTM D 6252/ D 6252 M-98. 2004. Standard Test Method for Peel Adhesion of Pressure Sensitive Label stocks at a 90 Degree Angle. Annual book of ASTM standard. Vol : 15.09.

Blackley, D.C. 1997. In Polymer Latices Science and Technology Second edition volume 2 : Type of latices. Chapman & Hall : London. pp. 44-55.

Bloomfield, G.F., Merrett, F.M., Popham, F.J. and Swift, P. Mcl., 1954. Graft polymer derived from natural rubber. Proc. 3 rd Rubber Tech. Conf. London. pp. 185.

- Chen, F., Qian, J. 2002. Studies on the thermal degradation of cis-1,4- polyisoprene. Fuel 81. pp. 2071-2077.
- Chin, P.S., Cheng, W.P., Chang, C.M. and Pong, K.S. 1974. Deproteinised natural rubber latex. Proceeding Rubber Research Institute of Malaysia Planters Conference. pp. 252-262.
- Cockbain E.G., Phipott M.W. 1963. Colloidal properties of latex, In L. Bateman. The chemistry and physics of rubber-link substances, London: Maclaren and Sons, 73
- De jong, W.H., Geertsma, R.E. and Tinkler, J.J.B. 2002. Medical devices manufactured from Latex: European regulatory initiatives. Method (27). pp. 93-98.
- Eng A.H., Kawahara S., Tanaka Y. 1994. Trans-isoprene units in Natural Rubber. Rubber. Chem. Tech. 67, 159.
- Ferrari, F., Bertoni, M., Bonferoni, M.C., Rossi, S., Caramella, C. and Waring, M.J. 1994. Comparative evaluation of hydrocolloid dressing by means of water uptake and swelling force measurements: II. International Journal of pharmaceutics. 117. pp. 49-55.
- Hashim, S.A., Ong, S.K. and Jessy, R.S. 2002. A general review of recent developments on chemical modification of Natural rubber 28-4<sup>th</sup>. pp. 3-9.
- Hock, S. Tan and William R. Pfister. 1999. Pressure-sensitive adhesive for transdermal drug delivery system. PSTT. Vol. 2 (February). pp. 60-69.



- Ichikawa, N., Hwee, E.A., Tanaka, Y. 1993. Natural Rubber: Current Development in Product Manufacture and Applications : A Report of the Prdceedings of the International Rubber Technology Conference Malaysia. pp. 101-110.
- Jame, L. and Rudolfo D. 1981. Ostomy adhesive. United States Patent. March
- Katherine, C.M., Chow, T.W., Woo, C.W. and Robert, K.F. 1999. Effect of adhesive drying time on the bond strength of irreversible hydrocolloid to stainless steel. J. Prosthet. Dent. Vol. 81 (5). pp. 586-590.
- Kovuttigkulsrangsi, S. and Sakdapipanich, J.J. 2005. The molecular weight (Mw) and molecular weight distribution (MWD) of natural rubber from different age and clone Hevea trees. Short communication. Vol. 27 (2), Mar- Apr. pp. 337-342.
- Minghetti, P., Cilurzo, F., Tosi, L., Casiraghi, A.L. and Montanari, L. 2003. Design of a new water-soluble pressure-sensitive adhesive for patch preparation. AAPS Pharmscitech. 4 (1).
- Ong, C.O. 1974. High Quality Rubber from Skin Latex. Proc. Rubber Res. Inst Malaysia, Plrs' Conf K.L., p. 234
- Pautrat, R. and Marteau, J. 1974. France Patent No. 7403052.
- Pizzi A., Mihal K.L. 2003. Handbook of adhesive technology, 2<sup>nd</sup> ed. (New York : Marcel Dekker), 255-262
- Pongjanyakul, T. and Puttipipatkachorn, S. 2007. Xanthan- alginate composite gel beads: Molecular interaction and in vitro characterization. Int. J. Pharmacol, 331. pp. 61-71.

Robert, A.D. 1988. Natural Rubber Science and Tech. Oxford. pp. 95.

Sakdapipanich J. T., Suksujaritporn S., Tanaka Y. 1999. Structure Characterization of The small Rubber Particle in Fresh Heavea Latex. J. nat. Rubb. Res. 2,160.

Tanaka, Y., Sakaki, T. and Kaqasaki, A. 1999. Production process of depromerized natural rubber. 5 (Jan).

Tillekeratne, L.M.K., Perera, P.V.A.G., De Silva, M.S.C. and Scott, G., J. 1977. Rubber Res. Inst. Srilanka, 54. pp. 501-507.

Wang, J. and Somasundaran, P. 2007. Study of galactomannose interaction with solids using AFM, IR and allied techniques. J. Colloid Interf. Sci, 309. pp. 373-383.

Willem, L. 2004. Structural characterization of Natural polyisoprene : solve the mystery of Natural rubber. Natural Rubber, 33 (1).

Yunyongwattunakorn, J., Tanaka, Y. 2008. Highly-Purified Natural Rubber by Saponification of Latex : Analysis of Residual Propeins in Saponified Natural rubber. Rubber chemistry and Technology. Vol. 81. pp. 121-137.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## การทดสอบสมบัติของแผ่นกาว Pressure Sensitive Adhesive

## 1. การทดสอบสมบัติการยึดติด (tack) แบ่งออกเป็น

## 1.1 การทดสอบสมบัติการยึดติด (tack) แบบ Rolling ball

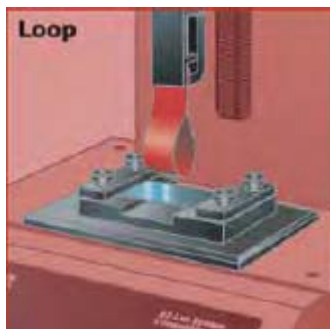
การใช้งานแบบ Rolling ball จะมีการทำทางลาดชันที่เป็นช่องทำมุม 20 องศา กับพื้นผิว แล้วปล่อยให้ลูกบอลกลิ้งลงตามร่องนั้นมาบนชิ้นงานที่อยู่ในทางเรียบซึ่งผิวของชิ้นงานนั้นเป็น adhesive ระยะการกลิ้งของ rolling ball เทียบได้กับการวัดแบบ Quick stick โดยบอลที่ใช้ทำจากเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.11 เซนติเมตร ทางลาดชันนี้มีความสูงจากพื้นเท่ากับ 6.51 เซนติเมตร



ภาพประกอบที่ 1 การทดสอบสมบัติการยึดติด (tack) แบบ rolling ball (ตามมาตรฐาน ASTM D 3121-06, Volume : 15.06)

## 1.2 การทดสอบสมบัติการยึดติด (tack) แบบ Quick stick หรือ Loop tack

การทดสอบนี้จะไม่มีการใช้ load ทำได้โดยใช้หัวจับคิปลายทั้งสองข้างของแผ่นกาวได้ด้วยกัน โดยหันด้านที่เป็นกาวออกด้านนอก จากนั้นแผ่นกาวที่คิปลงจะเคลื่อนที่ลงมาบนพื้นผิวที่จะทดสอบแล้วเครื่องจะดึงแผ่นกาวออกซึ่งจะมีการบันทึกแรงที่ใช้ในการดึงแผ่นกาวออก เครื่องจับนี้อาจจะใช้เครื่อง Tensile ในการทดสอบ ความเร็วของหัวจับจะมีค่าเท่ากับ 30.5 เซนติเมตรต่อนาที แรงที่ได้จะเป็นฟังก์ชันกับการวัดระดับของสมบัติการยึดติด (tack)



**ภาพประกอบที่ 2** การทดสอบสมบัติการยึดติด (tack) แบบ Quick stick หรือ Loop tack (มาตรฐาน ASTM D 6195-03, Volume : 15.06)

### 1.3 การทดสอบสมบัติการยึดติด (tack) แบบ Probe tack

การทดสอบนี้มีการใช้มานาน โดยจะมีชุด rod ส่วนล่างของ rod จะมี probe ติดอยู่และจะต่อกับเครื่อง Instron tensile โดยที่ probe จะเคลื่อนที่ไปแต่ละบริเวณฐานซึ่งเป็นแผ่นเหล็ก จากนั้นจะนำเอาแผ่นกาวที่ต้องการจะทดสอบมาวางบนแผ่นเหล็กนั้น เมื่อ probe เคลื่อนที่ลงมาแตะบนพื้นผิวของแผ่นกาวที่นำมาทดสอบ แล้วดึง probe ออก เครื่องจะทำการวัดแรงที่ดึงออกเวลาที่สัมผัสกับเวลาที่ดึงออกเท่ากัน โดยปกติแล้วจะใช้เวลาประมาณ 1 เซนติเมตรต่อวินาที และเวลาที่ probe อยู่บนชิ้นงานก็เท่ากับ 1 วินาที เช่นกัน probe ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ probe เท่ากับ 12 นิ้วต่อนาที

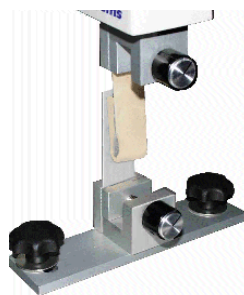


**ภาพประกอบที่ 3** แสดงภาพ probe tack test (ตามมาตรฐาน ASTM D 2979-01, Volume : 15.06)

## 2 การทดสอบสมบัติการดึงลอกออก (peel) แบ่งออกเป็น

### 2.1 การดึงลอกในแนว 180 องศา

เป็นการวัดแรงในการลอกออกของแผ่นกาว ซึ่งใช้เครื่อง Tensile ในการทดสอบ วิธีการทำได้โดยนำเอาแผ่นกาวที่ต้องการทดสอบ มาติดไว้บนผิวของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ อาจจะเป็นแผ่นเหล็กสแตนเลส (stainless steel plate) ,หรือแผ่นพอลิเอทิลีน (polyethylene plate) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีพลังงาน surface energy ต่ำ โดยเริ่มติดแผ่นกาวจากของล่างของชิ้นงานขึ้นไปแล้ว ปล่อยให้คลายที่เหลือห้อยลงมาในทิศทางตรงข้ามกับหัวจับที่ใช้จับชิ้นงาน ซึ่งคลายที่ห้อยลงมา นี้ จะถูกจับด้วยหัวจับอีกอัน จากนั้นทำการลอกแผ่นกาวออกในแนว 180 องศา เครื่องจะทำการวัดแรงที่ใช้ในการดึงลอกออก ความเร็วของหัวจับเท่ากับ 12 นิ้วต่อนาที



**ภาพประกอบที่ 4** การทดสอบแบบการดึงลอกออกในแนว 180 องศา แสดงตัวอย่างแผ่นกาวที่ติดอยู่กับเครื่อง tensile strength (มาตรฐาน ASTM D 3330/D 3330 M-04)

### 2.2 การดึงลอกออกในแนว 90 องศา

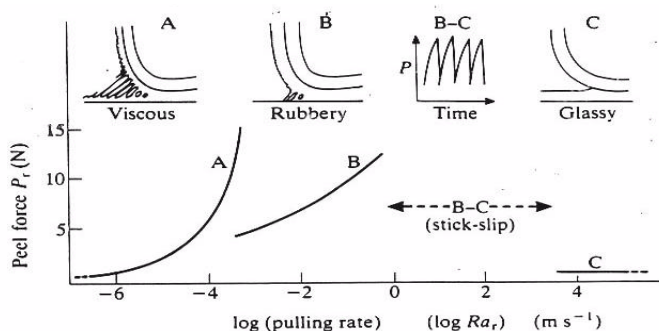
สำหรับการวัดการดึงลอกออกในแนว 90 องศา นี้ได้รับความนิยมน้อยกว่าการดึงลอกออกในแนว 180 องศา เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเตรียมอุปกรณ์ที่ต้องมีลักษณะพิเศษ สำหรับการทดสอบนี้ต้องใช้เครื่อง tensile ต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่บริเวณฐานรองที่สามารถเคลื่อนที่ได้ อย่างอิสระ บริเวณแท่นรองเป็นพื้นผิวที่เราต้องการจะนำไปใช้งาน เมื่อติดแผ่นกาวบนพื้นผิวที่ต้องการทดสอบแล้ว ปลายด้านหนึ่ง จะถูกจับด้วยหัวจับของเครื่อง Tensile ส่วนอีกด้านติดอยู่กับพื้นผิว เมื่อเดินเครื่อง แผ่นกาวจะถูกดึงลอกในแนว 90 องศา ดังภาพประกอบที่ 5 จะเห็นว่าการทำงานค่อนข้างจะยุ่งยากมากมายจึงทำให้ได้รับความนิยมน้อยกว่าการลอกแบบ 180 องศา



ภาพประกอบที่ 5 การทดสอบการดึงลอกออกในแนว 90 องศา (มาตรฐาน ASTM D6252/D6252 M-98 2004, Volume : 15.09)

การทดสอบสมบัติการลอกออก (peel) เป็นการดึงลอกแผ่นกาวจากแผ่นที่ใช้ทดสอบ (ปกติใช้เป็น แผ่นเหล็กหรือแผ่นแก้ว) การทดสอบนี้ใช้เครื่อง tensile testing ที่มีการให้อัตราในการดึงลอกแผ่นกาวและอุณหภูมิคงที่ โดยที่ก่อนการทดสอบแผ่นที่ใช้ทดสอบนั้นจะต้องมีการทำความสะอาดก่อนเพื่อให้ แรงที่ใช้ลอกแผ่นกาวออกนั้นเป็นความแข็งแรงของพันธะ ระหว่างแผ่นกาวกับพื้นผิวของ plate เท่านั้น

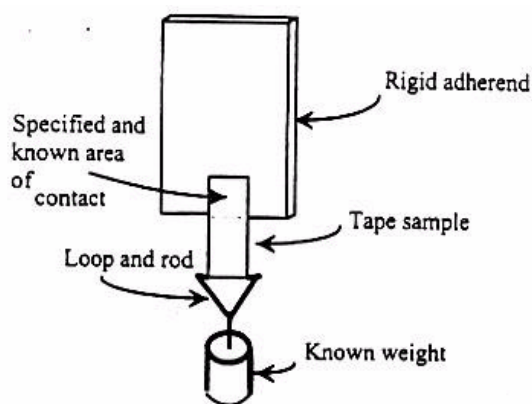
การวัดสมบัติการลอกออก (peel) ของแผ่นกาวนั้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราการดึงลอกของแผ่นกาว จะพบการวัดสมบัติการลอกออก ที่เปลี่ยนแปลงอัตราการดึงเป็นฟังก์ชันกับสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) สำหรับอัตราการดึงที่เปลี่ยนไปนั้นทำให้มีการตอบสนองกับสมบัติวิสโคอีลาสติก (viscoelastic) ที่เปลี่ยนไปตามอัตราการดึงและอุณหภูมิ การทดสอบสมบัติการลอกออก (peel) ของแผ่นกาวนี้จะแสดงพฤติกรรมความเป็น viscous, rubbery, glassy เมื่อให้อัตราการดึงที่ต่างกันดังภาพประกอบที่ 6



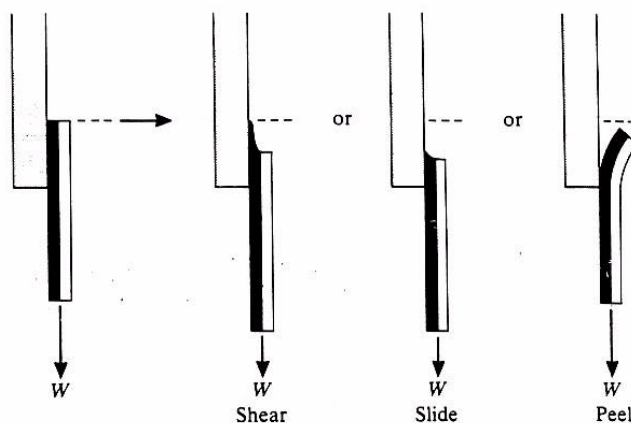
ภาพประกอบที่ 6 Master curve ของการดึงลอก (peel) ของแผ่นกาวบิวทิลีน อะครีเลท (polybutyl acrylate) ที่เคลือบบนพอลิเอสเตอร์ฟิล์ม โดยทดสอบด้วยการดึงลอกในแนว 90 องศาบนแก้ว ภาพแสดงพฤติกรรมของแผ่นกาว และเส้นของ force-time ("stick-slip")

### 3 การทดสอบสมบัติความแข็งแรงจากแรงกระทำด้วยแรงเฉือน (Shear strength)

การทดสอบสมบัติความแข็งแรงจากแรงกระทำด้วยแรงเฉือน (Shear strength) ของแผ่นกาว PSA ในอุตสาหกรรมเป็นการทดสอบ shear adhesion หรือ holding-power test การทดสอบนี้จะทำการแขวนน้ำหนัก 0.5 กิโลกรัม ไว้บนแผ่นกาวซึ่งมีขนาด 1×1 นิ้ว โดยจะติดบนแผ่นเหล็กสแตนเลส (stainless steel plate) ดังภาพประกอบที่ 7 จะจับเวลาจนกว่าแผ่นกาวจะเริ่มเลื่อนไถลจากแผ่นเหล็กสแตนเลส (stainless steel plate) โดยที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ การทดสอบส่วนใหญ่จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง หรือที่ 40°C การทดสอบนี้ใช้ตาม PSTC-7 การ failure ในแผ่นกาวมีการ failure หลายอย่างแสดงได้ดังภาพประกอบที่ 8



ภาพประกอบที่ 7 การทดสอบแบบ Shear holding power



ภาพประกอบที่ 8 ลักษณะการ failure ใน holding power test



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการวิเคราะห์

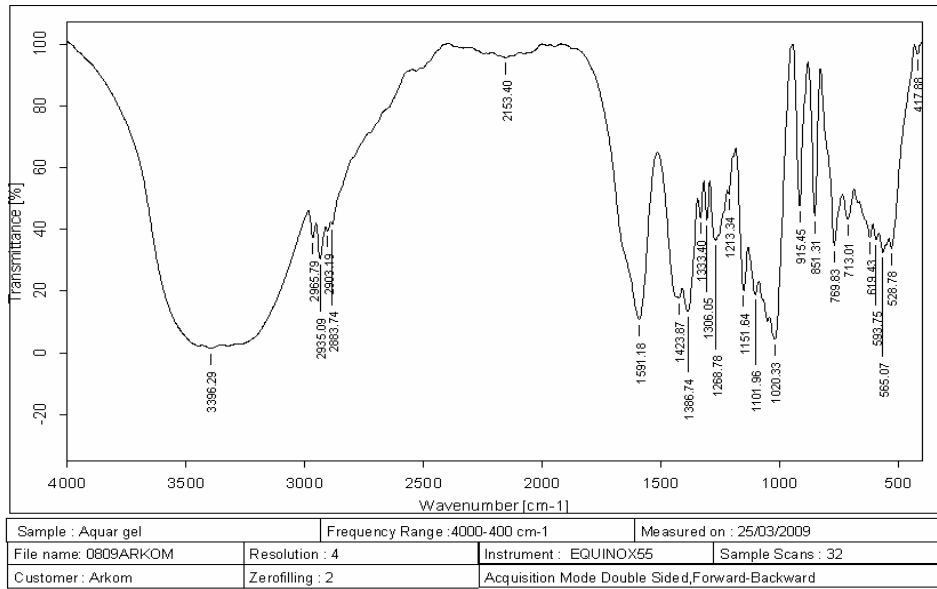


Fig 1 FT-IR spectrum of Aqua gel

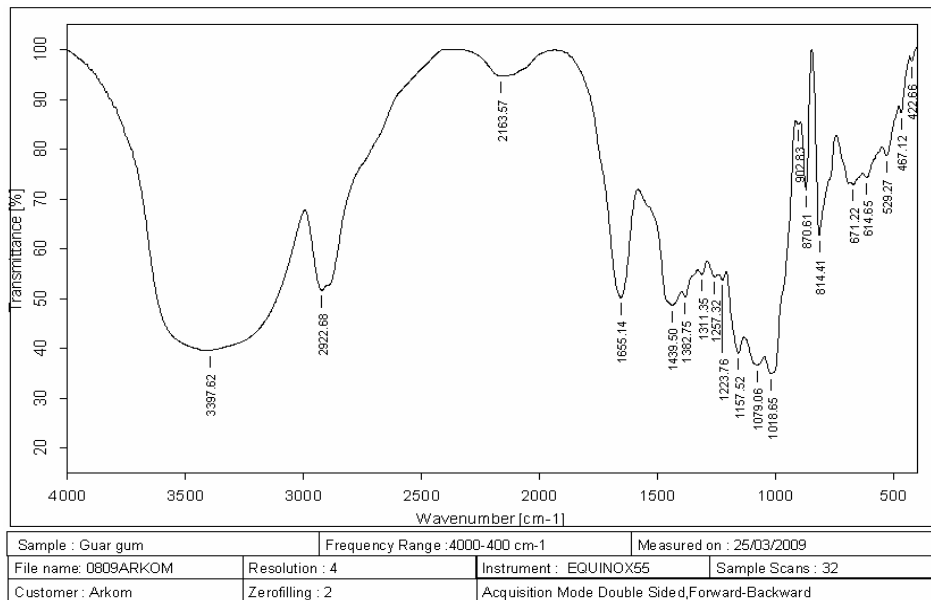
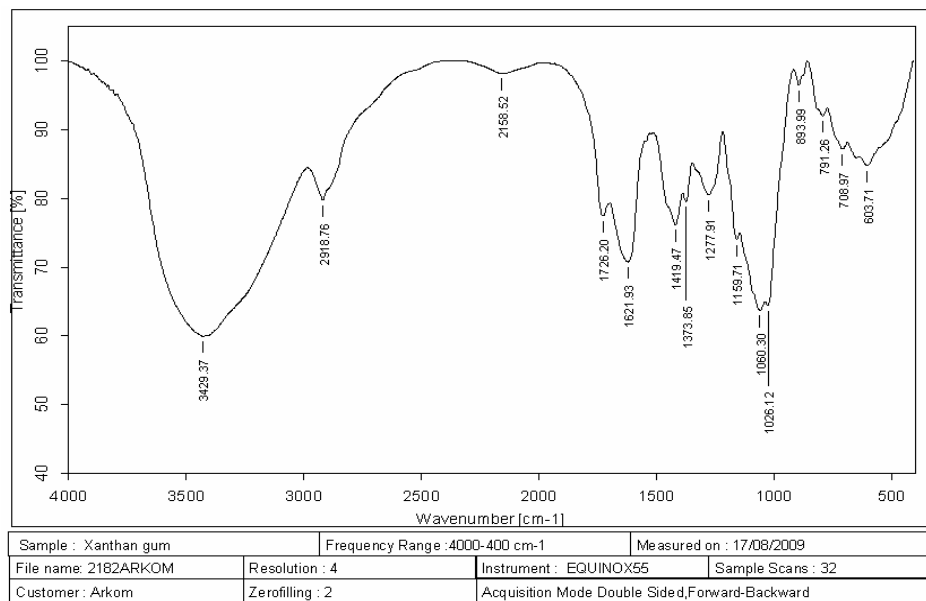
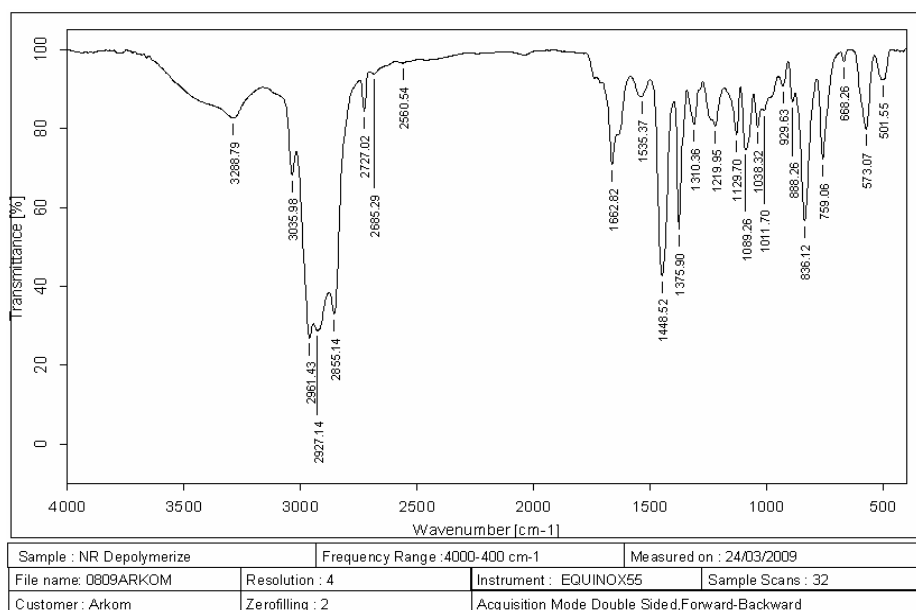


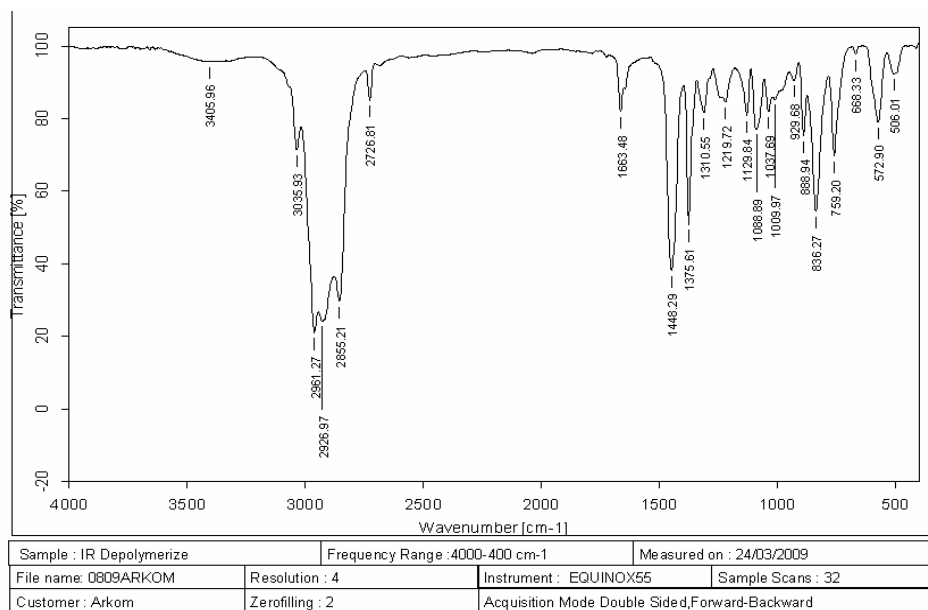
Fig 2 FT-IR spectrum of Guar gum



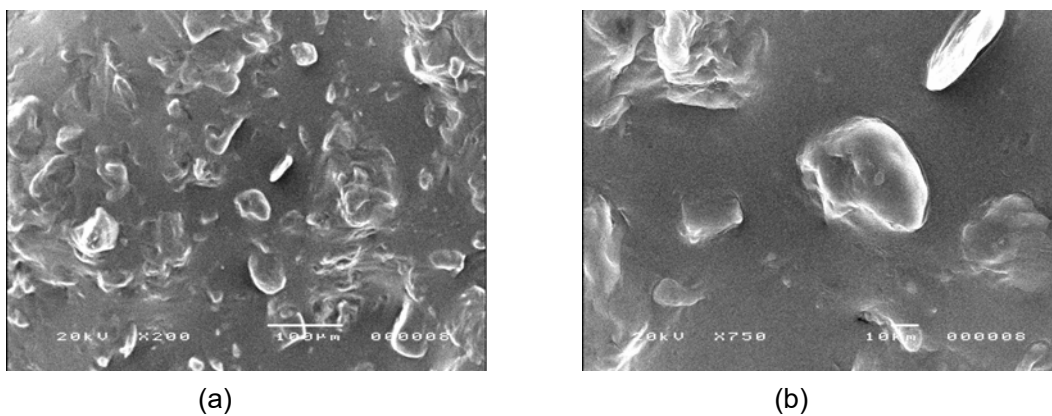
**Fig 3** FT-IR spectrum of Xanthan gum



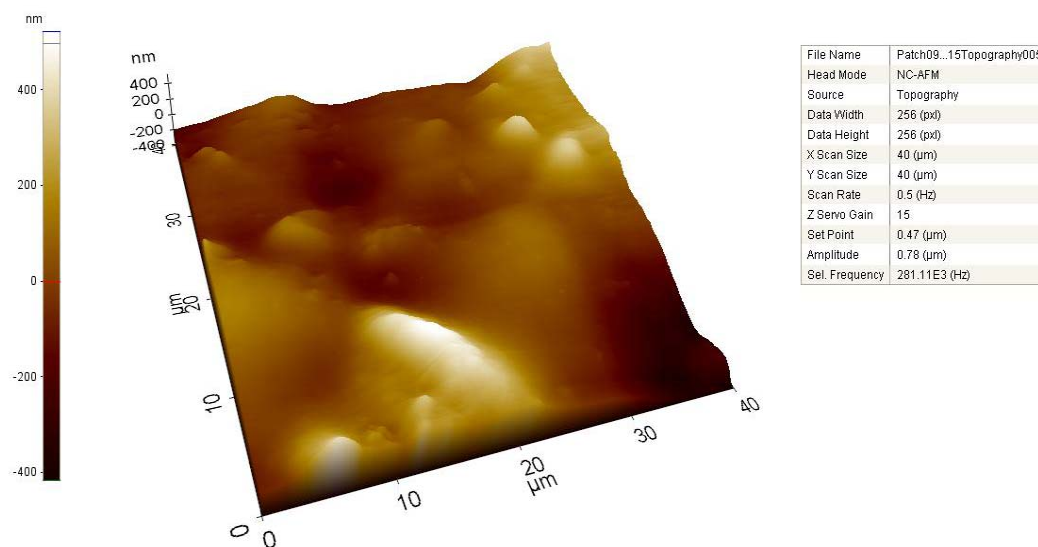
**Fig 4** FT-IR spectrum of Natural rubber low molecular weight.



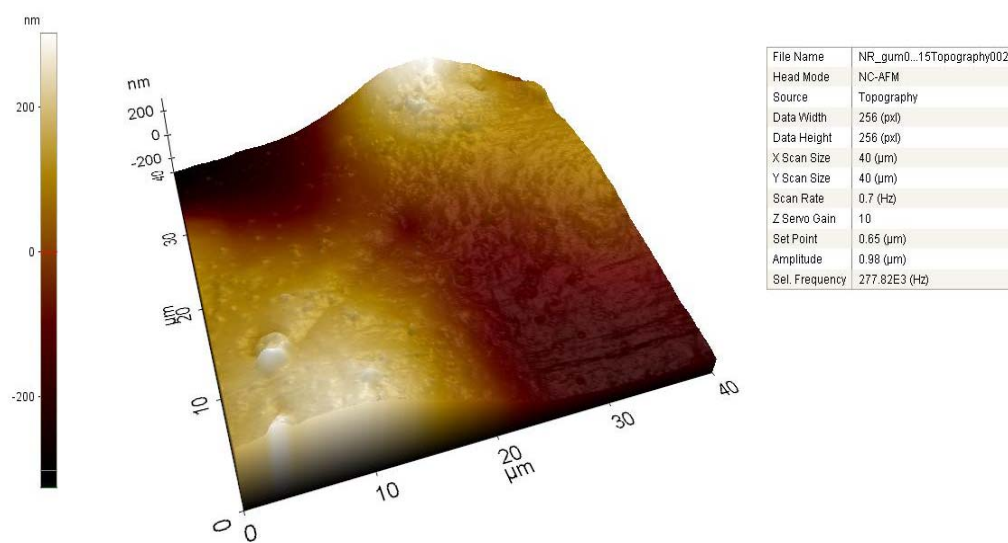
**Fig 5** FT-IR spectrum of Isoprene rubber low molecular weight.



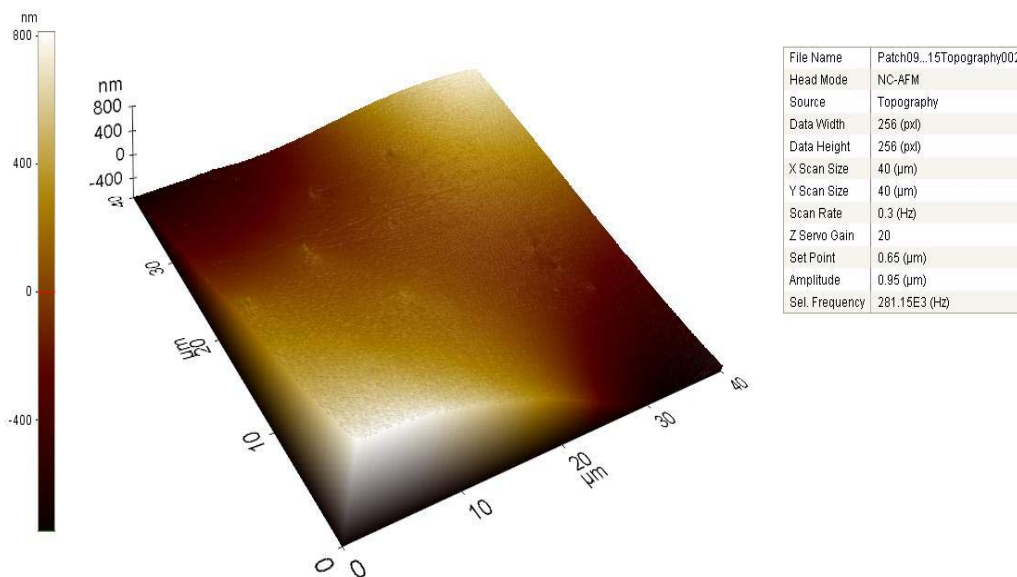
**Fig 6** SEM micrographs of commercial patch (Ostomy). (a). x200 and (b) x750



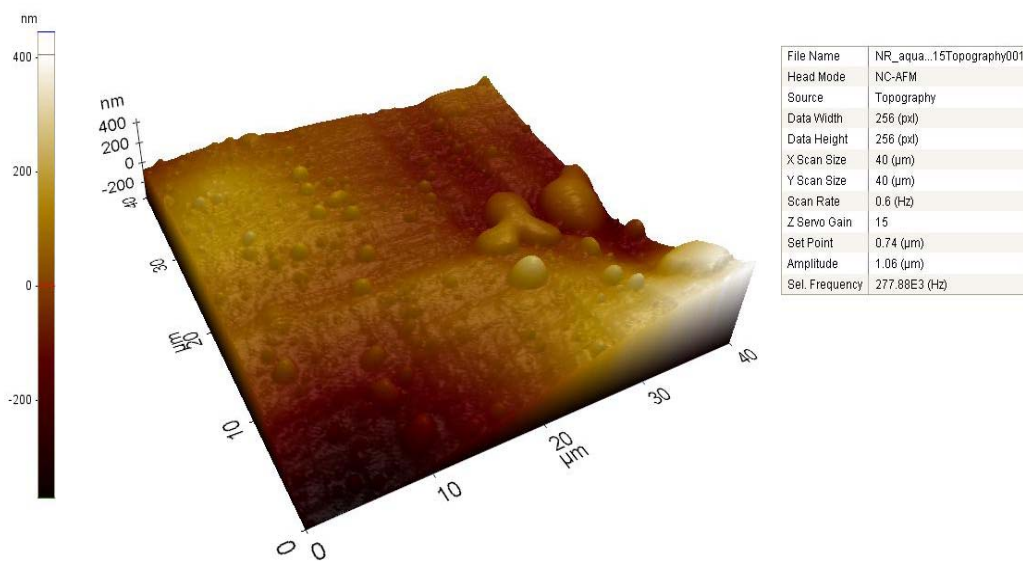
**Fig 7** AFM micrographs of commercial patch (Ostomy) adhesive.



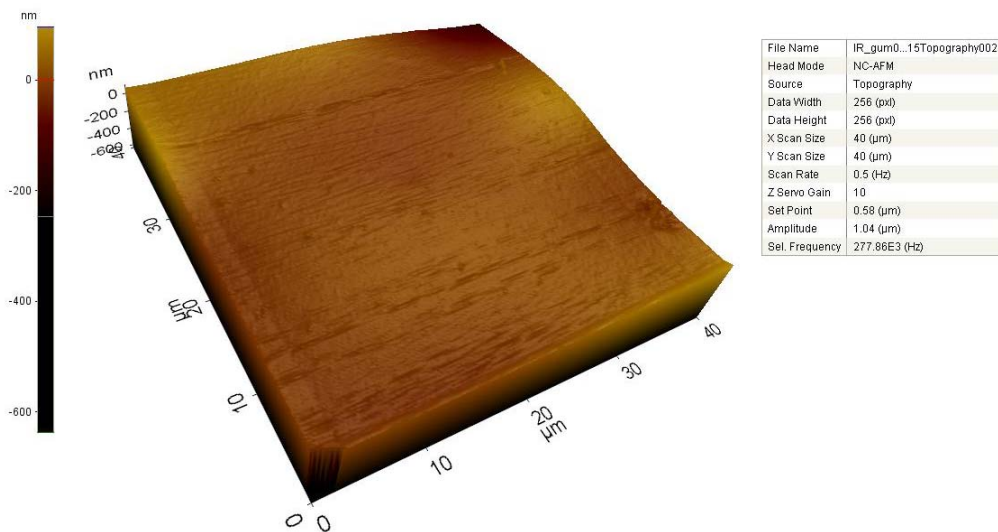
**Fig 8** AFM micrographs of NR/Guar gum adhesive.



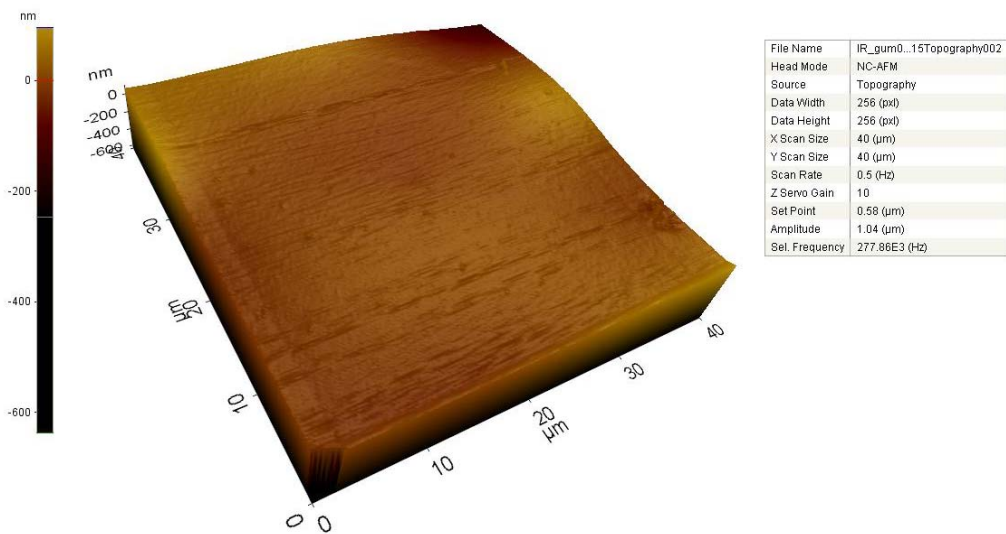
**Fig 9** AFM micrographs of NR/Xanthan gum adhesive.



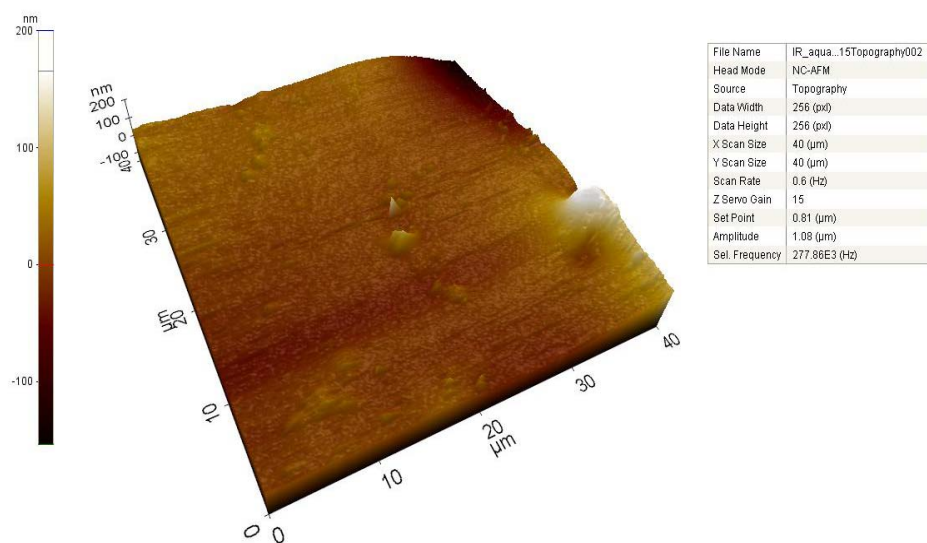
**Fig 10** AFM micrographs of NR/Aqua gel adhesive.



**Fig 11** AFM micrographs of IR/Guar gum adhesive.



**Fig 12** AFM micrographs of IR/Xanthan gum adhesive.



**Fig 13** AFM micrographs of IR/Aqua gel adhesive.

## ภาคผนวก ค

Table 1 Peel force properties of pressure-sensitive adhesive.

No.	Rubber	Starch	Content (%)	Maximum load (N)				
				1	2	3	Aver.	SD.
1	NR	Guar gum	20	18.270	15.540	17.720	17.177	1.44
2	NR	Guar gum	40	15.240	16.870	14.530	15.547	1.20
3	NR	Guar gum	60	11.270	12.620	10.490	11.460	1.08
4	NR	Guar gum	80	7.810	9.590	7.870	8.423	1.01
5	NR	Aqua gel	20	13.790	14.280	15.920	14.663	1.12
6	NR	Aqua gel	40	11.620	9.540	8.980	10.047	1.39
7	NR	Aqua gel	60	5.240	6.920	7.710	6.623	1.26
8	NR	Aqua gel	80	3.320	4.780	6.710	4.937	1.70
9	NR	Xanthan	20	17.760	15.540	16.210	16.503	1.14
10	NR	Xanthan	40	13.570	13.480	11.690	12.913	1.06
11	NR	Xanthan	60	9.780	11.520	8.720	10.007	1.41
12	NR	Xanthan	80	6.280	5.740	7.490	6.503	0.90
13	IR	Guar gum	20	23.470	24.970	22.870	23.770	1.08
14	IR	Guar gum	40	19.270	21.490	20.280	20.347	1.11
15	IR	Guar gum	60	18.360	17.470	19.620	18.483	1.08
16	IR	Guar gum	80	14.570	15.430	16.280	15.427	0.86
17	IR	Aqua gel	20	20.410	18.920	17.560	18.963	1.43
18	IR	Aqua gel	40	14.280	16.190	13.870	14.780	1.24
19	IR	Aqua gel	60	10.570	9.890	11.310	10.590	0.71
20	IR	Aqua gel	80	6.590	7.480	8.980	7.683	1.21
21	IR	Xanthan	20	23.420	21.590	20.870	21.960	1.31
22	IR	Xanthan	40	18.750	17.120	19.560	18.477	1.24
23	IR	Xanthan	60	15.460	13.710	12.980	14.050	1.27
24	IR	Xanthan	80	10.890	12.540	13.710	12.380	1.42



**Table 2** Shear holding power properties of pressure-sensitive adhesive.

No.	Rubber	Starch	Content (%)	Time end (minute)				
				1	2	3	Aver.	SD.
1	NR	Guar gum	20	147	132	154	144.333	11.24
2	NR	Guar gum	40	185	192	173	183.333	9.61
3	NR	Guar gum	60	256	244	289	263.000	23.30
4	NR	Guar gum	80	360	384	357	367.000	14.80
5	NR	Aqua gel	20	67	82	54	67.667	14.01
6	NR	Aqua gel	40	94	82	78	84.667	8.33
7	NR	Aqua gel	60	117	98	104	106.333	9.71
8	NR	Aqua gel	80	128	135	142	135.000	7.00
9	NR	Xanthan	20	123	125	132	126.667	4.73
10	NR	Xanthan	40	148	157	160	155.000	6.24
11	NR	Xanthan	60	235	227	242	234.667	7.51
12	NR	Xanthan	80	356	344	340	346.667	8.33
13	IR	Guar gum	20	42	55	37	44.667	9.29
14	IR	Guar gum	40	68	75	82	75.000	7.00
15	IR	Guar gum	60	89	94	105	96.000	8.19
16	IR	Guar gum	80	137	142	155	144.667	9.29
17	IR	Aqua gel	20	12	8	5	8.333	3.51
18	IR	Aqua gel	40	24	17	15	18.667	4.73
19	IR	Aqua gel	60	27	34	31	30.667	3.51
20	IR	Aqua gel	80	40	37	48	41.667	5.69
21	IR	Xanthan	20	35	46	51	44.000	8.19
22	IR	Xanthan	40	60	74	68	67.333	7.02
23	IR	Xanthan	60	80	87	90	85.667	5.13
24	IR	Xanthan	80	120	127	134	127.000	7.00

**Table 3** Water uptake properties of pressure-sensitive adhesive.

No.	Rubber	Starch	Content (%)	Water uptake (g/cm <sup>2</sup> )				
				1	2	3	Aver.	SD.
1	NR	Guar gum	20	0.02	0.02	0.02	0.02	0.00
2	NR	Guar gum	40	0.32	0.32	0.30	0.31	0.01
3	NR	Guar gum	60	0.46	0.46	0.37	0.43	0.05
4	NR	Guar gum	80	0.60	0.58	0.58	0.58	0.01
5	NR	Aqua gel	20	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00
6	NR	Aqua gel	40	0.05	0.03	0.03	0.04	0.01
7	NR	Aqua gel	60	0.25	0.23	0.23	0.24	0.01
8	NR	Aqua gel	80	0.49	0.52	0.48	0.50	0.02
9	NR	Xanthan	20	0.53	0.53	0.54	0.53	0.00
10	NR	Xanthan	40	1.84	1.84	1.96	1.88	0.07
11	NR	Xanthan	60	2.46	2.46	2.35	2.42	0.06
12	NR	Xanthan	80	2.88	2.78	2.77	2.81	0.06
13	IR	Guar gum	20	0.12	0.12	0.12	0.12	0.00
14	IR	Guar gum	40	0.68	0.73	0.63	0.68	0.05
15	IR	Guar gum	60	0.98	0.90	0.96	0.94	0.04
16	IR	Guar gum	80	1.31	1.29	1.26	1.29	0.03
17	IR	Aqua gel	20	0.05	0.05	0.06	0.05	0.00
18	IR	Aqua gel	40	0.59	0.44	0.47	0.50	0.08
19	IR	Aqua gel	60	0.97	0.88	0.94	0.93	0.05
20	IR	Aqua gel	80	1.13	1.14	1.07	1.11	0.04
21	IR	Xanthan	20	0.60	0.65	0.76	0.67	0.08
22	IR	Xanthan	40	1.46	1.64	1.64	1.58	0.10
23	IR	Xanthan	60	2.10	2.06	1.98	2.05	0.07
24	IR	Xanthan	80	2.56	2.54	2.52	2.54	0.02

การประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาด้านวิทยาศาสตร์สาขาโพลิเมอร์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 2  
The 2<sup>nd</sup> Polymer Graduate Conference of Thailand.

## Possibility Studies of Hydrocolloid Pressure-Sensitive Adhesive Preparation from Natural Rubber

**Arkorn Sorsorn**<sup>1</sup>, Wirach Taweepreda<sup>1,2</sup>, Charoen Nakason<sup>2,3</sup>, Wanida Janvikul<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Polymer Science Program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Songkla 90112 Thailand  
Tel 0-7428-8367, Fax 0-7444-6925 E-mail: wirach.t@psu.ac.th.

<sup>2</sup>Center of Excellence in Natural Rubber Technology, <sup>3</sup>Department of Rubber Technology, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani 94000, Thailand  
Tel 0-733-3930-50 ext 1866, Fax 0-7333-1099, Email: ncharoen@bunga.pn.psu.ac.th

<sup>4</sup>National Metal and Material Technology Center, 114 Thailand Science Park, Paholyothin Road.,  
Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand  
Tel 0-2564-6500 ext 4417, Fax 0-2564-6445, E-mail: wanidaj@mtec.or.th

### Abstract

This work is revealed with the development of natural rubber (NR) for pressure sensitive adhesive (PSA) application. The adhesion property of natural rubber was improved by reducing the molecular weight of NR in solid-state and compounded with hydrocolloid adhesive starch. The low molecular weight NR (LNR) was prepared by mastication at high temperature. The changing structure of LNR especially the hydroxyl group at the chain-end was studied with ATR Fourier-transformed infrared spectroscopy (ATR-FTIR) as well as the degradation of LNR and synthesis polyisoprene (PI) was investigated by gel permeation chromatography (GPC). The compatibility of LNR composite with hydrocolloid adhesive starch was investigated by scanning electron microscopy (SEM). The adhesions properties were evaluated by means of peel adhesion test. The presence of hydrocolloid high level decreased creep peel force and increased of hydrocolloid the presence hydrophilic of rubber.

**Keywords:** Low molecular- weight, Pressure sensitive adhesive, Hydrocolloid

### 1. Introduction

The following common groups of medical devices produced in the natural rubber latex (NRL) process and the dry natural rubber (DNR) process have been identified. NRL: medical gloves (examination/ surgical gloves), condoms, catheters, tracheostomy tubes,

wound drains, and dental rubber dam (Kofferdam). DNR: adhesive tapes, elastic bandages, anaesthesia masks, syringe plungers, intravenous injection ports, pads and contraceptive diaphragms [1].

Pressure-sensitive adhesive (PSA), widely used in wound dressing and in the development of

(trans)dermal patches, has to be biologically inert, nonirritating, and non-sensitizing at skin level and should confer good adhesive properties to the final product [2].

The work currently being reported was aimed to improve the adhesive performance of PSA based on Natural rubber by adding to the system a hydrocolloid chosen among materials widely used for ostomy formulation. In particular, Natural rubber were Natural rubber, which was reduced molecular- weight by masticated at high temperature, was proposed to improve water-soluble system based on Low molecular-weight natural rubber and patch/skin contact and make it possible to avoid skin irritation and sensitization.

The adhesion properties of the patches were determined by a creep resistance test, which indicates the cohesion of the PSA, and a peel adhesion test, which measures the tenacity of the bond between the patch and another surface performed at the rate of 100 and 300 mm/min. The 300 mm/min rate was selected because it is recommended by standard control procedures; the 100 mm/min rate represents the real speed of patch removal from the skin [2].

## **2. Experimental**

### **2.1 Material**

The Natural rubber (NR) provided by Chalong Rubber Industry of Thailand and Polyisoprene rubber (PI) prepared Low molecular- weight by masticated also molecular – weight (Mn) 150,000 used in study. The Guar gum powder 6382 and Aqua gel WD-3133 were purchased from Behn Meyer Chemical (T) Co., Ltd

### **2.2 Apparatus and experimental conditions**

#### **2.2.1 Preparation of Low molecular-weight rubber Adhesive**

The natural rubber and isoprene rubber sample of 200 g was masticated in two roll mill at temperature  $150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  for 60 minutes. A mixture hydrocolloid (formulation in Table 1) was also prepared. Many analysis techniques such as GPC, FT-IR and SEM test were used to analyze the product.

#### **2.2.2 Adhesion Properties Evaluation**

##### **Peel Adhesion 180° Test**

One week after preparation, the adhesive patches were cut into strips 2.5cm wide, applied to an adherent plate, smoothed 3 times with a 4.5-kg roller, maintained for 10 minutes at  $20^{\circ}\text{C}$ , and pulled from the plate at a  $180^{\circ}$  angle at rates: 100 mm/min. The 100 mm/min rate represents the speed of patch removal from the skin. The peel adhesion test was performed by using a stainless steel plate, recommended by the standard method, a material with a lower-energy surface. The test was performed with a tensile testing machine model LR 10K (LLOYD Instrument Co., Ltd). Peel adhesion values were the average of 3 replicates [2].

## **3. Results and discussion**

The GPC chromatogram obtained of Natural rubber (NR) and Polyisoprene rubber (PI) is showed in Table 2. and Fig 1. It is seen that trend for reducing molecular-weight when increase time in masticated at high temperature (at  $150^{\circ}\text{C}$ ). The molecular weight of Natural rubber (NR) is rapidly decreased when compares with the Polyisoprene rubber (PI) due to the gel content of NR is 56%. The gel in NR is the physical cross-linking according to the functional group of residual protein in NR [3,4].

**Table 1.** Composition of the Formulations Used for the Hydrocolloid Selection

Ingredients	Formulations (phr)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
NR	100	100	100	100	-	-	-	-
PI	-	-	-	-	100	100	100	100
Hydrocolloid*	20	40	60	80	20	40	60	80

\* indicated Guar gum (GG) and Aqua gel (AG)

**Table 2.** Molecular-weight and polydispersity of rubber used for adhesive prepared.

Sample	Time (min.)	Mn ( $\times 10^6$ )	Mw ( $\times 10^6$ )	PDI (Mw/Mn)
NR	0	1.74	3.01	1.73
	15	0.18	0.50	2.78
	30	0.18	0.45	2.50
	45	0.17	0.43	2.53
	60	0.15	0.40	2.67
IR	0	0.45	1.39	3.09
	15	0.27	0.61	2.26
	30	0.22	0.59	2.68
	45	0.19	0.43	2.26
	60	0.16	0.42	2.63

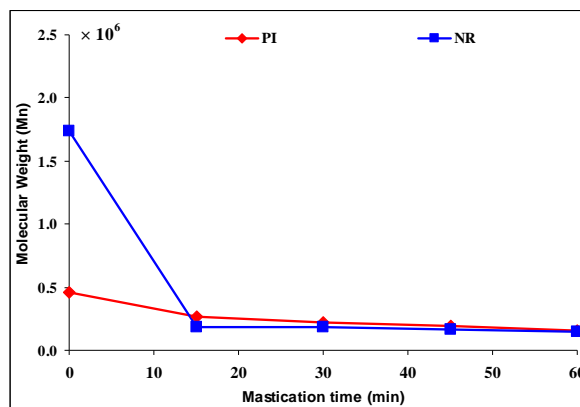


Fig 1. Effect of mastication time on number average molecular weight ( $\overline{M}_n$ ) of rubber

The molecular weight (MW) of natural rubber is dramatically decreased at the beginning of mastication as shown in figure 1. The typical molecular weight distribution (MWD) of natural rubber, bi-modal, is transformed to uni-modal after mastication as shown in figure 2. Mastication will destroy the physical linkage or gel in rubber [5]. On the other hand, the MW of synthesis polyisoprene (PI) is slightly decreased because of low gel content in PI. The MW of natural rubber is slightly decreased after masticated for more than 15 minutes as well as the PI.

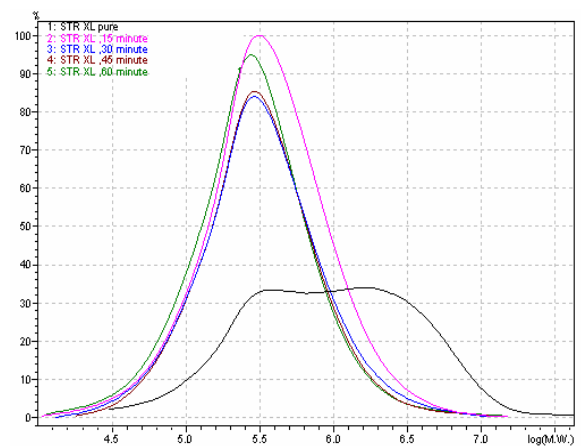


Fig 2. Molecular Weight Distribution of natural rubber before and after mastication.

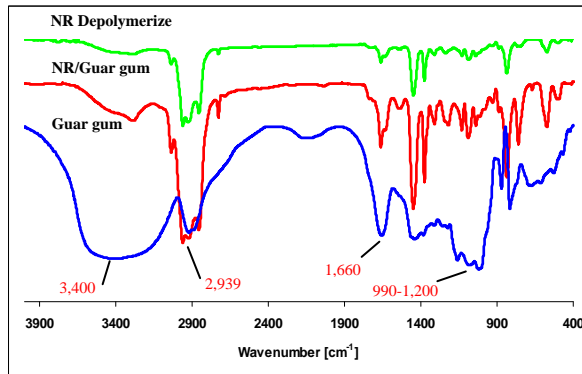


Fig 3. ATR FT-IR spectrum of NR, NR/GG, and GG.

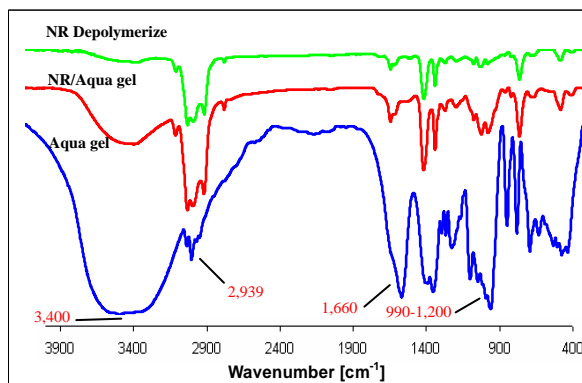


Fig 4. ATR FT-IR spectrum of NR, NR/AG and AG.

Fig 3-4. The spectrum of Guar-gum and Aqua gel showed the characteristic band at  $3,400\text{ cm}^{-1}$ ,  $2,939\text{ cm}^{-1}$  and  $990-1,200\text{ cm}^{-1}$  corresponding to the O-H stretching, C-H stretching of  $-\text{CH}_2$  group and saccharide and band  $1,660\text{ cm}^{-1}$  vibration of ring stretching of galactose and mannose [6].

The ATR FT-IR results indicated that the aqua gel is more hydrophilic than guar gum and surrounding with water molecule. The aqua gel will be formed agglomerate and separated from the rubber phase as shown in figure 5c and 5d. On the other hand, guar gum with less hydrophilic will dispersed in rubber phase (figure 5a and 5b).

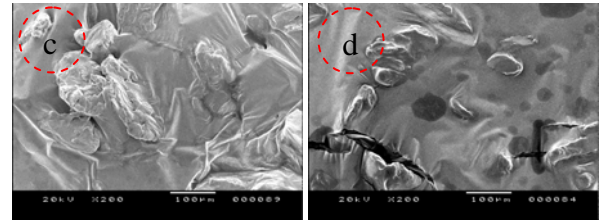
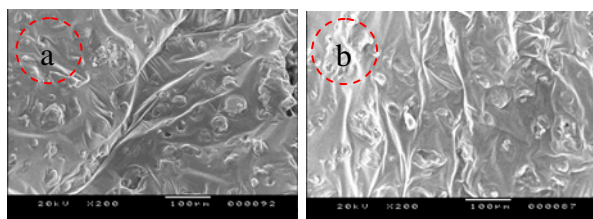


Fig 5. SEM images of (a) NR/Gum, (b) PI/Gum, (c) NR/Aqua, and (d) PI/Aqua

Moreover, the compounding of starch in rubber will decreased the peel force of rubber as shown in figure 6.

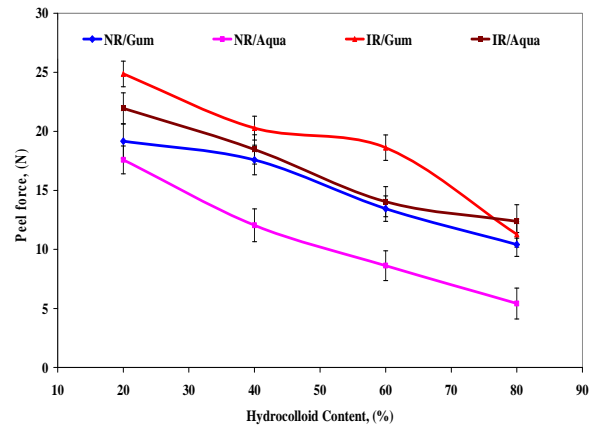


Fig 6. Peel force of rubber base hydrocolloid adhesive.

The starch will be encompassed with rubber molecule. PI compounded with guar gum give highest peel force. The low gel content and equal short molecular chain of PI as well as the well dispersed guar gum in rubber will enhance the peel force of rubber.

#### 4. Conclusion

The mastication of rubber at high temperature can destroys the rubber gel and reduces the molecular weight of rubber. The compounding of Guar gum and Aqua gel to the PSA based on natural rubber us to obtain patches with high adhesive thickness having

satisfactory peel adhesion. The significant increase of the matrix cohesion was due to attractive interactions between natural rubber and Guar gum. The analyses of the factorial design results made it possible to identify the contribution of PSA components. With the proposed approach, it is possible to modify the properties of the adhesive simply by changing the ratio of the excipients.

### **Acknowledgements**

The authors would like to thank the Thailand Graduate Institute of Science and Technology (TGIST) for M.Sc. Scholarship, Graduate School, Prince of Songkla University for research supporting, CoE-NR and Polymer Science Program for research facilities.

### **References**

- [1] De Jong, W.H., Geertsma, R.E. and Tinkler, J.J.B., *Method*, 27, 93-98, (2002)
- [2] Minghetti, P.L., Cilurzo, F.C.C., Tosi, L.L., Casiraghi, A.T. and Montanari, L.S., *AAPS Pharmscitech*, 4, 8, (2004)
- [3] Willem, L., *Natural rubber*, 33, (2004)
- [4] Marcia, M. and Carlos, A.P., *Colloid Polymer sci*, 283, 570-574, (2005)
- [5] Chen, F.H. and Qian, J.L., *Fuel*, 81, 2071-2077, (2002)
- [6] Barre, L.L., Vaughan, A.S., and Sutton, S.J., *Mater sci*, 42, 5497-5507, (2007)

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นายอาคม สอสม	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5010220194	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เทคโนโลยียาง)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2549

## ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนสนับสนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา โครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2551 สัญญาเลขที่ TGIST 01-51-060 รหัสผู้รับทุน TG-33-18-51-060M

## การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Sorsom, A., Taweepreda, W., Nakason, C. and Janvikul, W. 2009. "Possibility Studies of Hydrocolloid Pressure – Sensitive Adhesive Preparation from Natural Rubber". Proceeding of The 2<sup>nd</sup> Polymer Graduate Conference of Thailand. Faculty of Science Chulalongkorn University, 21-22 May 2009, pp. 21-25